UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

DIVISIÓN DE ESTUDIO DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

MAESTRÍA EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE EN LA RAMA DE LAS VÍAS TERRESTRES

TÉCNICAS DE REPARACIÓN Y REFUERZO PARA PUENTES CARRETEROS EN LA ZONA DEL PACÍFICO MEXICANO

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA
INGENIERA IRERI PATRICIA MERINO ARTEAGA

ASESOR
DOCTOR EN INGENIERÍA HUGO HERNÁNDEZ BARRIOS

MORELIA MICHOACÁN, FEBRERO DE 2014.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS **i**

ÍNDICE DE FIGURAS **vii**

RESUMEN **xxiii**

ABSTRACT **xxv**

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO 1 IMPORTANCIA DE LA RED CARRETERA EN LA ZONA DEL PACÍFICO MEXICANO **3**

1.1 Importancia de los puentes en las carreteras federales 3

1.2 Importancia por Tránsito Promedio Diario Anual 8

1.2.1 Jalisco 11

1.2.2 Colima 14

1.2.3 Michoacán 16

1.2.4 Guerrero 19

1.2.5 Oaxaca 22

1.2.6 Chiapas 26

1.3 Condiciones a considerar en los puentes 29

1.3.1 Condiciones sísmicas 29

1.3.2 Condiciones eólicas 35

1.3.3 Condiciones por socavación 44

1.3.4 Condiciones por efectos de carga 48

CAPÍTULO 2 ESTADO ACTUAL DE LOS PUENTES CARRETEROS EN LA ZONA DEL PACÍFICO MEXICANO **53**

2.1 La red carretera nacional 53

2.1.1 Caminos y puentes federales (CAPUFE) 57

2.1.2 Corredores carreteros 58

2.1.3 La importancia de la infraestructura carretera 60

2.2 La red carretera en los estados en estudio 61

2.2.1 Jalisco 61

2.2.2 Colima 69

2.2.3 Michoacán 73

2.2.4 Guerrero 77

2.2.5 Oaxaca 82

2.2.6 Chiapas 87

2.3 Sistema de puentes de México (SIPUMEX) 91

2.4 Elaboración y análisis de datos estadísticos a partir del inventario de SIPUMEX 99

2.4.1 Jalisco 99

2.4.2 Colima 119

2.4.3 Michoacán 138

2.4.4 Guerrero 158

2.4.5 Oaxaca 178

2.4.6 Chiapas 198

2.5 Estadística general 217

CAPITULO 3 COMPORTAMIENTO DE LOS PUENTES ANTE CARGAS **241**

3.1 Cambios históricos en los reglamentos de diseño sísmico 241

3.1.1 Deficiencias y daños en columnas de puentes de concreto reforzado. El problema del diseño antes de 1970 248

3.1.2 Problemas físicos de puentes construidos antes de 1970 250

3.1.3 Resumen de daños en construcciones antes del sismo de 1971 253
3.2 Principales daños en puentes 255
3.2.1 Daños por cargas excesivas 258
3.2.2 Corrosión del acero de refuerzo 261
3.2.3 Mecanismo de deterioro del concreto 263
3.2.4 Tránsito de avenidas y socavación 268
3.2.5 Deficiencia en el proceso constructivo 269
3.2.6 Sismo 274
3.2.6.1 Sismos recientes que ocasionaron daño en puentes 276
3.2.6.2 Sismo de Manzanillo en 1995 277
3.2.6.3 Sismo de Tecomán en 2003 279
3.2.6.4 Breve descripción de algunos puentes dañados 280
3.2.7 Clima 291
3.3 Cambios de cargas vehiculares para el diseño de puentes y su normativa 292
3.4 Clasificación de los puentes por sus características geométricas (puentes típicos) 299

CAPÍTULO 4 TÉCNICAS ACTUALES DE REPARACIÓN Y REFUERZO 327

4.1 Introducción 327
4.2 Polímeros reforzados con fibras (FRP) 330
4.2.1 Resinas sintéticas 333
4.2.1.1 Resinas epóxicas 335
4.2.1.2 Resinas de poliéster 336
4.2.2 Polímeros reforzados con fibras de vidrio (GFRP) 337
4.2.2.1 Modo de empleo 341
4.2.3 Polímeros reforzados con fibras de arámidas (AFRP) 342
4.2.3.1 Modo de empleo 346
4.2.4 Polímeros reforzados con fibras de carbono (CFRP) 347
4.2.4.1 Bases del diseño del refuerzo con fibras de carbono 351

4.2.4.2 Tipo de fibras y configuraciones 353
4.2.4.3 Modo de empleo de los tejidos de carbono 356
4.2.4.4 Modo de empleo de los laminados de carbono 359
4.2.4.5 Refuerzo en columnas 369
4.2.4.6 Refuerzo en vigas 370
4.2.4.7 Refuerzo en losas 372
4.3 Encamisados 374
4.3.1 Principios básicos del diseño de las placas de acero 376
4.3.2 Modo de empleo 379
4.3.3 Encamisado de trabes 382
4.4 Torones externos 384
4.4.1 Modo de empleo 388
4.4.2 Refuerzo mediante postensado 393
4.5 Aisladores de base y masas resonantes 394
4.5.1 Aisladores de base 395
4.5.2 Masas resonantes 400

CAPÍTULO 5 COMPARATIVA, PROPUESTAS Y CONCLUSIONES 403
5.1 Comparativa de las técnicas de reparación y refuerzo para puentes 403
5.2 Comparativa económica de las técnicas de reparación y refuerzo para puentes 404
5.3 Propuestas de las técnicas de reparación y refuerzo para los puentes típicos 412
5.4 Conclusiones generales 414

REFERENCIAS 419

ANEXO A A

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Jalisco.	11
Tabla 1.2	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Jalisco (continuación).	12
Tabla 1.3	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Jalisco (continuación).	13
Tabla 1.4	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Colima.	14
Tabla 1.5	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Colima (continuación).	15
Tabla 1.6	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Michoacán.	17
Tabla 1.7	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Michoacán (continuación).	18
Tabla 1.8	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Michoacán (continuación).	19
Tabla 1.9	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Guerrero.	20
Tabla 1.10	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Guerrero (continuación).	21
Tabla 1.11	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Oaxaca.	23
Tabla 1.12	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Oaxaca (continuación).	24
Tabla 1.13	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Oaxaca (continuación).	25
Tabla 1.14	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Chiapas.	26
Tabla 1.15	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Chiapas (continuación).	27
Tabla 1.16	TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Chiapas (continuación).	28

Tabla 1.17	Factores para modificar el espectro de diseño.	32
Tabla 2.1	Corredores carreteros de México.	59
Tabla 2.2	Estructura sectorial del PIB, 2010.	67
Tabla 2.3	Calificación de acuerdo al SIPUMEX.	95
Tabla 3.1	Resumen de daños observados en puentes bajo el sismo de Manzanillo en 1995.	278
Tabla 3.2	Carga de diseño H-15 y H-20.	293
Tabla 3.3	Carga de diseño HS-15 y HS-20.	293
Tabla 3.4	Carga de diseño T3-S3.	294
Tabla 3.5	Carga de diseño T3-S2-R4.	294
Tabla 3.6	Vehículos del "Instructivo sobre el peso y dimensiones de los vehículos", año 1962.	295
Tabla 3.7	Vehículos del "Instructivo sobre el peso y dimensiones de los vehículos", año 1980.	296
Tabla 3.8	Vehículos del "Instructivo sobre el peso y dimensiones de los vehículos", año 1980 (continuación).	297
Tabla 3.9	Características del puente típico 1.	300
Tabla 3.10	Características del puente típico 2.	301
Tabla 3.11	Características del puente típico 3.	302
Tabla 3.12	Características del puente típico 4.	303
Tabla 3.13	Características del puente típico 5.	304
Tabla 3.14	Características del puente típico 6.	305
Tabla 3.15	Características del puente típico 7.	306
Tabla 3.16	Características del puente típico 8.	307
Tabla 3.17	Características del puente típico 9.	308
Tabla 3.18	Características del puente típico 10.	309
Tabla 3.19	Características del puente típico 11.	310
Tabla 3.20	Características del puente típico 12.	311
Tabla 3.21	Características del puente típico 13.	312
Tabla 3.22	Características del puente típico 14.	313

Tabla 3.23	Características del puente típico 15.	314
Tabla 3.24	Características del puente típico 16.	315
Tabla 3.25	Características del puente típico 17.	316
Tabla 3.26	Características del puente típico 18.	317
Tabla 3.27	Características del puente típico 19.	318
Tabla 3.28	Características del puente típico 20.	319
Tabla 3.29	Características del puente típico 21.	320
Tabla 3.30	Características del puente típico 22.	321
Tabla 3.31	Características del puente típico 23.	322
Tabla 3.32	Características del puente típico 24.	323
Tabla 3.33	Características del puente típico 25.	324
Tabla 3.34	Características del puente típico 26.	325
Tabla 4.1	Características de resina epóxica y resina de poliéster.	337
Tabla 4.2	Propiedades de las fibras de vidrio.	339
Tabla 4.3	Propiedades de las fibras de arámida.	344
Tabla 4.4	Comparativa de los materiales compuestos y las láminas de acero para refuerzo.	349
Tabla 4.5	Propiedades del primer en función a la temperatura del sitio de trabajo.	363
Tabla 4.6	Propiedades del primer en base a las características de la superficie de aplicación.	363
Tabla 4.7	Propiedades de la resina, en función de la temperatura y superficie de aplicación.	365
Tabla 5.1	Ventajas y desventajas de las técnicas de reparación y refuerzo estudiadas.	403
Tabla 5.2	Ventajas y desventajas de las técnicas de reparación y refuerzo estudiadas (continuación).	404
Tabla 5.3	Costo y tiempo de ejecución de la técnica de encamisado para el puente de Colombia.	406

Tabla 5.4	Costo y tiempo de ejecución de la técnica de fibras de carbono para el puente de Colombia.	406
Tabla 5.5	Costo y tiempo de ejecución del armado estructural para la calzada del puente del Edo. de México.	407
Tabla 5.6	Costo y tiempo de ejecución de la técnica de laminado de fibras de carbono para el puente del Edo. de México.	408
Tabla 5.7	Costo y tiempo de ejecución de presfuerzo externo en puente de Guerrero.	409
Tabla 5.8	Costo y tiempo de ejecución del refuerzo con tejido de fibras de carbono para puente de Guerrero.	409
Tabla 5.9	Costo y tiempo de ejecución de presfuerzo externo en puente de Veracruz.	410
Tabla 5.10	Costo y tiempo de ejecución del refuerzo con láminas y tejido de fibras de carbono para puente de Veracruz.	411
Tabla 5.11	Costos de varias opciones de refuerzo para el puente del estado de Guerrero.	412
Tabla 5.12	Propuesta de técnicas de reparación y refuerzo para los puentes típicos.	412
Tabla 5.13	Propuesta de técnicas de reparación y refuerzo para los puentes típicos (continuación).	413
Tabla 5.14	Propuesta de técnicas de reparación y refuerzo para los puentes típicos (continuación).	414
Tabla A.1	Componentes estándar de evaluación de puentes.	D
Tabla A.2	Tipos de daños en las componentes de los puentes.	F
Tabla A.3	Puentes del estado de Jalisco con calificación 4, según SIPUMEX.	I
Tabla A.4	Puentes del estado de Colima con calificación 4, según SIPUMEX.	O
Tabla A.5	Puentes del estado de Colima con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	P
Tabla A.6	Puentes del estado de Colima con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	Q

Tabla A.7	Puentes del estado de Michoacán con calificación 4, según SIPUMEX.	W
Tabla A.8	Puentes del estado de Michoacán con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	X
Tabla A.9	Puentes del estado de Michoacán con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	Y
Tabla A.10	Puentes del estado de Michoacán con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	Z
Tabla A.11	Puentes del estado de Michoacán con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	AA
Tabla A.12	Puentes del estado de Guerrero con calificación 4, según SIPUMEX.	GG
Tabla A.13	Puentes del estado de Guerrero con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	HH
Tabla A.14	Puentes del estado de Guerrero con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	II
Tabla A.15	Puentes del estado de Guerrero con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	JJ
Tabla A.16	Puentes del estado de Guerrero con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	KK
Tabla A.17	Puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX.	QQ
Tabla A.18	Puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX (continuación).	RR
Tabla A.19	Puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX (continuación).	SS
Tabla A.20	Puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX (continuación).	TT
Tabla A.21	Puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX (continuación).	UU

Tabla A.22	Puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX (continuación).	VV
Tabla A.23	Puentes del estado de Chiapas con calificación 4, según SIPUMEX.	AAA
Tabla A.24	Puentes del estado de Chiapas con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	BBB
Tabla A.25	Puentes del estado de Chiapas con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	CCC
Tabla A.26	Puentes del estado de Chiapas con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	DDD
Tabla A.27	Puentes del estado de Chiapas con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).	EEE

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Vista general de un puente.	3
Figura 1.2	Partes de un puente.	4
Figura 1.3	Tipo de puentes por su función y utilización.	4
Figura 1.4	Tipo de puentes por su material de construcción.	5
Figura 1.5	Tipos de puentes según el tipo de estructura.	6
Figura 1.6	Red carretera federal libre de peaje del estado de Jalisco.	11
Figura 1.7	Distribución del tipo de camino del estado de Jalisco.	13
Figura 1.8	Red carretera federal libre de peaje del estado de Colima.	14
Figura 1.9	Distribución del tipo de camino del estado de Colima.	16
Figura 1.10	Red carretera federal libre de peaje del estado de Michoacán.	16
Figura 1.11	Distribución del tipo de camino del estado de Michoacán.	19
Figura 1.12	Red carretera federal libre de peaje del estado de Guerrero.	20
Figura 1.13	Distribución del tipo de camino del estado de Guerrero.	22
Figura 1.14	Red carretera federal libre de peaje del estado de Oaxaca.	23
Figura 1.15	Distribución del tipo de camino del estado de Oaxaca.	25
Figura 1.16	Red carretera federal libre de peaje del estado de Chiapas.	26
Figura 1.17	Distribución del tipo de camino del estado de Chiapas.	29
Figura 1.18	Regionalización sísmica de la República Mexicana.	30
Figura 1.19	Mapa de periodos de retorno.	33
Figura 1.20	Aceleraciones máximas del terreno.	34
Figura 1.21	Mapa de isotacas para velocidades regionales con periodo de retorno de 10 años.	38
Figura 1.22	Mapa de isotacas para velocidades regionales con periodo de retorno de 50 años.	39

Figura 1.23	Mapa de isotacas para velocidades regionales con periodo de retorno de 200 años.	40
Figura 1.24	Mapa de isotacas para una importancia de pérdida de 5.	42
Figura 1.25	Mapa de isotacas para una importancia de pérdida de 15.	43
Figura 1.26	Descenso del fondo del cauce provocado por la socavación.	45
Figura 1.27	Comportamiento del agua al cruce con una pila.	46
Figura 1.28	Efectos de socavación.	47
Figura 1.29	Cargas que se presentan en los puentes.	48
Figura 2.1	Ubicación geográfica de los Estados Unidos Mexicanos.	54
Figura 2.2	Red carretera nacional (SCT, IG-UNAM, & IMT, 2011).	55
Figura 2.3	Distribución de la red carretera nacional por tipo de camino.	55
Figura 2.4	Distribución de la red carretera nacional por su estado superficial.	56
Figura 2.5	Distribución de la red carretera nacional pavimentada por el número de carriles.	56
Figura 2.6	Longitud de la red de autopistas a cargo de CAPUFE.	58
Figura 2.7	Corredores carreteros de México (DGP/SCT, 2011).	59
Figura 2.8	Movimiento de carga por modo de transporte.	60
Figura 2.9	Movimiento de pasajeros por modo de transporte.	61
Figura 2.10	Estado de Jalisco.	62
Figura 2.11	Red carretera del estado de Jalisco (DGCC/SCT, 2013).	64
Figura 2.12	Distribución de la red carretera del estado de Jalisco por tipo de camino.	64
Figura 2.13	Distribución de la red carretera del estado de Jalisco por su estado superficial.	65
Figura 2.14	Distribución de la red carretera del estado de Jalisco pavimentada por el número de carriles.	65
Figura 2.15	Estado de Colima.	69
Figura 2.16	Red carretera del estado de Colima (DGCC/SCT, 2013).	70
Figura 2.17	Distribución de la red carretera del estado de Colima por tipo de camino.	70

Figura 2.18	Distribución de la red carretera del estado de Colima por su estado superficial.	71
Figura 2.19	Distribución de la red carretera del estado de Colima pavimentada por el número de carriles.	71
Figura 2.20	Estado de Michoacán.	73
Figura 2.21	Red carretera del estado de Michoacán (DGCC/SCT, 2013).	74
Figura 2.22	Distribución de la red carretera del estado de Michoacán por tipo de camino.	75
Figura 2.23	Distribución de la red carretera del estado de Michoacán por su estado superficial.	75
Figura 2.24	Distribución de la red carretera del estado de Michoacán pavimentada por el número de carriles.	76
Figura 2.25	Estado de Guerrero.	77
Figura 2.26	Red carretera del estado de Guerrero (DGCC/SCT, 2013).	79
Figura 2.27	Distribución de la red carretera del estado de Guerrero por tipo de camino.	79
Figura 2.28	Distribución de la red carretera del estado de Guerrero por su estado superficial.	80
Figura 2.29	Distribución de la red carretera del estado de Guerrero pavimentada por el número de carriles.	80
Figura 2.30	Estado de Oaxaca.	83
Figura 2.31	Red carretera del estado de Oaxaca (DGCC/SCT, 2013).	85
Figura 2.32	Distribución de la red carretera del estado de Oaxaca por tipo de camino.	85
Figura 2.33	Distribución de la red carretera del estado de Oaxaca por su estado superficial.	86
Figura 2.34	Distribución de la red carretera del estado de Oaxaca pavimentada por el número de carriles.	86
Figura 2.35	Estado de Chiapas.	88
Figura 2.36	Red carretera del estado de Chiapas (DGCC/SCT, 2013).	89

Figura 2.37	Distribución de la red carretera del estado de Chiapas por tipo de camino.	89
Figura 2.38	Distribución de la red carretera del estado de Chiapas por su estado superficial.	90
Figura 2.39	Distribución de la red carretera del estado de Chiapas pavimentada por el número de carriles.	90
Figura 2.40	Formato para inspecciones principales de SIPUMEX (1/4).	93
Figura 2.41	Formato para inspecciones principales de SIPUMEX (2/4).	94
Figura 2.42	Formato para inspecciones principales de SIPUMEX (3/4).	94
Figura 2.43	Formato para inspecciones principales de SIPUMEX (4/4).	95
Figura 2.44	Flujo de actividades de SIPUMEX.	98
Figura 2.45	Tipo de Puentes de Jalisco.	100
Figura 2.46	Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras de Jalisco.	100
Figura 2.47	Periodos de construcción de los puentes de Jalisco.	101
Figura 2.48	Puentes reconstruidos de Jalisco.	102
Figura 2.49	Tipo de paso de los puentes de Jalisco.	102
Figura 2.50	Número de claros de los puentes de Jalisco.	103
Figura 2.51	Longitud mínima de claro de los puentes de Jalisco.	103
Figura 2.52	Longitud máxima de claro de los puentes de Jalisco.	104
Figura 2.53	Longitud total de puentes de Jalisco.	105
Figura 2.54	Ancho total de los puentes de Jalisco.	105
Figura 2.55	Puentes en curva de Jalisco.	106
Figura 2.56	Puentes esviajados de Jalisco.	107
Figura 2.57	Grado de esviajamiento de los puentes de Jalisco.	107
Figura 2.58	Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes de Jalisco.	108
Figura 2.59	Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes de Jalisco.	109
Figura 2.60	Material de la superestructura de los puentes de Jalisco.	109
Figura 2.61	Tipo de estribos de los puentes de Jalisco.	110
Figura 2.62	Materiales de los estribos de los puentes de Jalisco.	111

Figura 2.63	Tipo de cimentación de los estribos de los puentes de Jalisco.	111
Figura 2.64	Tipo de pilas de los puentes de Jalisco.	112
Figura 2.65	Material de las pilas de los puentes de Jalisco.	113
Figura 2.66	Tipo de cimentación de las pilas de los puentes de Jalisco.	113
Figura 2.67	Tipo de superficie de desgaste de los puentes de Jalisco.	114
Figura 2.68	Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes de Jalisco.	115
Figura 2.69	Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes de Jalisco.	115
Figura 2.70	Carga de diseño de los puentes de Jalisco.	116
Figura 2.71	Obstáculos que cruzan los puentes de Jalisco.	117
Figura 2.72	Propietarios de los puentes de Jalisco.	117
Figura 2.73	TPDA registrado en los puentes de Jalisco.	118
Figura 2.74	Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes de Jalisco.	119
Figura 2.75	Tipo de Puentes de Colima.	119
Figura 2.76	Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras de Colima.	120
Figura 2.77	Periodos de construcción de los puentes de Colima.	121
Figura 2.78	Puentes reconstruidos de Colima.	121
Figura 2.79	Tipo de paso de los puentes de Colima.	122
Figura 2.80	Número de claros de los puentes de Colima.	122
Figura 2.81	Longitud mínima de claro de los puentes de Colima.	123
Figura 2.82	Longitud máxima de claro de los puentes de Colima.	124
Figura 2.83	Longitud total de puentes de Colima.	124
Figura 2.84	Ancho total de los puentes de Colima.	125
Figura 2.85	Puentes en curva de Colima.	126
Figura 2.86	Puentes esviajados de Colima.	126
Figura 2.87	Grado de esviajamiento de los puentes de Colima.	127
Figura 2.88	Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes de Colima.	127
Figura 2.89	Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes de Colima.	128
Figura 2.90	Material de la superestructura de los puentes de Colima.	129
Figura 2.91	Tipo de estribos de los puentes de Colima.	129

Figura 2.92	Materiales de los estribos de los puentes de Colima.	130
Figura 2.93	Tipo de cimentación de los estribos de los puentes de Colima.	131
Figura 2.94	Tipo de pilas de los puentes de Colima.	131
Figura 2.95	Material de las pilas de los puentes de Colima.	132
Figura 2.96	Tipo de cimentación de las pilas de los puentes de Colima.	132
Figura 2.97	Tipo de superficie de desgaste de los puentes de Colima.	133
Figura 2.98	Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes de Colima.	134
Figura 2.99	Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes de Colima.	134
Figura 2.100	Carga de diseño de los puentes de Colima.	135
Figura 2.101	Obstáculos que cruzan los puentes de Colima.	136
Figura 2.102	Propietarios de los puentes de Colima.	136
Figura 2.103	TPDA registrado en los puentes de Colima.	137
Figura 2.104	Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes de Colima.	138
Figura 2.105	Tipo de Puentes de Michoacán.	138
Figura 2.106	Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras de Michoacán.	139
Figura 2.107	Periodos de construcción de los puentes de Michoacán.	140
Figura 2.108	Puentes reconstruidos de Michoacán.	140
Figura 2.109	Tipo de paso de los puentes de Michoacán.	141
Figura 2.110	Número de claros de los puentes de Michoacán.	141
Figura 2.111	Longitud mínima de claro de los puentes de Michoacán.	142
Figura 2.112	Longitud máxima de claro de los puentes de Michoacán.	143
Figura 2.113	Longitud total de puentes de Michoacán.	143
Figura 2.114	Ancho total de los puentes de Michoacán.	144
Figura 2.115	Puentes en curva de Michoacán.	145
Figura 2.116	Puentes esviajados de Michoacán.	145
Figura 2.117	Grado de esviajamiento de los puentes de Michoacán.	146
Figura 2.118	Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes de Michoacán.	147
Figura 2.119	Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes de Michoacán.	147

Figura 2.120	Material de la superestructura de los puentes de Michoacán.	148
Figura 2.121	Tipo de estribos de los puentes de Michoacán.	149
Figura 2.122	Materiales de los estribos de los puentes de Michoacán.	149
Figura 2.123	Tipo de cimentación de los estribos de los puentes de Michoacán.	150
Figura 2.124	Tipo de pilas de los puentes de Michoacán.	151
Figura 2.125	Material de las pilas de los puentes de Michoacán.	151
Figura 2.126	Tipo de cimentación de las pilas de los puentes de Michoacán.	152
Figura 2.127	Tipo de superficie de desgaste de los puentes de Michoacán.	153
Figura 2.128	Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes de Michoacán.	153
Figura 2.129	Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes de Michoacán.	154
Figura 2.130	Carga de diseño de los puentes de Michoacán.	155
Figura 2.131	Obstáculos que cruzan los puentes de Michoacán.	155
Figura 2.132	Propietarios de los puentes de Michoacán.	156
Figura 2.133	TPDA registrado en los puentes de Michoacán.	157
Figura 2.134	Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes de Michoacán.	157
Figura 2.135	Tipo de Puentes de Guerrero.	158
Figura 2.136	Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras de Guerrero.	159
Figura 2.137	Periodos de construcción de los puentes de Guerrero.	159
Figura 2.138	Puentes reconstruidos de Guerrero.	160
Figura 2.139	Tipo de paso de los puentes de Guerrero.	161
Figura 2.140	Número de claros de los puentes de Guerrero.	161
Figura 2.141	Longitud mínima de claro de los puentes de Guerrero.	162
Figura 2.142	Longitud máxima de claro de los puentes de Guerrero.	163
Figura 2.143	Longitud total de puentes de Guerrero.	163
Figura 2.144	Ancho total de los puentes de Guerrero.	164
Figura 2.145	Puentes en curva de Guerrero.	165
Figura 2.146	Puentes esviajados de Guerrero.	165
Figura 2.147	Grado de esviajamiento de los puentes de Guerrero.	166

Figura 2.148	Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes de Guerrero.	167
Figura 2.149	Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes de Guerrero.	167
Figura 2.150	Material de la superestructura de los puentes de Guerrero.	167
Figura 2.151	Tipo de estribos de los puentes de Guerrero.	169
Figura 2.152	Materiales de los estribos de los puentes de Guerrero.	169
Figura 2.153	Tipo de cimentación de los estribos de los puentes de Guerrero.	170
Figura 2.154	Tipo de pilas de los puentes de Guerrero.	171
Figura 2.155	Material de las pilas de los puentes de Guerrero.	171
Figura 2.156	Tipo de cimentación de las pilas de los puentes de Guerrero.	172
Figura 2.157	Tipo de superficie de desgaste de los puentes de Guerrero.	173
Figura 2.158	Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes de Guerrero.	173
Figura 2.159	Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes de Guerrero.	174
Figura 2.160	Carga de diseño de los puentes de Guerrero.	175
Figura 2.161	Obstáculos que cruzan los puentes de Guerrero.	175
Figura 2.162	Propietarios de los puentes de Guerrero.	176
Figura 2.163	TPDA registrado en los puentes de Guerrero.	177
Figura 2.164	Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes de Guerrero.	177
Figura 2.165	Tipo de Puentes de Oaxaca.	178
Figura 2.166	Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras de Oaxaca.	179
Figura 2.167	Periodos de construcción de los puentes de Oaxaca.	179
Figura 2.168	Puentes reconstruidos de Oaxaca.	180
Figura 2.169	Tipo de paso de los puentes de Oaxaca.	181
Figura 2.170	Número de claros de los puentes de Oaxaca.	181
Figura 2.171	Longitud mínima de claro de los puentes de Oaxaca.	182
Figura 2.172	Longitud máxima de claro de los puentes de Oaxaca.	183
Figura 2.173	Longitud total de puentes de Oaxaca.	183
Figura 2.174	Ancho total de los puentes de Oaxaca.	184
Figura 2.175	Puentes en curva de Oaxaca.	185

Figura 2.176	Puentes esviajados de Oaxaca.	185
Figura 2.177	Grado de esviajamiento de los puentes de Oaxaca.	186
Figura 2.178	Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes de Oaxaca.	187
Figura 2.179	Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes de Oaxaca.	187
Figura 2.180	Material de la superestructura de los puentes de Oaxaca.	188
Figura 2.181	Tipo de estribos de los puentes de Oaxaca.	189
Figura 2.182	Materiales de los estribos de los puentes de Oaxaca.	189
Figura 2.183	Tipo de cimentación de los estribos de los puentes de Oaxaca.	190
Figura 2.184	Tipo de pilas de los puentes de Oaxaca.	191
Figura 2.185	Material de las pilas de los puentes de Oaxaca.	191
Figura 2.186	Tipo de cimentación de las pilas de los puentes de Oaxaca.	192
Figura 2.187	Tipo de superficie de desgaste de los puentes de Oaxaca.	193
Figura 2.188	Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes de Oaxaca.	193
Figura 2.189	Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes de Oaxaca.	194
Figura 2.190	Carga de diseño de los puentes de Oaxaca.	195
Figura 2.191	Obstáculos que cruzan los puentes de Oaxaca.	195
Figura 2.192	Propietarios de los puentes de Oaxaca.	196
Figura 2.193	TPDA registrado en los puentes de Oaxaca.	197
Figura 2.194	Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes de Oaxaca.	197
Figura 2.195	Tipo de Puentes de Chiapas.	198
Figura 2.196	Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras de Chiapas.	199
Figura 2.197	Periodos de construcción de los puentes de Chiapas.	199
Figura 2.198	Puentes reconstruidos de Chiapas.	200
Figura 2.199	Tipo de paso de los puentes de Chiapas.	201
Figura 2.200	Número de claros de los puentes de Chiapas.	201
Figura 2.201	Longitud mínima de claro de los puentes de Chiapas.	202
Figura 2.202	Longitud máxima de claro de los puentes de Chiapas.	203
Figura 2.203	Longitud total de puentes de Chiapas.	203
Figura 2.204	Ancho total de los puentes de Chiapas.	204

Figura 2.205	Puentes en curva de Chiapas.	205
Figura 2.206	Puentes esviajados de Chiapas.	205
Figura 2.207	Grado de esviajamiento de los puentes de Chiapas.	206
Figura 2.208	Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes de Chiapas.	206
Figura 2.209	Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes de Chiapas.	207
Figura 2.210	Material de la superestructura de los puentes de Chiapas.	208
Figura 2.211	Tipo de estribos de los puentes de Chiapas.	208
Figura 2.212	Materiales de los estribos de los puentes de Chiapas.	209
Figura 2.213	Tipo de cimentación de los estribos de los puentes de Chiapas.	210
Figura 2.214	Tipo de pilas de los puentes de Chiapas.	210
Figura 2.215	Material de las pilas de los puentes de Chiapas.	211
Figura 2.216	Tipo de cimentación de las pilas de los puentes de Chiapas.	212
Figura 2.217	Tipo de superficie de desgaste de los puentes de Chiapas.	212
Figura 2.218	Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes de Chiapas.	213
Figura 2.219	Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes de Chiapas.	214
Figura 2.220	Carga de diseño de los puentes de Chiapas.	214
Figura 2.221	Obstáculos que cruzan los puentes de Chiapas.	215
Figura 2.222	Propietarios de los puentes de Chiapas.	216
Figura 2.223	TPDA registrado en los puentes de Chiapas.	216
Figura 2.224	Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes de Chiapas.	217
Figura 2.225	Tipo de Puentes en estudio.	218
Figura 2.226	Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras.	219
Figura 2.227	Periodos de construcción de los puentes en estudio.	220
Figura 2.228	Puentes reconstruidos.	221
Figura 2.229	Tipo de paso de los puentes en estudio.	221
Figura 2.230	Número de claros de los puentes en estudio.	222
Figura 2.231	Longitud mínima de claro de los puentes en estudio.	223
Figura 2.232	Longitud máxima de claro de los puentes en estudio.	223
Figura 2.233	Longitud total de puentes en estudio.	224

Figura 2.234	Ancho total de los puentes en estudio.	225
Figura 2.235	Puentes en curva.	226
Figura 2.236	Puentes esviajados.	226
Figura 2.237	Grado de esviajamiento de los puentes en estudio.	227
Figura 2.238	Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes en estudio.	228
Figura 2.239	Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes en estudio.	229
Figura 2.240	Material de la superestructura de los puentes en estudio.	230
Figura 2.241	Tipo de estribos de los puentes en estudio.	230
Figura 2.242	Materiales de los estribos de los puentes en estudio.	231
Figura 2.243	Tipo de cimentación de los estribos de los puentes en estudio.	232
Figura 2.244	Tipo de pilas de los puentes en estudio.	232
Figura 2.245	Material de las pilas de los puentes en estudio.	233
Figura 2.246	Tipo de cimentación de las pilas de los puentes en estudio.	234
Figura 2.247	Tipo de superficie de desgaste de los puentes en estudio.	234
Figura 2.248	Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes en estudio.	235
Figura 2.249	Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes en estudio.	236
Figura 2.250	Carga de diseño de los puentes en estudio.	236
Figura 2.251	Obstáculos que cruzan los puentes en estudio.	237
Figura 2.252	Propietarios de los puentes en estudio.	238
Figura 2.253	TPDA registrado en los puentes en estudio.	239
Figura 2.254	Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes en estudio.	240
Figura 3.1	Columnas con escaso acero transversal.	241
Figura 3.2	Principales fallas en puentes por sismo de San Francisco en 1971.	243
Figura 3.3	Colapso del viaducto Cypress durante el sismo de Loma Prieta en 1989, Oakland, CA.	245
Figura 3.4	Falla de las columnas de un puente durante el sismo de Northridge en 1994.	246
Figura 3.5	Colapso del viaducto “Hanshin Expressway” durante el sismo de Kobe en 1995.	247

Figura 3.6	Rangos de diseño elástico e inelástico.	249
Figura 3.7	Representación esquemática de las diferencias entre las áreas de acero calculadas con el diseño antes y después de 1970.	250
Figura 3.8	Falla en pila central de un paso superior vehicular en el sismo de San Fernando en 1971, por escaso acero transversal.	251
Figura 3.9	Falla en pila de puente por un mal anclaje de las barras longitudinales a la cimentación.	252
Figura 3.10	Falla en columna de un puente por escaso acero de confinamiento y pandeo de las barras longitudinales.	252
Figura 3.11	Fallas en columnas de edificios por el sismo de México en 1985.	253
Figura 3.12	Grietas superficiales en un puente.	257
Figura 3.13	Grietas estructurales en un puente.	257
Figura 3.14	Viga simplemente apoyada.	259
Figura 3.15	Daños por cortante en elementos losa-viga-columna.	260
Figura 3.16	Efecto en columnas.	260
Figura 3.17	Corrosión en puentes.	262
Figura 3.18	Desprendimiento del concreto por el congelamiento y deshielo.	264
Figura 3.19	Ataque al concreto por sulfatos.	265
Figura 3.20	Prueba de la fenolftaleína para diagnosticar la carbonatación en el concreto.	266
Figura 3.21	Ataque por cloruros en pilas.	267
Figura 3.22	Proceso de reacción álcali-agregado.	268
Figura 3.23	Efectos en puentes por socavación.	269
Figura 3.24	Problemas por colocación inapropiada de acero de refuerzo.	270
Figura 3.25	Retiro prematuro de cimbra.	270
Figura 3.26	Colocación inapropiada de la cimbra en columnas.	271
Figura 3.27	Agrietamiento por juntas frías.	272
Figura 3.28	Problemas por segregación en el concreto.	272
Figura 3.29	Problemas por asentamiento plástico.	273
Figura 3.30	Agrietamiento por contracción plástica.	273

Figura 3.31	Fallas en puentes por sismo.	275
Figura 3.32	Ubicación de puentes afectados por el sismo de Manzanillo en 1995.	279
Figura 3.33	Imágenes del puente Coahuayana después del sismo de 2003.	282
Figura 3.34	Imágenes del puente Nexpa.	284
Figura 3.35	Imágenes del puente Cihuatlán.	285
Figura 3.36	Imágenes del puente Adjuntas.	286
Figura 3.37	Imágenes del puente Barranca del Muerto.	287
Figura 3.38	Puente de la salida hacia Colima que sufrió daños en sus topes antisísmicos.	288
Figura 3.39	Imágenes del puente Tecomán Izq.	289
Figura 3.40	Imágenes del puente Tecomán Der.	290
Figura 3.41	Ubicación de los puentes dañados en el sismo de Tecomán en 2003.	291
Figura 3.42	Climas de México.	292
Figura 3.43	Puente típico 1.	300
Figura 3.44	Puente típico 2.	301
Figura 3.45	Puente típico 3.	302
Figura 3.46	Puente típico 4.	303
Figura 3.47	Puente típico 5.	304
Figura 3.48	Puente típico 6.	305
Figura 3.49	Puente típico 7.	306
Figura 3.50	Puente típico 8.	307
Figura 3.51	Puente típico 9.	308
Figura 3.52	Puente típico 10.	309
Figura 3.53	Puente típico 11.	310
Figura 3.54	Puente típico 12.	311
Figura 3.55	Puente típico 13.	312
Figura 3.56	Puente típico 14.	313
Figura 3.57	Puente típico 15.	314

Figura 3.58	Puente típico 16.	315
Figura 3.59	Puente típico 17.	316
Figura 3.60	Puente típico 18.	317
Figura 3.61	Puente típico 19.	318
Figura 3.62	Puente típico 20.	319
Figura 3.63	Puente típico 21.	320
Figura 3.64	Puente típico 22.	321
Figura 3.65	Puente típico 23.	322
Figura 3.66	Puente típico 24.	323
Figura 3.67	Puente típico 25.	324
Figura 3.68	Puente típico 26.	325
Figura 4.1	Diversos tipos de fibras para refuerzo estructural.	332
Figura 4.2	Tejidos de fibras de vidrio para refuerzo estructural.	339
Figura 4.3	Modo de aplicación de los polímeros reforzados con fibras de vidrio.	342
Figura 4.4	Tejidos de las fibras de arámidas.	344
Figura 4.5	Modo de aplicación de los polímeros reforzados con fibras de arámidas.	347
Figura 4.6	Colocación de refuerzo con fibras de carbono sin afectar su apariencia.	350
Figura 4.7	Refuerzo para brindar mayor ductilidad a pilas.	350
Figura 4.8	Puente reforzado con fibras de carbono.	351
Figura 4.9	Tipo probable de fallas en los sistemas de fibras de carbono.	353
Figura 4.10	Configuraciones convencionales de las fibras de carbono.	356
Figura 4.11	Colocación de tejidos de carbono.	358
Figura 4.12	Colocación de laminados de fibra de carbono.	369
Figura 4.13	Refuerzo en columnas con fibras de carbono.	370
Figura 4.14	Vigas reforzadas mediante fibras de carbono.	372
Figura 4.15	Refuerzo de losas mediante laminados de fibra de carbono.	373
Figura 4.16	Refuerzo de losas mediante tejido de fibra de carbono.	373

Figura 4.17	Diferentes tipos de moldes para encamisados de columnas y pilas.	374
Figura 4.18	Técnica de encamisado en columnas y pilas.	382
Figura 4.19	Técnica de encamisado en pilas de madera sumergidas en agua.	382
Figura 4.20	Encamisado en trabes.	383
Figura 4.21	Refuerzo mediante presfuerzo adicionado en una sección cajón.	384
Figura 4.22	Refuerzo de puentes por medio del presfuerzo externo.	385
Figura 4.23	Colocación de presfuerzo en sentido longitudinal.	386
Figura 4.24	Colocación de presfuerzo en sentido transversal.	386
Figura 4.25	Anclaje en el extremo del tablero.	389
Figura 4.26	Anclaje por losa postiza.	389
Figura 4.27	Puentes reforzados con presfuerzo exterior.	393
Figura 4.28	Puentes reforzados con postensado exterior.	394
Figura 4.29	Superestructura de puentes con desplazamiento después de la ocurrencia de un sismo.	395
Figura 4.30	Diferentes tipos de aisladores de base.	397
Figura 4.31	Vista del puente Infiernillo II.	398
Figura 4.32	Cabezal y topos sísmicos del puente Infiernillo II.	398
Figura 4.33	Sistema de aislamiento sísmico utilizado en el puente Infiernillo II.	399
Figura 4.34	Sistema de aislamiento sísmico, EQS.	400
Figura 4.35	Idealización de estructura principal y masa resonante.	401
Figura 5.1	Puente reforzado en Colombia.	405
Figura 5.2	Propuesta de las dos técnicas para reforzar el puente de Colombia.	405
Figura 5.3	Puente reforzado en el Estado de México.	407
Figura 5.4	Puente reforzado en el estado de Guerrero.	408
Figura 5.5	Puente reforzado en el estado de Veracruz.	410
Figura 5.6	Puente reforzado ubicado en el estado de Guerrero.	411
Figura A.1	Ubicación de puentes del estado de Jalisco con calificación 4, según SIPUMEX.	G

Figura A.2 Ubicación de puentes del estado de Colima con calificación 4, según SIPUMEX. M
Figura A.3 Ubicación de puentes del estado de Michoacán con calificación 4, según SIPUMEX. U
Figura A.4 Ubicación de puentes del estado de Guerrero con calificación 4, según SIPUMEX. EE
Figura A.5 Ubicación de puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX. OO
Figura A.6 Ubicación de puentes del estado de Chiapas con calificación 4, según SIPUMEX. YY

RESUMEN

Una parte fundamental en la infraestructura carretera de nuestro país son los puentes, ya que son estructuras que sirven para unir caminos y con ellos poder tener un mejor transporte y comunicación. Estos puentes tienen una historia importante, ya que antiguamente se construían gracias al manual de Puentes Típo y actualmente se diseñan específicamente para cada necesidad que se requiera, ya que intervienen las condiciones sísmicas, eólicas, hidráulicas y sobre todo la capacidad de carga que se contemple. La zona del pacífico mexicano es una zona en la cual esta propensa a sismos importantes, es por eso que se estudiaron los puentes de la red carretera federal libre de peaje de los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. Sin embargo, al actualizar los reglamentos de diseño para puentes, se ha podido dar un mayor refuerzo a dichas estructuras, ya que se contemplan mayores cargas para su diseño, sin embargo, la mayoría de los puentes que se tienen fueron construidos antes los años 70. Por medio del inventario de puentes del Sistema Mexicano de Puentes (SIPUMEX) se realizó un análisis estadístico para conocer los tipos de puentes más comunes que se tienen en estos estados, llamados Puentes Típicos. Si a estos puentes se les agrega la falta de mantenimiento y como se conocen algunos tipos de daños más frecuentes en ellos, se puede contemplar alguna técnica de reparación y refuerzo para dichos puentes, con la finalidad de no reconstruir el puente completo. De las técnicas que se dan a conocer en este trabajo son los polímeros reforzados con fibras, ya sean fibras de carbono, arámidas o de vídrio, los encamisados, el presfuerzo exterior y los aisladores de base y las masas resonantes. De estas técnicas, se describe algunas de las características más importantes, así como su uso respectivo. Posteriormente se dan algunas propuestas de técnica de reparación y refuerzo para cada puente típico. En el Anexo se observaron con más detalle los puentes con calificación 4 y 5, según SIPUMEX de cada estado de estudio.

PALABRAS CLAVE: Puente, refuerzo, técnica, típico, estadística.

ABSTRACT

A fundamental part of the highway infrastructure of our country are the bridges, because they are structures used to join routes and with them we have better transportation and communication. These bridges have an important history, because they were used to be built through the Bridges Type Manual and currently they are specifically designed for every need required, where are involved seismic, wind, water and especially the weigh capacity conditions contemplated. The Mexican Pacific area is an area which is prone to major earthquakes , that is why the toll free federal highway bridges network of the states of Jalisco, Colima, Michoacan, Guerrero, Oaxaca and Chiapas were studied. However, to update regulations for bridges, it has been possible to further strengthening such structures as higher charges for their design are contemplated, however, most bridges we have were built before the 70s. Through the Mexican Stock Bridge System (SIPUMEX) a statistical analysis was performed to identify the most common types of bridges that are in these states, called Typical Bridges. If there were added lack of maintenance to these bridges and as some most common types of damage are known on them, it can be seen some repair technique and reinforcement for these bridges, in order to not to rebuild the entire bridge.

The techniques that are disclosed in this work are fiber reinforced polymers, whether carbon fibers, aramid or glass, about the jacketed reinforcements, we have the external prestressing, the base isolators and the resonant masses. About these techniques, there are described some of the most important characteristics, as well as their respective use. Subsequently some proposed repair and reinforcement techniques for each typical bridge are given. On the Annex were observed in more detail bridges rated 4 and 5, according SIPUMEX for each case study.

KEYWORDS: Bridge, reinforcement, technic, typical, statistics.

INTRODUCCIÓN

Las vías terrestres son parte fundamental de nuestro país, ya que están en plan de desarrollo, y es por eso que tanto las carreteras como los puentes deben estar en buenas condiciones.

Nuestro país se caracteriza por la gran infraestructura carretera, y es por eso que el presente trabajo habla acerca de la importancia que tiene nuestra infraestructura carretera y sobre todo lo que son los puentes.

Los puentes desde siempre han sido estructuras complejas e imponentes, ya que son la expresión de la voluntad de superar obstáculos que se encuentran en el camino hacia un objetivo, ya que son testimonio de progreso, poder y decadencia, así mismo los puentes nos hablan de la cultura de los pueblos y de su mentalidad, ya que van desde las formas más simples hasta grandiosas estructuras.

Sin embargo, estas estructuras se les debe de dar el mantenimiento necesario para que puedan seguir en estado de servicio, pero al no darles ese mantenimiento, lo que provocan es que el puente no cumpla con los requisitos de servicio para los cuales fue diseñado, ya sea por capacidad de carga, por asentamientos, por deterioro por estar en contacto con la intemperie, entre otras acciones en contra de estas estructuras.

Así es como este trabajo habla respecto a algunas de las técnicas de reparación y refuerzo para puentes carreteros, sobre todo los que se encuentran en la zona del pacífico mexicano, ya que son los más vulnerables tanto por los huracanes como por sismos.

En el Capítulo 1, se habla respecto a la importancia de los puentes en la red carretera de nuestro país, se toca el tema del Transito Promedio Diario Anual de los seis estados en

estudio (Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas), y se habla también de algunas consideraciones que se deben de tomar en los puentes, como son los sismos, el viento, etc.

En el Capítulo 2, se habla del estado actual de las carreteras de estos seis estados de la República Mexicana. Posteriormente se habla un poco del Sistema Mexicano de Puentes (SIPUMEX), con el cual se realizó un análisis estadístico de las principales características de los puentes carreteros de estos seis estados, así como un concentrado global de dichos puentes.

En el Capítulo 3, se habla acerca del cambio que han tenido los reglamentos de diseño sísmico, así como un resumen de los principales daños en puentes que fueron afectados en dos sismos importantes en nuestro país. También se habla acerca de los principales daños que presentan los puentes, así como el cambio de normativa en cuestión a pesos y dimensiones vehiculares con los cuales se hace el diseño de puentes. Y finalizando este capítulo, se muestra la clasificación de los "Puente Típicos", los cuales son puentes con ciertas características similares y que servirán para poder dar una propuesta de técnica de reparación y/o refuerzo.

En el Capítulo 4, se habla acerca de cuatro técnicas de reparación y refuerzo: los FRP, los encamisados, los torones externos y los aisladores de base y masas resonantes.

En el Capítulo 5, se habla acerca de propuesta de técnicas para los puentes típicos, así como una comparación a nivel técnico y económico de estas técnicas en algunos puentes del país y las conclusiones generales de este trabajo.

Finalmente, en el Anexo A, se mencionan los puentes que, de acuerdo al SIPUMEX, tienen calificación de 4 y 5, se muestra su ubicación y sus principales daños.

CAPÍTULO 1

IMPORTANCIA DE LA RED CARRETERA EN LA ZONA DEL PACÍFICO MEXICANO

1.1 IMPORTANCIA DE LOS PUENTES EN LAS CARRETERAS FEDERALES

Un puente se define como una estructura para salvar un claro, el cual debe satisfacer las necesidades de funcionalidad, seguridad y economía, además de ser considerada una línea vital para la comunicación en el país (Figura 1. 1).



Figura 1. 1 Vista general de un puente.

La estructura de un puente está constituida por dos partes:

- Subestructura: está constituida por los estribos, pilas o columnas, apoyos y cimentación.
- Superestructura: está comprendida por la superficie de rodamiento, trabes y diafragmas (Figura 1. 2).

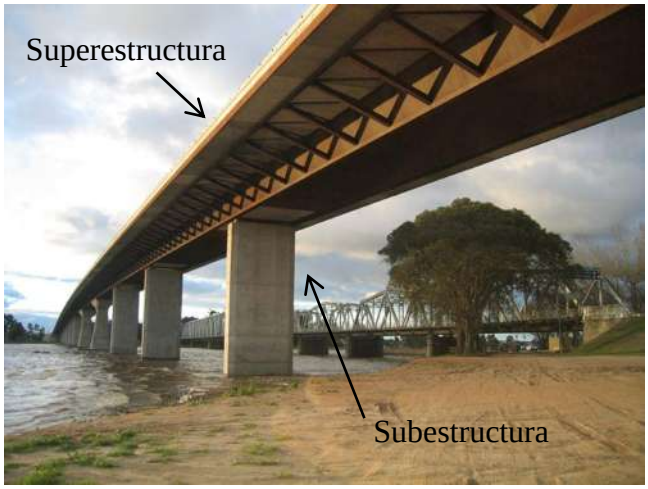


Figura 1. 2 Partes de un puente.

Los puentes se pueden clasificar en:

- Según su función y utilización: se pueden clasificar en puentes peatonales, puentes, viaductos o pasos carreteros y en puentes, viaductos o pasos ferroviarios. (Figura 1. 3)



a) Puente peatonal



b) Puente carretero



c) Puente ferroviario

Figura 1. 3 Tipo de puentes por su función y utilización.

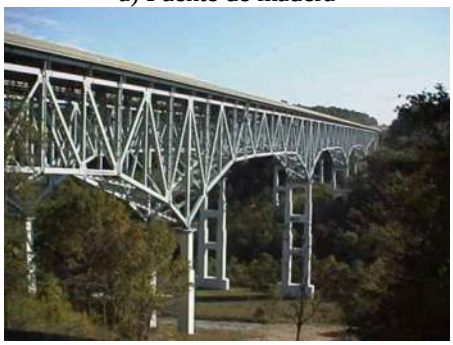
- Según sus materiales de construcción: se pueden clasificar en puentes de madera, de mampostería, de acero estructural, concreto armado y concreto presforzado. (Figura 1. 4)



a) Puente de madera



b) Puente de mampostería



c) Puente de acero



d) Puente de concreto armado



e) Puente de concreto presforzado.

Figura 1. 4 Tipo de puentes por su material de construcción.

- Según el tipo de estructura: pueden ser simplemente apoyados, con tramos continuos, en forma de arco, atirantados, colgantes y en doble voladizo. (Figura 1. 5) (Flores, 2006).



a) Puente simplemente apoyado



b) Puente con tramos continuos



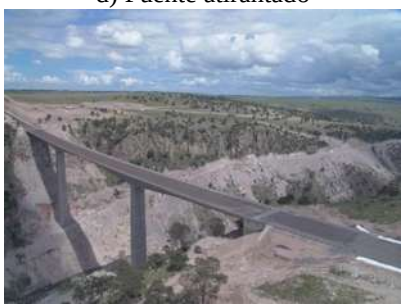
c) Puente en arco



d) Puente atirantado



e) Puente colgante



f) Puente en doble voladizo

Figura 1. 5 Tipos de puente según el tipo de estructura.

La evolución del diseño de puentes en la República Mexicana, desde los primeros puentes construidos por losas planas o losas con nervaduras hasta los modernos puentes de concreto presforzado, se inicia hacia el año de 1926, tiempo en el cual el Estado tomó a su cargo la construcción de carreteras.

Los ingenieros encargados de proyectar y construir los puentes carreteros formularon en ese año la primera colección de "Proyectos Tipo", los cuales ayudaron a resolver satisfactoriamente la mayor parte de los problemas de cruce de obstáculos. Esta colección contenía proyectos para claros de hasta 15 metros, ya que los claros mayores a esta dimensión, se proponía una estructura de acero por ser más económicas.

Posteriormente, en el año de 1946 se formuló la segunda colección de “Proyectos Tipo”, la cual ya presentaba notables ventajas sobre la primera colección en cuestión al material de construcción. En 1952 se realizó una tercera colección pero sin grandes avances.

En 1963 la Secretaría de Obras Públicas formó la cuarta colección de “Proyectos Tipo”, en la cual se incluye estructuras para claros de hasta 45 metros de longitud.

En México los puentes han sido un factor fundamental para el desarrollo económico, social y cultural durante los últimos años, al permitir la comunicación de varias ciudades del país. Al desarrollarse la tecnología del concreto reforzado y al ser un material económico, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes inicio la puesta en marcha de laboratorios con los cuales logró obtener concretos de mayor resistencia con parámetros estrictos de calidad y mayor confiabilidad, lo que favoreció la construcción de varios puentes.

El acero estructural es el material más resistente y ligero en la ingeniería para las construcciones de todo tipo, en los puentes igualmente resulta efectivo, en especial para salvar claros muy largos.

Los puentes de concreto presforzado han sido desarrollados en el país al aprovechar las ventajas que implica la prefabricación, las trabes por lo regular se construyen en los accesos y se transportan a su sitio sobre armaduras. Las trabes prefabricadas de concreto pretensado en plantas industriales son ligeras y las hace muy competitivas con las de concreto reforzado coladas en el lugar ya que ponen en servicio la obra a corto plazo.

La importancia de los puentes en el desarrollo y en las relaciones humanas ha sido el objetivo principal del impulso para el conocimiento en la construcción y en el mantenimiento de dichas estructuras.

Los puentes son las obras que tienen mayor costo unitario en una carretera, lo que significa que las distribuciones realizadas para su construcción son considerables. A consecuencia de ello surge la necesidad de mantenerlos en buen estado, evitando con ello la realización de grandes gastos para repararlos.

Estas estructuras pueden sufrir distintos tipos de daños que impactan directamente en la funcionalidad y seguridad de los mismos, además de tener una repercusión en la economía ya sea por la interrupción del servicio o el colapso de la estructura.

Los puentes se tienen que evaluar para su importancia en varios factores, los cuales son:

- El costo unitario en función del material con que se construyó y la facilidad de conseguir mano de obra.
- La dificultad de reposición, ya que tiene que ver con el costo, los materiales y las situaciones geográficas y topográficas.
- La pérdida de operación, que es la inversión que se realiza para el buen funcionamiento del puente.
- El impacto social, en cómo afecta en las regiones que comunica.

Por todo lo anterior, se puede decir que los puentes son estructuras sumamente importantes en las vías de comunicación del país.

1.2 IMPORTANCIA POR TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO ANUAL

La aplicación del criterio de clasificación funcional de las carreteras es útil para dividir la red vial en segmentos de características similares en función de la demanda, medida esta mediante los volúmenes de tránsito que son expresados comúnmente por el Transito Promedio Diario Anual o TPDA.

Uno de los elementos primarios para el diseño de las carreteras es el volumen del Tránsito Promedio Diario Anual, conocido en forma abreviada como TPDA, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un periodo de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho periodo de medición.

Tratándose de un promedio simple, el TPDA no refleja las variaciones extremas que pueden llegar a duplicar los volúmenes promedio del tránsito en algunas carreteras, razón por la cual en las estaciones permanentes de registro de volúmenes se deben medir y analizar las fluctuaciones del tránsito a lo largo de los diferentes periodos del año, sean estos semanales, mensuales o estacionales. No obstante, se ha tomado el TPDA como un indicador numérico para diseño, tanto para constituir una medida característica de la circulación de vehículos, como por su facilidad de obtención.

Constituye así el TPDA un indicador muy valioso de la cantidad de vehículos de diferentes tipos (ligeros y pesados) y funciones (transporte de personas y de mercancías), que se sirve de la carretera existente como su tránsito normal y que continuará haciendo uso de dicha carretera una vez sea mejorada o ampliada, o que se estima utilizará la carretera nueva al entrar en servicio para los usuarios (Transporte1UJCV, 2011).

El conocimiento del volumen y tipo de vehículos que circulan en la red de carreteras, permite determinar el grado de ocupación y las condiciones en que opera cada segmento de la red; el análisis de su evolución histórica es fundamental para definir las tendencias de su crecimiento y para planear con oportunidad las acciones que se necesitan para evitar que alguno de sus tramos deje de prestar el nivel de servicio que demanda el tránsito usuario.

Por lo que se refiere a la infraestructura, dicha información es básica para estudiar el potencial de captación de tránsito de nuevos tramos, así como para definir sus características geométricas y estructurales. En la red en operación, estos datos son útiles para priorizar las necesidades de mantenimiento, programar su modernización o reconstrucción e identificar la necesidad de rutas alternas (DGST/SCT, 2013).

De acuerdo con la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, cada año se realiza el conteo del tránsito durante todo el año. De acuerdo con el conteo del año 2012, se instalaron 6,179 estaciones de aforo con clasificación vehicular en períodos de siete días, distribuidos en toda la red carretera nacional pavimentada.

La red carretera de nuestro país se clasifica por las características físicas de los caminos, que están en función de sus especificaciones técnicas, mismas que se determinan de acuerdo al TPDA al que dan servicio. De acuerdo a esto, la SCT clasifica técnicamente a las carreteras de la siguiente manera (DGC/SCT, 2010).

- Tipo especial: para un TPDA superior a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más (o sea un 12% del TPD), estos caminos requieren de un estudio especial, pudiendo tener corona de dos o de cuatro carriles en un solo cuerpo, designándoles A2 y A4, respectivamente, o empleando cuatro carriles en dos cuerpos diferentes designándoles como A4, S.
- Tipo A: para un TPDA de 1,500 a 3,000 equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos (12% del TPD).
- Tipo B: para un TPDA de 500 a 1,500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12% de TPD).
- Tipo C: para un TPDA de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12% del TPD).

A continuación se muestra los TPDA de las principales carreteras federales libre de peaje de los seis estados en estudio, para poder identificar el tipo de carretera que tienen estos estados.

1.2.1 JALISCO

En la Figura 1. 6 se muestra las rutas carreteras libres de peaje del estado de Jalisco, ya que son donde se encuentran los puentes que se estudiarán en capítulos posteriores.

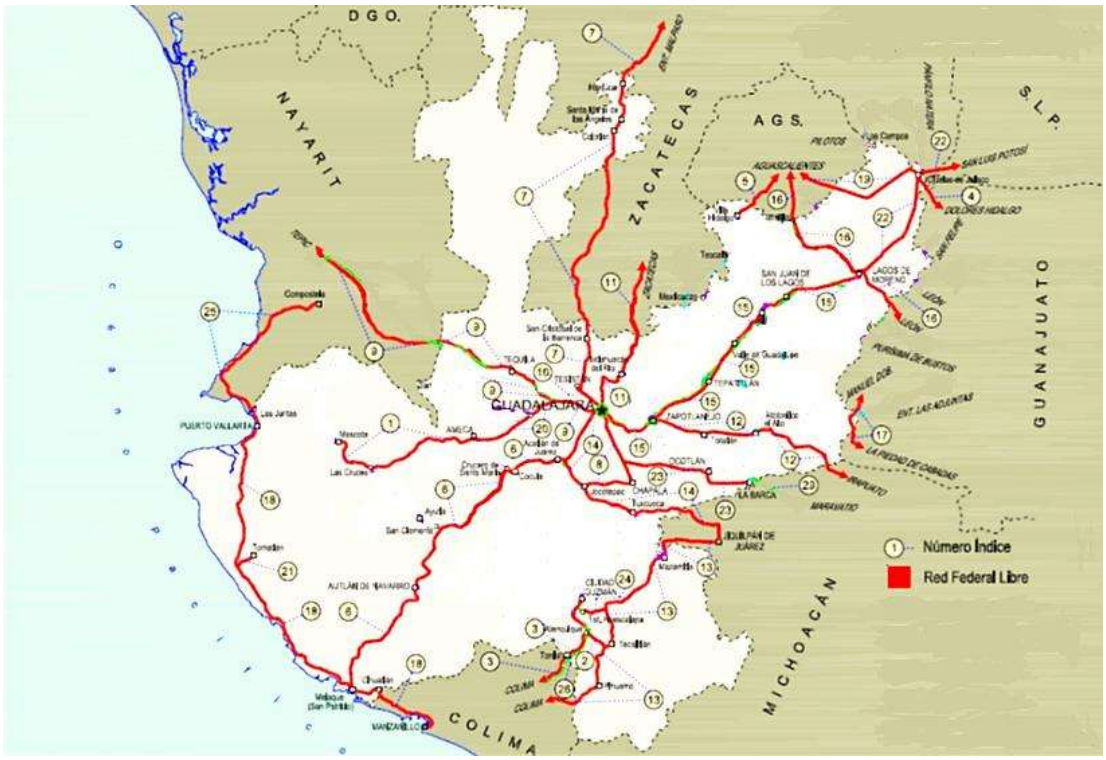


Figura 1. 6 Red carretera federal libre de peaje del estado de Jalisco.

A continuación se muestra en la Tabla 1. 1, Tabla 1. 2 y Tabla 1. 3 los TPDA de las principales rutas carreteras que se observaron en la figura anterior, así como se indicará respecto a los datos, qué tipo de carretera es la que se tiene en ese estado.

Tabla 1. 1 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Jalisco.

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 015	9	Guadalajara - Tepic	T. Der. Base Aérea No. 2	24,306	Tipo Especial
			T. Izq. La Primavera	17,768	Tipo Especial
			El Arenal	6,585	Tipo Especial
			Tequila	7,801	Tipo Especial
			Magdalena	6,655	Tipo Especial
	14	Jiquilpan - Guadalajara	Tuxcueca	3,336	Tipo Especial
			T. Der. Jocotepec	7,676	Tipo Especial
			Ent. Santa Cruz	7,762	Tipo Especial
			X. Periférico de Guadalajara (Baja)	20,293	Tipo Especial

Tabla 1. 2 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Jalisco (continuación).

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 015	14	Jiquilpan - Guadalajara	X. Periférico de Guadalajara (Alta)	31,227	Tipo Especial
MEX - 023	7	Ent. Tesistán - Ent. Malpaso	T.C. Guadalajara - Tesistán	16,557	Tipo Especial
			Colotlán	3,072	Tipo Especial
	8	Guadalajara - Ent. Jocotepec	X. Periférico de Guadalajara	47,774	Tipo Especial
			T. Der. Aeropuerto	52,980	Tipo Especial
			T. Izq. Ocotlán	14,208	Tipo Especial
			Chapala	11,467	Tipo Especial
			T.C. Jiquilpan - Guadalajara	4,827	Tipo Especial
	10	Guadalajra - Tesistán	X. Periférico de Guadalajara (Baja)	7,233	Tipo Especial
			X. Periférico de Guadalajara (Alta)	11,991	Tipo Especial
			T. Der. San Cristóbal de La Barranca (Baja)	4,662	Tipo Especial
			T. Der. San Cristóbal de La Barranca (Alta)	8,153	Tipo Especial
			Tesistán (Baja)	3,413	Tipo Especial
			Tesistán (Alta)	6,284	Tipo Especial
MEX - 035	23	Santa Rosa - La Barca	Santa Rosa	7,998	Tipo Especial
			T. Izq. Poncitlán	6,651	Tipo Especial
			Ocotlán	15,505	Tipo Especial
			Jamay	10,607	Tipo Especial
			La Barca	9,783	Tipo Especial
MEX - 045	16	León - Aguascalientes	X.C. San Luis Potosí - Lagos de Moreno	12,080	Tipo Especial
			Encarnación de Díaz	6,398	Tipo Especial
			T. Izq. Libramiento de Encarnación de Díaz	9,564	Tipo Especial
MEX - 051	4	Dolores Hidalgo - Ojuelos de Jalisco	T.C. San Luis Potosí - Lagos de Moreno	2,034	Tipo A
MEX - 054	2	Atenquique - San Pedro	X. Cuatro Caminos	2,922	Tipo A
			T.C. Jiquilpan - Colima	2,172	Tipo A
	3	Cd. Guzmán - Colima	Cd. Guzmán	8,347	Tipo Especial
			T. Izq. Zapotiltic	5,113	Tipo Especial
			T. Der. Tepozal y Nevado de Colima	4,493	Tipo Especial
			Atenquique	2,310	Tipo A
	11	Guadalajra - Zacatecas	X. Periférico de Guadalajara	9,861	Tipo Especial
			T. Der. Ixtlahuacán del Río	4,274	Tipo Especial
MEX - 070	1	Ameca - Mascota	Ameca	3,725	Tipo Especial
			T. Izq. San Clemente	1,699	Tipo A
			Mascota	2,492	Tipo A
	19	Ojuelos - Aguascalientes	Ojuelos	3,646	Tipo Especial
			Matancillas	3,192	Tipo Especial
			Vergel	3,591	Tipo Especial
MEX - 071	5	Ent. Penitenciaría - Villa Hidalgo	Villa Hidalgo	3,217	Tipo Especial
MEX - 070 - 080	22	San Luis Potosí - Lagos de Moreno	Ojuelos de Jalisco	6,150	Tipo Especial
			X.C. León - Aguascalientes	6,916	Tipo Especial
MEX - 080	6	Ent. Santa Cruz - Melaque	T. Izq. Acatlán de Juárez (1º Acceso)	4,666	Tipo Especial
			T. Izq. Acatlán de Juárez (2º Acceso)	4,783	Tipo Especial
			Cocula	5,092	Tipo Especial
			Tecolotlán	4,399	Tipo Especial
			T. Der. Ayutla	4,793	Tipo Especial
			T. Izq. El Grullo	4,164	Tipo Especial
			Autlán de Navarro	5,167	Tipo Especial
			T. Izq. Cuautitlán	4,004	Tipo Especial
			T.C. Manzanillo - Puerto Vallarta	2,170	Tipo A
	15	Lagos de Moreno - Guadalajara	Lagos de Moreno	5,296	Tipo Especial
			San Juan de Los Lagos	7,978	Tipo Especial
			T. Der. Teocaltiche	8,975	Tipo Especial
			Jalostotitlán	6,505	Tipo Especial
			T. Izq. Arandas	9,434	Tipo Especial
			Tepatitlán de Morelos	7,560	Tipo Especial
			Zapotlanejo	11,332	Tipo Especial
			X.C. Atlacomulco - Zapotlanejo (Cuota)	11,553	Tipo Especial

Tabla 1. 3 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Jalisco (continuación).

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 080	15	Lagos de Moreno - Guadalajara	T. Izq. El Salto	13,875	Tipo Especial
			T. Der. Tonalá	20,705	Tipo Especial
MEX - 090	12	Irapuato - Zapotlanejo	Degollado	6,205	Tipo Especial
			Ayotlán	7,222	Tipo Especial
			Atotonilco El Alto	5,351	Tipo Especial
			X.C. San Miguel El Alto - La Barca	11,635	Tipo Especial
			T. Izq. Ocotlán	9,061	Tipo Especial
			T. Der. Libramiento Zapotlanejo	10,938	Tipo Especial
MEX - 110	13	Jiquilpan - Colima	Mazamitla	3,674	Tipo Especial
			T. Izq. Tamazula de Gordiano (2º Acceso)	6,812	Tipo Especial
			T. Der. Cd. Guzmán	3,367	Tipo Especial
			Tecalitlán	2,134	Tipo A
			T. Der. Atenquique	1,364	Tipo B
			Pihuamo	2,333	Tipo A
	24	T.C. (Jiquilpan - Colima) - Est. Huescalapa	T.C. Jiquilpan - Colima	4,799	Tipo Especial
			Zapotiltic	10,110	Tipo Especial
			T.C. Cd. Guzmán - Colima	4,793	Tipo Especial
MEX - 200	18	Manzanillo - Puerto Vallarta	Cihuatlán	7,060	Tipo Especial
			T. Izq. San Francisco	7,786	Tipo Especial
			Melaque	9,416	Tipo Especial
			T. Izq. Tenacatita	2,181	Tipo A
			T. Der. Tomatlán	2,044	Tipo A
			T. Izq. El Tuito	2,417	Tipo A
			Puerto Vallarta	8,520	Tipo Especial
	21	Ramal a Tomatlán	T.C. Manzanillo - Puerto Vallarta	2,768	Tipo A
			Tomatlán	2,813	Tipo A
	25	Tepic - Puerto Vallarta	T. Der. Aeropuerto Díaz Ordáz	23,223	Tipo Especial
			T. Der. Aeropuerto Díaz Ordáz (Baja)	8,989	Tipo Especial
			T. Der. Aeropuerto Díaza Ordáz (Alta)	13,207	Tipo Especial
MEX - ?	20	Ramal a Ameca	T.C. Guadalajara - Tepic	5,928	Tipo Especial
			Tala	8,141	Tipo Especial
			Ameca	5,235	Tipo Especial

Para poder tener idea del tipo de camino que se tiene en la red federal libre de peaje en el estado de Jalisco, a continuación en la Figura 1. 7 se observa el porcentaje que se tiene de cada tipo de camino.

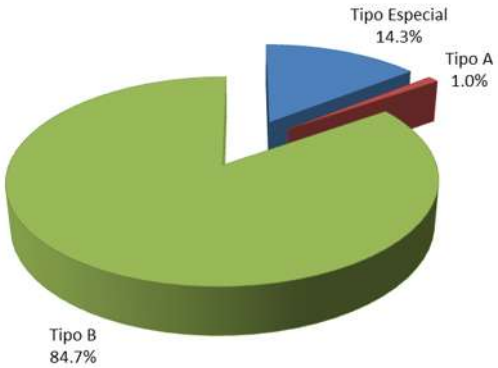


Figura 1. 7 Distribución del tipo de camino del estado de Jalisco.

1.2.2 COLIMA

En la Figura 1. 8 se muestra las rutas carreteras libres de peaje del estado de Colima, ya que son donde se encuentran los puentes que se estudiarán en capítulos posteriores.



Figura 1. 8 Red carretera federal libre de peaje del estado de Colima.

A continuación se muestra en la Tabla 1. 4 y Tabla 1. 5 los TPDA de las principales rutas carreteras que se observaron en la figura anterior, así como se indicará respecto a los datos, qué tipo de carretera es la que se tiene en ese estado.

Tabla 1. 4 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Colima.

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 054	1	Cd. Guzmán - Colima	T. Der. Quesería	6,091	Tipo Especial
			Cuauhtémoc	5,124	Tipo Especial
			El Trapiche	13,623	Tipo Especial
			T. Izq. Libramiento de Colima	14,401	Tipo Especial
	5	Libramiento de Colima	T.C. Cd. Guzmán - Colima	6,933	Tipo Especial
			T.C. Colima - Ent. Tecomán	12,951	Tipo Especial
MEX - 098	9	Minatitlán - Ent. Pez Vela	T. Der. Jalipa	3,198	Tipo Especial
			T.C. Manzanillo - Puerto Vallarta	6,481	Tipo Especial
	13	Ramal Cerro de Los Juanes	T.C. Minatitlán - Ent. Pez Vela	893	Tipo B

Tabla 1. 5 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Colima (continuación).

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 110	2	Colima - Ent. Tecomán	T.C. Jiquilpan - Colima	14,856	Tipo Especial
			T. Izq. Los Asmoles	9,790	Tipo Especial
			T. Der. Caleras	10,071	Tipo Especial
			T.C. Ent. Playa Azul - Manzanillo	10,514	Tipo Especial
	4	Jiquilpan - Colima	T. Der. Estación Alzada	1,632	Tipo A
			T. Izq. Los Tepames	2,085	Tipo A
			X.C. Libramiento de Colima	7,062	Tipo Especial
			Colima	10,372	Tipo Especial
	10	Paso por La Salada	La Salada	2,346	Tipo A
	11	Paso por Los Asmoles	Los Asmoles	2,100	Tipo A
MEX - 200	3	Ent. Playa Azul - Manzanillo	Cerro de Ortega	4,876	Tipo Especial
			El Balcón	5,497	Tipo Especial
			Cofradía de Morelos	7,696	Tipo Especial
			T.C. Colima - Ent. Tecomán	5,573	Tipo Especial
			T. Der. Rincón de López	6,204	Tipo Especial
			Armería	6,021	Tipo Especial
			T. Izq. Cuyutlán	5,423	Tipo Especial
			Santa Rita	6,156	Tipo Especial
			Las Nuevas Juntas	6,026	Tipo Especial
			T. Der. Libramiento de Manzanillo (Libre)	7,568	Tipo Especial
			Manzanillo	6,987	Tipo Especial
	6	Libramiento de Manzanillo (Libre)	T.C. Ent. Playa Azul - Manzanillo	7,546	Tipo Especial
			T.C. Manzanillo - Puerto Vallarta	6,467	Tipo Especial
	7	Libramiento de Manzanillo Norte	T.C. Minatitlán - Ent. Pez Vela	14,045	Tipo Especial
			T.C. Manzanillo - Puerto Vallarta	3,580	Tipo Especial
	8	Manzanillo - Puerto Vallarta	Manzanillo	17,924	Tipo Especial
			T. Der. Minatitlán	20,823	Tipo Especial
			Santiago	7,738	Tipo Especial
			San Juan de Cuatro Vientos	5,653	Tipo Especial
			T. Izq. Aeropuerto Manzanillo	5,639	Tipo Especial
	12	Ramal a Cuyutlán	T.C. Ent. Playa Azul - Manzanillo	676	Tipo B
			Cuyutlán	558	Tipo B
	14	Ramal Cerro de Ortega	T.C. Ent. Playa Azul - Manzanillo	2,606	Tipo A
	15	Tecomán - Boca de Pascuales	Tecomán	3,144	Tipo Especial

Para poder tener idea del tipo de camino que se tiene en la red federal libre de peaje en el estado de Colima, a continuación en la Figura 1. 9 se observa el porcentaje que se tiene de cada tipo de camino.

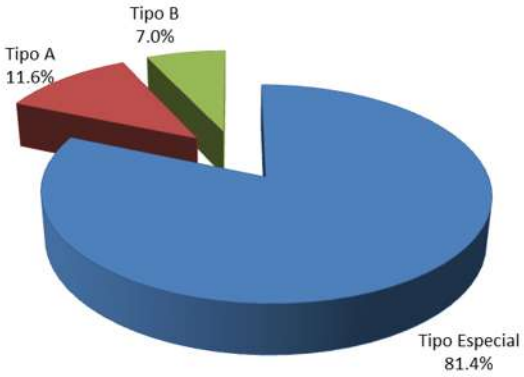


Figura 1. 9 Distribución del tipo de camino del estado de Colima.

1.2.3 MICHOACÁN

En la Figura 1. 10 se muestra las rutas carreteras libres de peaje del estado de Michoacán, ya que son donde se encuentran los puentes que se estudiarán en capítulos posteriores.



Figura 1. 10 Red carretera federal libre de peaje del estado de Michoacán.

A continuación se muestra en la Tabla 1. 6, Tabla 1. 7 y Tabla 1. 8 los TPDA de las principales rutas carreteras que se observaron en la figura anterior, así como se indicará respecto a los datos, qué tipo de carretera es la que se tiene en ese estado.

Tabla 1. 6 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Michoacán.

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 014	15	Morelia - Pátzcuaro	X. Periférico de Morelia	19,443	Tipo Especial
			Tiripetío	9,954	Tipo Especial
			Huiramba	9,507	Tipo Especial
			Tzurumútaro	5,683	Tipo Especial
	17	Pátzcuaro - Uruapan	Pátzcuaro	6,357	Tipo Especial
			T. Izq. Zirahuén	5,711	Tipo Especial
			Tingambato	5,387	Tipo Especial
			T. Izq. Libramiento de Uruapan	7,925	Tipo Especial
			Uruapan	17,047	Tipo Especial
MEX - 015	8	Jiquilpan - Guadalajara	Jiquilpan	9,831	Tipo Especial
			Sahuayo	10,450	Tipo Especial
			Cojumatlán de Regules	3,513	Tipo Especial
	12	Libramiento Oriente de Zamora	T.C. Morelia - Jiquilpan	10,085	Tipo Especial
			T. Izq. Zamora	8,347	Tipo Especial
			T. Der. Atecucario de la Constitución	7,936	Tipo Especial
			T.C. Zamora - Vista Hermosa	8,587	Tipo Especial
	14	Morelia - Jiquilpan	T. Izq. Periférico de Morelia	21,447	Tipo Especial
			T. Izq. Lagunillas	6,300	Tipo Especial
			T. Izq. Libramiento de Quiroga	5,427	Tipo Especial
			Comanja	4,676	Tipo Especial
			T. Der. Zacapu y Villachuato	8,923	Tipo Especial
			T. Der. La Piedad	4,806	Tipo Especial
			Santo Tomas	11,331	Tipo Especial
			T. Der. Etucuaro	8,560	Tipo Especial
			T. Izq. Tangancícuaro	12,230	Tipo Especial
			T. Izq. Libramiento Sur de Zamora	9,945	Tipo Especial
			Zamora	9,997	Tipo Especial
			Jacona	9,519	Tipo Especial
			Tangamandapio	5,783	Tipo Especial
			T. Der. Villa Mar	3,890	Tipo Especial
			T. Der. Libramiento de Jiquilpan	10,274	Tipo Especial
	19	Rinconada - La Piedad	T.C. Zamora - Vista Hermosa	10,359	Tipo Especial
			T. Der. Atecucario de la Constitución	8,507	Tipo Especial
			La Nopalera	6,988	Tipo Especial
			T. Der. Ecuandureo (1º Acceso)	7,355	Tipo Especial
			Ecuandureo	6,154	Tipo Especial
			Quiringüicharo	5,068	Tipo Especial
			El Algodonal	4,479	Tipo Especial
			T. Izq. Guadalajara (Libre)	5,372	Tipo Especial
			T.C. La Piedad - Carapan	7,944	Tipo Especial
	22	Toluca - Morelia	T. Der. Libramiento de Heroica Zitácuaro	17,143	Tipo Especial
			T. Der. Angangueo	13,520	Tipo Especial
			T. Der. Zirahuato	8,302	Tipo Especial
			T. Izq. Jungapeo	7,228	Tipo Especial
			Tuxpan	4,829	Tipo Especial
			Cd. Hidalgo	12,275	Tipo Especial
			T. Der. Huajumbaro	2,805	Tipo A
			T. Izq. Tzitzio	668	Tipo B
			T. Der. De Los Triguillos	3,183	Tipo Especial
			Periférico de Morelia	1,900	Tipo A

Tabla 1. 7 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Michoacán (continuación).

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 035	23	Zamora - Vista Hermosa	Zamora	10,540	Tipo Especial
			T. Der. La Piedad	11,063	Tipo Especial
			T.C. Patti - Sahuayo	7,288	Tipo Especial
MEX - 037	2	Carapan - Playa Azul	T.C. Morelia - Jiquilpan	4,617	Tipo Especial
			Uruapan	8,055	Tipo Especial
			Gabriel Zamora	6,338	Tipo Especial
			X.C. Quiroga - Tepalcatepec	6,954	Tipo Especial
			San Pedro Barajas	272	Tipo C
			T. Izq. Infiernillo	829	Tipo B
			Arteaga	1,460	Tipo B
			T. Izq. Zihuatanejo	4,597	Tipo Especial
			Playa Azul	3,655	Tipo Especial
	11	La Piedad - Carapan	La Piedad	7,804	Tipo Especial
			T. Izq. Puruándiro	2,686	Tipo A
			Purépero	4,618	Tipo Especial
			T.C. Morelia - Jiquilpan	4,224	Tipo Especial
MEX - 043	16	Morelia - Salamanca	X. Periférico de Morelia	32,034	Tipo Especial
			T. Der. Zinapécuaro	19,958	Tipo Especial
			Cuitzeo	8,430	Tipo Especial
MEX - 051	25	Zitácuaro - Cd. Altamirano	San Cayetano	5,795	Tipo Especial
			Benito Juárez	3,884	Tipo Especial
			Tiquicheo	833	Tipo B
			Huetamo	6,445	Tipo Especial
			San Lucas	2,567	Tipo A
			T.C. Toluca - Cd. Altamirano	5,844	Tipo Especial
MEX - 051 - 120	5	Huajúmbaro - San José	T.C. Toluca - Morelia	4,220	Tipo Especial
			X.C. Atlacomulco - Morelia	4,706	Tipo Especial
			T. Der. Libramiento de Zinapécuaro	5,781	Tipo Especial
			T. Izq. Morelia	5,523	Tipo Especial
			T.C. Morelia - Salamanca	18,117	Tipo Especial
MEX - 061	13	Maravatío - Acámbaro	Maravatío	8,154	Tipo Especial
MEX - 090	6	Irapuato - Zapotlanejo	La Piedad	12,593	Tipo Especial
			T. Izq. Yurécuaro	8,545	Tipo Especial
MEX - 110	3	Ent. Patti - Sahuayo	T.C. Irapuato - Guadalajara	10,554	Tipo Especial
			T. Izq. Zamora	7,949	Tipo Especial
			Vista Hermosa	10,908	Tipo Especial
			Briseñas	6,844	Tipo Especial
			Cumuatillo	6,533	Tipo Especial
			T.C. Jiquilpan - Guadalajara	12,265	Tipo Especial
	7	Jiquilpan - Colima	Jiquilpan	5,251	Tipo Especial
			San José de Gracia	4,432	Tipo Especial
MEX - 120	1	Acámbaro - Zinapécuaro	Zinapécuaro	4,589	Tipo Especial
	18	Quiroga - Tepalcatepec	Quiroga	5,992	Tipo Especial
			Zurumútaro	15,017	Tipo Especial
			Opopeo	7,685	Tipo Especial
			Ario de Rosales	5,011	Tipo Especial
			La Huacana	2,583	Tipo A
			X.C. Carapan - Playa Azul	5,036	Tipo Especial
			Apatzingán	9,812	Tipo Especial
			Santa Ana Amatlán	5,385	Tipo Especial
			Buenavista Tomatlán	6,373	Tipo Especial
MEX - 200	4	Ent. Playa Azul - Manzanillo	T.C. Carapan - Playa Azul	3,832	Tipo Especial
			Caleta de Campos	1,621	Tipo A
			Tizupan	725	Tipo B
			Maruata	1,078	Tipo B
			T. Der. Aquila	2,386	Tipo A
	10	La Orilla - Las Truchas	T.C. Zihuatanejo - La Mira	13,545	Tipo Especial

Tabla 1. 8 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Michoacán (continuación).

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 200	10	La Orilla - Las Truchas	Lázaro Cárdenas	4,023	Tipo Especial
			Las Truchas	5,713	Tipo Especial
	20	T.C. (Zihuatanejo - La Mira) - Lázaro Cárdenas	T.C. Zihuatanejo - La Mira	21,190	Tipo Especial
			Lázaro Cárdenas	15,825	Tipo Especial
	24	Zihuatanejo - La Mira	La Villita	1,920	Tipo A
			Guacamayas	1,887	Tipo A
			T. Izq. Lázaro Cárdenas	15,834	Tipo Especial
			La Mira	10,691	Tipo Especial

Para poder tener idea del tipo de camino que se tiene en la red federal libre de peaje en el estado de Michoacán, a continuación en la Figura 1. 11 se observa el porcentaje que se tiene de cada tipo de camino.

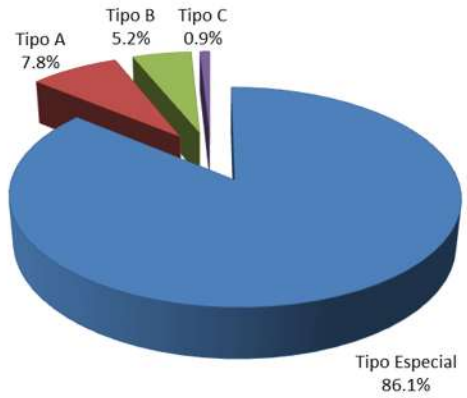


Figura 1. 11 Distribución del tipo de camino del estado de Michoacán.

1.2.4 GUERRERO

En la Figura 1. 12 se muestra las rutas carreteras libres de peaje del estado de Guerrero, ya que son donde se encuentran los puentes que se estudiarán en capítulos posteriores.



Figura 1. 12 Red carretera federal libre de peaje del estado de Guerrero.

A continuación se muestra en la Tabla 1. 9 y Tabla 1. 10 los TPDA de las principales rutas carreteras que se observaron en la figura anterior, así como se indicará respecto a los datos, qué tipo de carretera es la que se tiene en ese estado.

Tabla 1. 9 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Guerrero.

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 051	8	Iguala - Cd. Altamirano	T. Izq. Cocula	5,381	Tipo Especial
			T. Izq. Teloloapan	4,177	Tipo Especial
			T. Izq. Almoloya	1,308	Tipo B
			T. Izq. Arcelia	4,447	Tipo Especial
			Cd. Altamirano	8,352	Tipo Especial
MEX - 093	5	Chilpancingo - Jilotepec	Chilpancingo	6,688	Tipo Especial
			T. Der. Tixtla de Guerrero	6,618	Tipo Especial
			T. Izq. Almolonga	3,599	Tipo Especial
			Chilapa de Alvárez	4,889	Tipo Especial
			Tlapa de Comonfort	4,936	Tipo Especial
			Huamuxtitlán	3,597	Tipo Especial
			Xochihuehuetlán	1,813	Tipo A
			Jilotepec	1,714	Tipo A
MEX - 095	3	Chilpancingo - Acapulco	T.C. Cuernavaca - Acapulco (Cuota)	12,724	Tipo Especial
			Petaquillas	6,749	Tipo Especial
			El Ocotito	6,322	Tipo Especial
			T. Izq. Tierra Colorada Inicia	5,972	Tipo Especial
			T. Izq. Tierra Colorada Termina	4,776	Tipo Especial
			X.C. Cuernavaca - Acapulco (Cuota)	4,116	Tipo Especial
			T. Der. Pablo Galeana	3,533	Tipo Especial

Tabla 1. 10 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Guerrero (continuación).

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 095	3	Chilpancingo - Acapulco	T. Der. Libramiento Norte de Acapulco	11,238	Tipo Especial
	4	Chilpancingo - Chichihualco	T.C. Cuernavaca - Chilpancingo	3,344	Tipo Especial
			T. Der. El Palmar	1,885	Tipo A
			Chichihualco	1,168	Tipo B
	6	Cuernavaca - Chilpancingo	T. Der. Ixtapan de La Sal (Axixintla)	2,587	Tipo A
			Taxco	5,522	Tipo Especial
			Iguala	7,340	Tipo Especial
			T. Izq. Puente de Ixtla	14,006	Tipo Especial
			T. Der. Sabana Grande	8,160	Tipo Especial
			T. Der. Tecuescontitlán	8,632	Tipo Especial
			T. Der. Mezcala	7,087	Tipo Especial
			T. Der. Filo de Caballo	7,148	Tipo Especial
			Chilpancingo	14,109	Tipo Especial
	11	Libramiento Norte de Acapulco	T.C. Chilpancingo - Acapulco	4,632	Tipo Especial
			T. Der. Pelillo	2,827	Tipo A
			T.C. Acapulco - Zihuatanejo	3,830	Tipo Especial
MEX - 134	2	Cd. Altamirano - T.C. (Zihuatanejo - La Mira)	Cd. Altamirano	9,832	Tipo Especial
			T. Der. Zirándaro	3,194	Tipo Especial
			T.C. Zihuatanejo - La Mira	1,425	Tipo B
	16	Toluca - Cd. Altamirano	Cutzamala	1,986	Tipo A
			Cd. Altamirano	3,451	Tipo Especial
MEX - 196	12	Milpillas - T.C. (Acapulco - Zihuatanejo)	T.C. Cuernavaca - Chilpancingo	1,084	Tipo B
			Los Morros	652	Tipo B
			Atoyac de Alvárez	887	Tipo B
			T.C. Acapulco - Zihuatanejo	4,584	Tipo Especial
MEX - 198	15	Tierra Colorada - Cruz Grande	Tierra Colorada	1,749	Tipo A
			Tecoanapa	2,371	Tipo A
			Ayutla de Los Libres	4,185	Tipo Especial
			Cruz Grande	2,680	Tipo A
MEX - 200	1	Acapulco - Zihuatanejo	T. Izq. Pie de La Cuesta	17,749	Tipo Especial
			T. Der. Libramiento de Acapulco	8,016	Tipo Especial
			Coyuca de Benítez	9,538	Tipo Especial
			T. Der. Atoyac de Alvárez	9,286	Tipo Especial
			T.C. Libramiento de Técpan (Cuota)	6,027	Tipo Especial
			Técpan de Galeana	7,805	Tipo Especial
			T.C. Libramiento de Técpan (Cuota)	5,682	Tipo Especial
			Papanoa	4,077	Tipo Especial
			Petatán	4,886	Tipo Especial
			Zihuatanejo	7,614	Tipo Especial
	9	La Sabana - Puerto Marqués	T.C. Las Cruces - Pinotepa Nacional	13,878	Tipo Especial
			X.C. Acapulco - Aeropuerto Acapulco	13,816	Tipo Especial
	10	Las Cruces - Pinotepa Nacional	T.C. Chilpancingo - Acapulco	17,678	Tipo Especial
			T. Der. Puerto Marqúes	11,086	Tipo Especial
			X.C. Puerto Marqués - La Venta (Cuota)	3,889	Tipo Especial
			San Marcos	6,461	Tipo Especial
			Nexpa	4,929	Tipo Especial
			T. Izq. Copala (1º Acceso)	4,610	Tipo Especial
			T. Izq. Copala (2º Acceso)	5,747	Tipo Especial
			T. Izq. Ometepec	4,110	Tipo Especial
			Cuajinicuilapa	2,763	Tipo A
	13	Ramal a Aeropuerto Zihuatanejo	T.C. Acapulco - Zihuatanejo	3,280	Tipo Especial
	14	San Juan de Los Llanos - Ometepec	T.C. Las Cruces - Pinotepa Nacional	4,433	Tipo Especial
			Ometepec	2,890	Tipo A
	17	Zihuatanejo - La Mira	Zihuatanejo	12,663	Tipo Especial
			T. Izq. Ixtapa Zihuatanejo	7,110	Tipo Especial
			T. Der. Cd. Altamirano	6,834	Tipo Especial
			T. Der. La Unión	4,421	Tipo Especial
			Zacatula	3,273	Tipo Especial

Para poder tener idea del tipo de camino que se tiene en la red federal libre de peaje en el estado de Guerrero, a continuación en la Figura 1. 13 se observa el porcentaje que se tiene de cada tipo de camino.

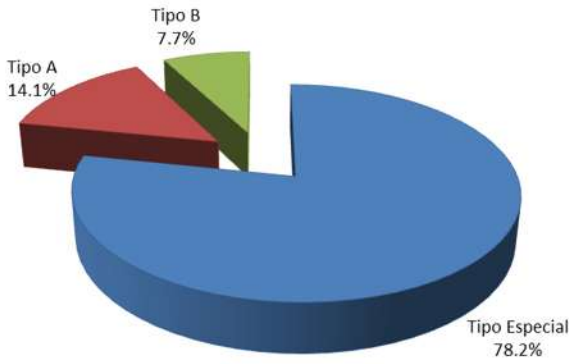


Figura 1. 13 Distribución del tipo de camino del estado de Guerrero.

1.2.5 OAXACA

En la Figura 1. 14 se muestra las rutas carreteras libres de peaje del estado de Oaxaca, ya que son donde se encuentran los puentes que se estudiarán en capítulos posteriores.

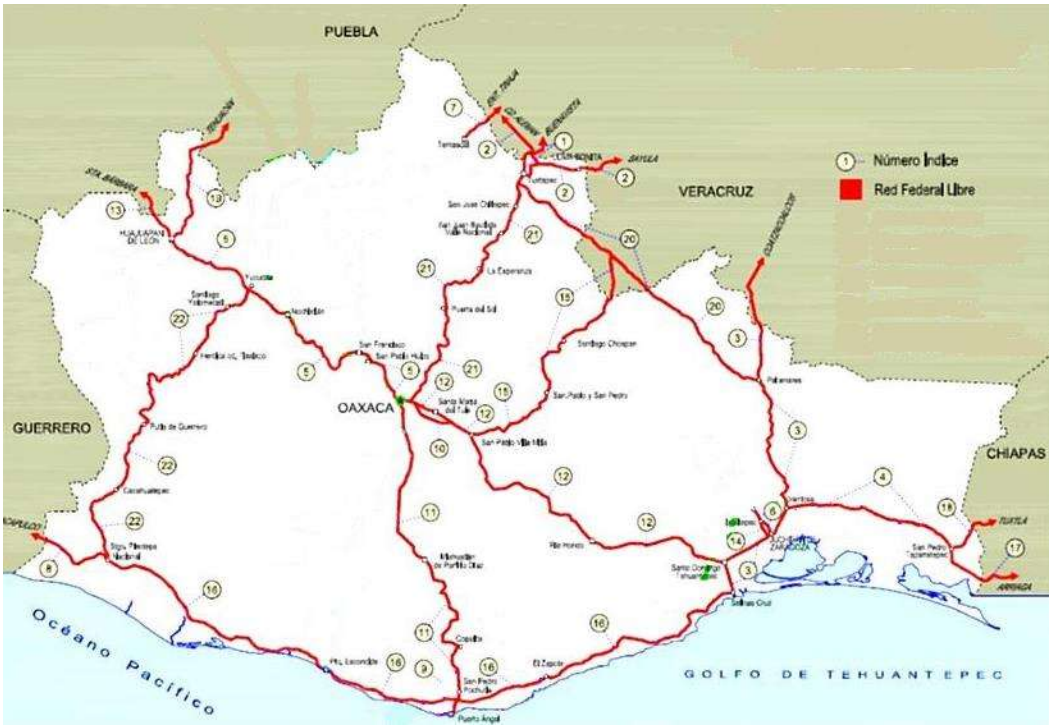


Figura 1. 14 Red carretera federal libre de peaje del estado de Oaxaca.

A continuación se muestra en la Tabla 1. , Tabla 1. y Tabla 1. los TPDA de las principales rutas carreteras que se observaron en la figura anterior, así como se indicará respecto a los datos, qué tipo de carretera es la que se tiene en ese estado.

Tabla 1. 11 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Oaxaca.

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 125	19	Tehuacán - Huajuapan de León	Santiago Chazumba	1,334	Tipo B
			T. Izq. Santa María Camotlán	1,527	Tipo A
			T.C. Huajuapan de León - Oaxaca	7,830	Tipo Especial
	22	Yucadaa - Santiago Pinotepa Nacional	T.C. Huajuapan de León - Oaxaca	2,408	Tipo A
			Yolomécatl	2,497	Tipo A
			Tlaxiaco	3,211	Tipo Especial
			T. Der. Santiago Juxcatlán	1,089	Tipo B
			Putla de Guerrero	2,241	Tipo A
			Cacahuatepec	1,531	Tipo A
			T.C. Las Cruces - Pinotepa Nacional	3,363	Tipo Especial
MEX - 145	2	Cd. Alemán - Sayula	Puente Papaloapan	3,660	Tipo Especial
			T. Izq. Loma Bonita	5,639	Tipo Especial
			T. Der. Villa Azueta	5,437	Tipo Especial
	7	La Granja - Temascal	Temascal	2,983	Tipo A
MEX - 147	20	Tuxtepec - Ent. Palomares	T.C. Tuxtepec - Oaxaca	4,120	Tipo Especial
			X.C. El Rodeo - Reforma	2,427	Tipo A
			María Lombardo de Caso	2,450	Tipo A
			T.C. Coatzacoalcos - Salina Cruz	1,853	Tipo A
MEX - 175	1	Buenavista - Tuxtepec	Puente Caracol	6,163	Tipo Especial
			Tuxtepec	4,269	Tipo Especial
	11	Oaxaca - Puerto Ángel	Oaxaca	27,375	Tipo Especial
			T. Der. Aeropuerto	22,425	Tipo Especial

Tabla 1. 12 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Oaxaca (continuación).

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 175	11	Oaxaca - Puerto Ángel	T. Der. Puerto Escondido	11,948	Tipo Especial
			Ocotlán	8,426	Tipo Especial
			Ejutla de Crespo	3,730	Tipo Especial
			Miahuatlán de Porfirio Díaz	3,130	Tipo Especial
			San Miguel Suchixtepec	1,427	Tipo B
			Candelaria Loxicha	1,290	Tipo B
			San Pedro Pochutla	3,920	Tipo Especial
			Puerto Ángel	4,475	Tipo Especial
	21	Tuxtepec - T.C. (Oaxaca - Tehuantepec)	Tuxtepec	6,404	Tipo Especial
			T. Izq. Palomares	5,510	Tipo Especial
			San José Chiltepec	3,195	Tipo Especial
			Valle Nacional	2,379	Tipo A
			La Esperanza	443	Tipo C
			Puerta del Sol	542	Tipo B
			T. Der. Ixtepeji	1,934	Tipo A
			T. Izq. Yuvila	2,103	Tipo A
			T.C. Oaxaca - Tehuantepec	4,998	Tipo Especial
MEX - 179	15	San Pablo Villa de Mitla - T.C. (Tuxtepec - Palomares)	T.C. Oaxaca - Tehuantepec	2,835	Tipo A
			San Pedro y San Pablo Ayutla	1,470	Tipo B
			T. Der. Zacatepec	1,597	Tipo A
MEX - 185	3	Coatzacoalcos - Salina Cruz	T. Der. Tuxtepec	4,892	Tipo Especial
			T. Der. Estación Mogoñe	5,120	Tipo Especial
			T. Der. Matías Romero	7,896	Tipo Especial
			T. Der. Barrio de La Soledad	6,583	Tipo Especial
			T.C. La Ventosa - Salina Cruz (Cuota)	4,423	Tipo Especial
			T. Izq. San Pedro Tapanatepec (2º Acceso)	4,920	Tipo Especial
			Juchitán de Zaragoza	8,034	Tipo Especial
			Santo Domingo Tehuantepec	6,495	Tipo Especial
			Salina Cruz	14,362	Tipo Especial
	6	Juchitán - Ixtepec	X.C. Coatzacoalcos - Salina Cruz	8,338	Tipo Especial
			Asunción Ixtaltepec	3,086	Tipo Especial
			Ixtepec	4,009	Tipo Especial
	14	Ramal a Asunción Ixtaltepec	T.C. Coatzacoalcos - Salina Cruz	5,574	Tipo Especial
			Asunción Ixtaltepec	3,564	Tipo Especial
MEX - 190	4	Ent. La Ventosa - San Pedro Tanapatepec	La Ventosa	3,773	Tipo Especial
			T.C. La Ventosa - Salina Cruz (Cuota)	6,164	Tipo Especial
			T. Izq. Niltepec	3,844	Tipo Especial
			Santo Domingo Zanatepec	4,945	Tipo Especial
			San Pedro Tapanatepec	4,125	Tipo Especial
	5	Huajuapan de León - Oaxaca	T. Izq. Tehuacán	10,893	Tipo Especial
			Tamazulapan	3,337	Tipo Especial
			T. Izq. Santiago Tejupan	3,041	Tipo Especial
			T. Der. Tlaxiaco	2,935	Tipo A
			Asunción Nochixtlán	6,744	Tipo Especial
			T. Izq. Tehuacán	4,651	Tipo Especial
			T. Der. Tlaltinango	6,969	Tipo Especial
			T. Der. Nazareno Etla	12,573	Tipo Especial
			T. Aut. Coacnopalan - Oaxaca	19,880	Tipo Especial
			Oaxaca	27,246	Tipo Especial
	10	Libramiento de Santa María del Tule	T.C. Oaxaca - Tehuantepec	14,808	Tipo Especial
	12	Oaxaca - Tehuantepec	Oaxaca	18,551	Tipo Especial
			T. Izq. Guelatao	15,467	Tipo Especial
			Libramiento Santa María el Tule	13,824	Tipo Especial
			Santa María El Tule	4,200	Tipo Especial
			Teotitlán del Valle	12,865	Tipo Especial
			T. Izq. Teotitlán del Valle	13,446	Tipo Especial
			T. Der. Tlacolula	11,415	Tipo Especial
			T. Izq. Villa de Mitla	5,582	Tipo Especial
			San Pedro Totolapan	2,818	Tipo A
			T. Izq. Nejapa de Madero	1,299	Tipo B
			La Reforma	1,964	Tipo A
			T. Der. Magdalena Tequisistlán	2,898	Tipo A

Tabla 1. 13 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Oaxaca (continuación).

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 190	12	Oaxaca - Tehuantepec	T. Izq. Jalapa de Márquez	3,760	Tipo Especial
			Tehuantepec	6,086	Tipo Especial
	13	Puebla - Huajuapan de León	T. Izq. Las Palmas	2,166	Tipo A
			Huajuapan de León	3,145	Tipo Especial
	18	Tapanatepec - Tuxtla Gutiérrez	Tapanatepec	3,098	Tipo Especial
MEX - 200	8	Las Cruces - Pinotepa Nacional	T. Izq. San Pedro Orizaba	1,810	Tipo A
			T. Izq. Tlaxiaco	4,601	Tipo Especial
	9	Libramiento de Pochutla	T.C. Santiago Pinotepa Nacional - Salina Cruz	881	Tipo B
			Pio Macaya	710	Tipo B
			T.C. Oaxaca - Puerto Angel	769	Tipo B
	16	Santiago Pinotepa Nacional - Salina Cruz	Santiago Pinotepa Nacional	3,875	Tipo Especial
			San Andrés Huaxpaltepec	2,879	Tipo A
			San José del Progreso	7,502	Tipo Especial
			T. Izq. Tututepec	4,581	Tipo Especial
			T. Izq. Bajos de Chila	3,324	Tipo Especial
			T. Izq. Aeropuerto	7,096	Tipo Especial
			Puerto Escondido	2,795	Tipo A
			T. Der. Mazunte	4,560	Tipo Especial
			T. Izq. Sta. María Tonameca	5,061	Tipo Especial
			T. Libramiento de Pochutla	4,913	Tipo Especial
			X.C. Oaxaca - Puerto Ángel	5,053	Tipo Especial
			T. Der. Cuatunalco	2,702	Tipo A
			T.C. El Zapote - Copalita	4,691	Tipo Especial
			T. Izq. Aeropuerto	2,788	Tipo A
			T. Der. Santa Cruz Huatulco	4,174	Tipo Especial
			T. Der. Tangolunda	1,331	Tipo B
			T.C. La Ventosa - Salina Cruz (Cuota)	2,522	Tipo A
	17	Tapanatepec - Talismán	Tapanatepec	4,736	Tipo Especial

Para poder tener idea del tipo de camino que se tiene en la red federal libre de peaje en el estado de Oaxaca, a continuación en la Figura 1. 15 se observa el porcentaje que se tiene de cada tipo de camino.

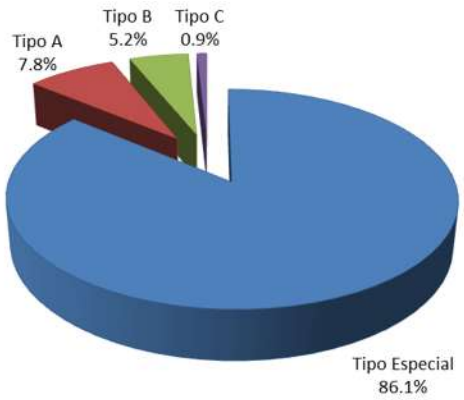


Figura 1. 15 Distribución del tipo de camino del estado de Oaxaca.

1.2.6 CHIAPAS

En la Figura 1. 16 se muestra las rutas carreteras libres de peaje del estado de Chiapas, ya que son donde se encuentran los puentes que se estudiarán en capítulos posteriores.

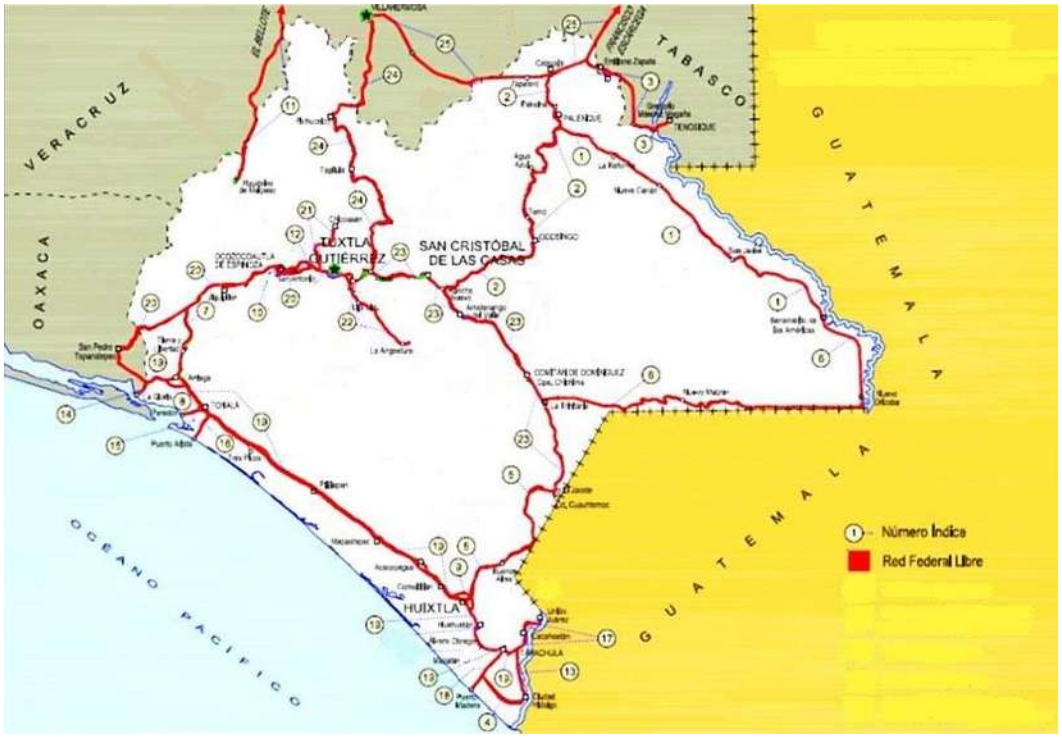


Figura 1. 16 Red carretera federal libre de peaje del estado de Chiapas.

A continuación se muestra en la Tabla 1. , Tabla 1. y Tabla 1. los TPDA de las principales rutas carreteras que se observaron en la figura anterior, así como se indicará respecto a los datos, qué tipo de carretera es la que se tiene en ese estado.

Tabla 1. 14 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Chiapas.

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 186	25	Villahermosa - Francisco Escárcega	T. Izq. Bonanza	5,906	Tipo Especial
			T. Izq. Jonuta	5,748	Tipo Especial
			X.C. Catazajá - Palenque	5,432	Tipo Especial
			T. Der. Emiliano Zapata	5,675	Tipo Especial
MEX - 190	7	Las Cruces - Arriaga	Las Cruces	2,174	Tipo A
			Santa Isabel	2,183	Tipo A
			Arriaga	1,946	Tipo A
	10	Libramiento de Ocozocoautla	T.C. Tapanatepec - Tuxtla Gutiérrez	5,347	Tipo Especial
			T.C. Arriaga - Ocozocoautla (Cuota)	7,248	Tipo Especial
			T.C. Tapanatepec - Tuxtla Gutiérrez	8,329	Tipo Especial
	12	Ocozocoautla - Ent. El Sabino	X.C. Tapanatepec - Tuxtla Gutiérrez	3,876	Tipo Especial

Tabla 1. 15 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Chiapas (continuación).

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 190	12	Ocozocoautla - Ent. El Sabino	T.C. Tapanatepec - Tuxtla Gutiérrez	7,535	Tipo Especial
	20	Tapanatepec - Tuxtla Gutiérrez	Rizo de Oro	1,582	Tipo A
			T. Der. Arriaga	3,024	Tipo Especial
			T. Der. Jiquipilas	6,117	Tipo Especial
			Ocozocoautla	4,347	Tipo Especial
			T. Izq. Aeropuerto	4,785	Tipo Especial
			T. Izq. Berriozábal (1º Acceso)	8,002	Tipo Especial
			T. Izq. San Fernando	12,114	Tipo Especial
			Tuxtla Gutiérrez	10,859	Tipo Especial
	21	Terán - Chicoasén	Terán	7,559	Tipo Especial
			T. Izq. San Fernando (1º Acceso)	6,880	Tipo Especial
	22	Tuxtla Gutiérrez - Angostura	T. C. Tuxtla Gutiérrez - Cd. Cuauhtémoc	9,808	Tipo Especial
			T. Der. Revolución Mexicana	4,901	Tipo Especial
			Angostura	2,401	Tipo A
	23	Tuxtla Gutiérrez - Cd. Cuauhtémoc	T. Der. Presa La Angostura	23,092	Tipo Especial
			Chiapa de Corzo	10,194	Tipo Especial
			T. Izq. Pichucalco	2,794	Tipo A
			San Cristóbal de Las Casas	8,565	Tipo Especial
			T. Izq. Ocosingo	6,930	Tipo Especial
			Teopisca	6,289	Tipo Especial
			T. Der. Las Rosas	5,847	Tipo Especial
			Comitán	6,392	Tipo Especial
			T. Izq. Montebello	5,705	Tipo Especial
			T. Izq. Chihuahua	3,849	Tipo Especial
			Cd. Cuauhtémoc	4,085	Tipo Especial
MEX - 195	24	Villahermosa - Escopetazo	Pichucalco	3,222	Tipo Especial
			Solusuchiapa	1,880	Tipo A
			Rayón	1,963	Tipo A
			Jitotol	1,853	Tipo A
			Bochil	3,609	Tipo Especial
			Ixtapa	3,585	Tipo Especial
			Escopetazo	3,467	Tipo Especial
MEX - 199	2	Catazajá - T.C. (Tuxtla Gtz. - Cd. Cuauhtémoc)	X.C. Villahermosa - Francisco Escárcega	4,505	Tipo Especial
			T. Izq. Palenque	5,901	Tipo Especial
			T. Izq. Bonampak	2,132	Tipo A
			T. Der. Salto del Agua	1,938	Tipo A
			T. Der. Agua Azul	1,466	Tipo B
			T. Der. Chilón	3,093	Tipo Especial
			Ocosingo	3,540	Tipo Especial
			T. Izq. Altamirano	2,935	Tipo A
			Huixtán	3,680	Tipo Especial
			T.C. Tuxtla Gutiérrez - Cd. Cuauhtémoc	4,296	Tipo Especial
MEX - 200	8	Libramiento de Arriaga	T.C. Tapanatepec - Talisman	2,373	Tipo A
			T. Der. Villa del Mar	2,175	Tipo A
			T.C. Tapanatepec - Talisman	2,317	Tipo A
	9	Libramiento de Huixtla	T.C. Tapanatepec - Talisman	2,409	Tipo A
			T.C. Huxtla - El Jocote	3,167	Tipo Especial
	13	Ramal a Cd. Hidalgo	T.C. Tapanatepec - Talisman	8,340	Tipo Especial
			Metapa de Domínguez	6,338	Tipo Especial
			Frontera Hidalgo	5,697	Tipo Especial
			Cd. Hidalgo	5,739	Tipo Especial
	14	Ramal a La Gloria	T.C. Tapanatepec - Talisman	1,365	Tipo B
	15	Ramal a Paredón	T.C. Tapanatepec - Talisman	4,518	Tipo Especial
	16	Ramal a Puerto Arista	T.C. Tapanatepec - Talisman	3,354	Tipo Especial
			T. Der. Paredón	2,833	Tipo A
			Puerto Arista	1,934	Tipo A
	17	Ramal a Unión Juárez	Cacahoatán	6,348	Tipo Especial
			Unión Juárez	1,024	Tipo B
	19	Tapanatepec - Talismán	T. Der. Emiliano Zapata	3,620	Tipo Especial
			Arriaga	5,079	Tipo Especial
			X.C. Arriaga - Ocozocoautla (Cuota)	4,384	Tipo Especial

Tabla 1. 16 TPDA de las carreteras libres de peaje del estado de Chiapas (continuación).

RUTA	No. INDICE	CARRETERA	LUGAR	TPDA	TIPO DE CAMINO
MEX - 200	19	Tapanatepec - Talismán	T. Der. Libramiento de Arriaga	3,936	Tipo Especial
			Tonalá	4,701	Tipo Especial
			T. Der. Puerto Arista	2,767	Tipo A
			T. Der. Tres Picos	2,558	Tipo A
			T. Der. Los Patos	2,122	Tipo A
			T. Der. San Isidro	3,371	Tipo Especial
			Pijijiapan	3,324	Tipo Especial
			T. Der. Mapastepec	3,161	Tipo Especial
			T. Der. Estación Soconusco	3,509	Tipo Especial
			Huixtla	5,209	Tipo Especial
			T. Izq. Hamburgo	5,345	Tipo Especial
			T. Izq. Huehuetán	5,357	Tipo Especial
			Tapachula	8,501	Tipo Especial
			T. Der. Cd. Hidalg	8,380	Tipo Especial
			Tuxtla Chico	9,335	Tipo Especial
			Talismán	3,012	Tipo Especial
MEX - 203	3	El Suspiro - Tenosique	Ent. El Suspiro	5,016	Tipo Especial
MEX - 211	5	Huixtla - El Jocote	Huixtla	2,212	Tipo A
			B. Domínguez (Loma Bonita)	2,443	Tipo A
			Motozintla	2,424	Tipo A
			Amatenango de La Frontera	1,945	Tipo A
			Frontera Comalapa	3,612	Tipo Especial
			El Jocote	4,547	Tipo Especial
MEX - 225	4	Ent. Jaritas - Ciudad Hidalgo	T.C. Tapachula - Puerto Madero	2,216	Tipo A
			Ciudad Hidalgo	5,173	Tipo Especial
	18	Tapachula - Puerto Madero	Tapachula	8,237	Tipo Especial
			T. Der. Aeropuerto	3,969	Tipo Especial
			Puerto Madero	4,770	Tipo Especial
MEX - 307	1	Benemérito de Las Américas - Palenque	Frontera Corozal	620	Tipo B
			San Javier	606	Tipo B
			Reforma de Ocampo	1,266	Tipo B
			T.C. Catazajá - T.C. (Tuxtla Gtz. - Cd. Cuauhtémoc)	3,066	Tipo Especial
	6	La Trinitaria - Benemérito de Las Américas	T.C. Tuxtla Gutiérrez - Cd. Cuauhtémoc	3,910	Tipo Especial
			T. Izq. La Independencia	2,433	Tipo A
			Montebello	1,436	Tipo B
			Nuevo San Juan Chamula	1,065	Tipo B

Para poder tener idea del tipo de camino que se tiene en la red federal libre de peaje en el estado de Chiapas, a continuación en la Figura 1. 17 se observa el porcentaje que se tiene de cada tipo de camino.

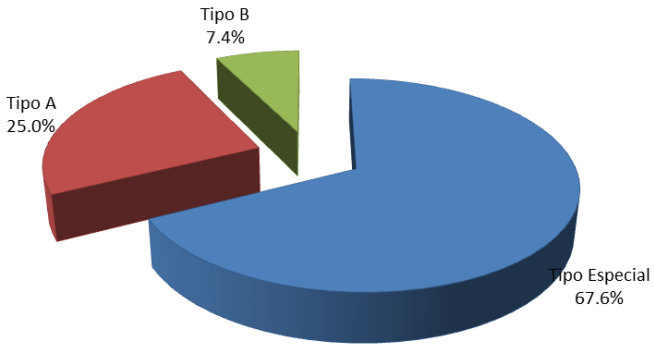


Figura 1. 17 Distribución del tipo de camino del estado de Chiapas.

1.3 CONDICIONES A CONSIDERAR EN LOS PUENTES

Cuando se diseña un puente, se tiene que considerar algunas solicitaciones de carga y esfuerzos correspondientes a las necesidades del puente. Respecto a esto, a continuación se mencionan algunas de estas solicitaciones.

1.3.1 CONDICIONES SÍSMICAS

La intensidad del movimiento sísmico es uno de los peligros al que están expuestas las construcciones. Para tomar en cuenta el peligro sísmico, frecuentemente se recurre al uso de espectros de diseño que dependen, entre otros aspectos, de la cercanía del sitio a las fuentes generadoras de temblores y de las condiciones locales del terreno. Esto se resolvió mediante una regionalización sísmica del territorio mexicano que consistía en cuatro zonas, y una clasificación en tres tipos de terreno. El usuario determinaba la zona sísmica en una carta de Regionalización Sísmica de la República Mexicana (CFE y UNAM1, 2008).

Para realizar esta división se utilizaron los catálogos de sismos de la República Mexicana desde inicios de siglo, grandes sismos que aparecen en los registros históricos y los registros de aceleración del suelo de algunos de los grandes temblores ocurridos en este siglo. Estas zonas son un reflejo de que tan frecuentes son los sismos en las diversas regiones y la máxima aceleración del suelo a esperar durante un siglo. La zona A es una

zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores. Las zonas B y C son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentes o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo. La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad. A continuación en la Figura 1. 18 se muestra dicha regionalización. (SSN, 2013).

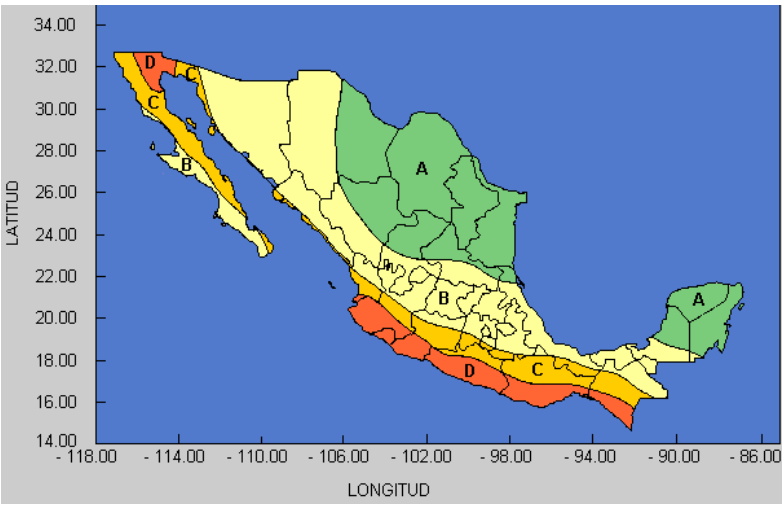


Figura 1. 18 Regionalización Sísmica de la República Mexicana.

De acuerdo a la figura anterior, se observa lo siguiente:

- El estado de Jalisco se ubica dentro de la región B, C y D.
- El estado de Colima se ubica dentro de la región D.
- El estado de Michoacán se ubica dentro de la región B, C y D.
- El estado de Guerrero se ubica dentro de la región C y D.
- El estado de Oaxaca se ubica dentro de la región B, C y D.
- El estado de Chiapas se ubica dentro de la región B, C y D.

En el Manual (CFE y UNAM1, 2008), se mencionan algunas recomendaciones, las cuales señalan los requisitos mínimos que deberán considerarse en el diseño sísmico de un puente estándar. Para dichas recomendaciones, se clasifica como puente estándar aquél que cumple con las siguientes características:

- Claros entre apoyos de hasta 100 metros.
- Construidos con concreto de peso normal, acero estructural o mixtos.
- Elementos de la superestructura continuos o articulados con la subestructura, o bien simplemente apoyados.
- Apoyos convencionales.
- Subestructura formada por pilas y estribos o caballetes.
- Cimentaciones a base de zapatas, pilotes o pilas.
- Suelo no susceptible de licuación.
- Distancia a cualquier falla activa > 15 kilómetros en los que se produzcan efectos de campo cercano.

Desde un punto de vista de impacto económico y social que se deriva de la suspensión del tránsito de vehículos sobre un puente y/o de su posible colapso, los puentes estándar se clasifican en dos tipos:

- Los puentes de especial importancia (Grupo A) son aquellas estructuras esenciales para el mantenimiento de las comunicaciones tras un desastre. Son aquellos puentes cuya falla está asociada a un gran número de muertes probables, o puentes especialmente costosos para los que se desea una vida útil superior a la media.
- Los puentes comunes (Grupo B) son el resto de los puentes cuyo diseño corresponde a una vida útil media.

De acuerdo a la filosofía de diseño, se proponen dos niveles de estados límite para el diseño sísmico de los puentes: el nivel de servicio, en el que se pretende que los puentes sean funcionales y que sus componentes estructurales permanezcan dentro del régimen elástico después de ocurrido un evento moderado o pequeño y el nivel de prevención del

colapso, que corresponde al caso de ocurrencia de un sismo extraordinario, en el que se acepta cierto nivel de daño en el puente, pero sin que se ponga en riesgo la estabilidad de la estructura; además, los daños potenciales deberán presentarse en zonas de fácil acceso para su inspección y rehabilitación.

Para evaluar la demanda sísmica para cada uno de los límites descritos, se adoptarán los factores de la, que serán aplicados a las ordenadas del espectro de diseño. En puentes de especial importancia se revisará la resistencia durante la etapa de construcción de acuerdo con el factor recomendado en la misma tabla (Tabla 1.17).

Tabla 1. 17 Factores para modificar el espectro de diseño.

CLASIFICACIÓN DEL PUENTE	ETAPA CONSTRUCTIVA	NIVEL DE SERVICIO	NIVEL DE PREVENCIÓN DEL COLAPSO
Puentes de especial importancia (Grupo A)	1/2	1/5.5	1.5
Puentes comunes (Grupo B)	-	1/5.5	1.0

En el mismo manual, se describe un procedimiento basado en un enfoque probabilista para estimar el peligro sísmico en la República Mexicana. El peligro sísmico usualmente se interpreta como curvas que describen intensidades sísmicas excedidas en lapsos o periodos de retorno especificados. Por ejemplo, un escenario simplificado sería un mapa con la distribución de coeficientes sísmicos excedidos en un lapso de 100 años. Para zonas de alta sismicidad, se tendrían valores que parecerían razonables comparados con los valores adoptados en el diseño sísmico convencional para esas zonas del territorio mexicano. Para zonas de baja sismicidad, se tendrían valores significativamente pequeños, aún menores que aquellos relacionados con las fuerzas laterales que las estructuras podrían soportar tan sólo por el diseño ante carga vertical típico de zonas asísmicas. Parece razonable que en zonas de baja sismicidad se incrementen estos coeficientes y, con ello, se provea de mayor seguridad a las estructuras mientras los costos así lo permitan. Como resultado, se puede anticipar una colección de coeficientes sísmicos asociados a periodos de retorno que crecen cuando se va de las zonas de alta sismicidad a zonas de baja sismicidad.

Para realizar un ajuste racional de estos coeficientes se hizo uso de algunos criterios de diseño óptimo con restricciones impuestas por las condiciones de dos estados límites: colapso y servicio.

Para el diseño óptimo, se obtuvieron valores óptimos de las mesetas de los espectros de diseño para el estado límite de colapso en sitios de terreno rocoso en zonas de alta sismicidad de la República Mexicana. Para sitios en la costa del Pacífico se obtuvieron mesetas espectrales del orden de 1.0 g y periodos de retorno de 500 años. Para las zonas de baja sismicidad, se obtuvieron valores del orden de 0.1 g y periodos de retorno mayores que 10,000 años. (g, es la aceleración de la gravedad).

En la Figura 1. 19 se muestra la distribución de los periodos de retorno asociados a los coeficientes óptimos.

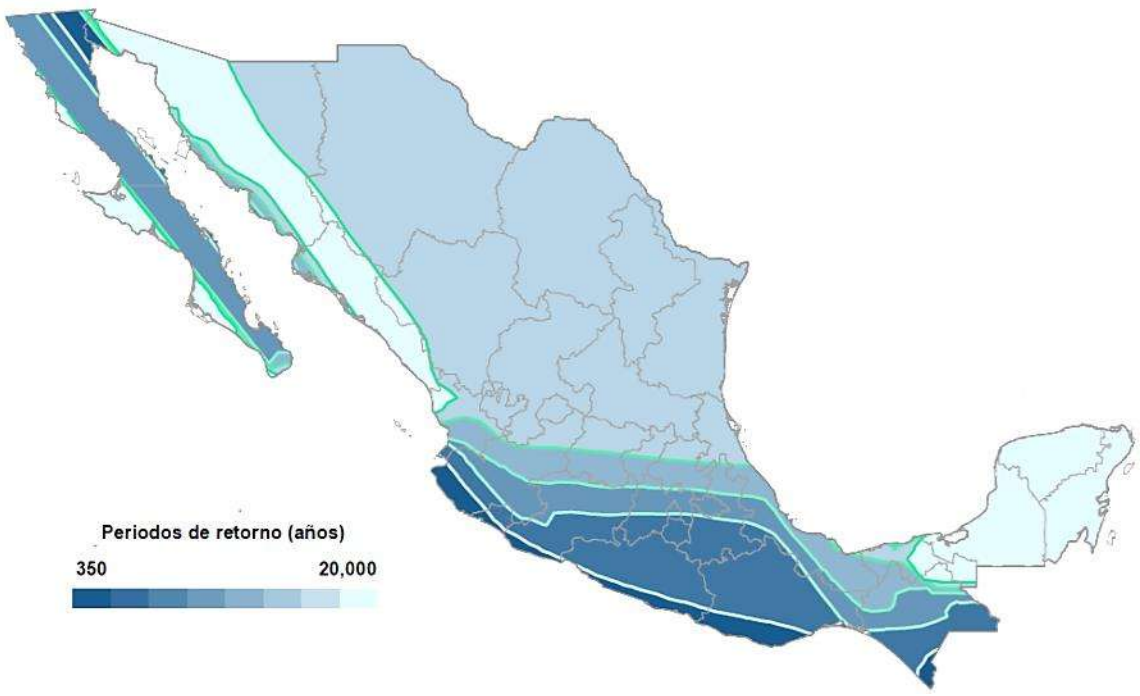


Figura 1. 19 Mapa de periodos de retorno.

De acuerdo a la figura anterior, se observa lo siguiente:

- El estado de Jalisco se tiene cinco distribuciones de periodos de retorno.

- El estado de Colima se tiene dos distribuciones de periodos de retorno.
- El estado de Michoacán se tiene cuatro distribuciones de periodos de retorno.
- El estado de Guerrero se tiene dos distribuciones de periodos de retorno.
- El estado de Oaxaca se tiene cuatro distribuciones de periodos de retorno.
- El estado de Chiapas se tiene seis distribuciones de periodos de retorno.

Con lo anterior se puede observar que para el estado de Colima y de Guerrero, al tener solo dos distribuciones de periodos de retorno, nos indica que en estos dos estados es donde se han presentado la mayoría de los sismos que se han registrado y es por eso que se debe de diseñar las estructuras con mayor cuidado.

En base a los periodos de retorno que se observaron en la figura anterior, en la Figura 1.20 se observan las aceleraciones máximas en base a los periodos de retorno.

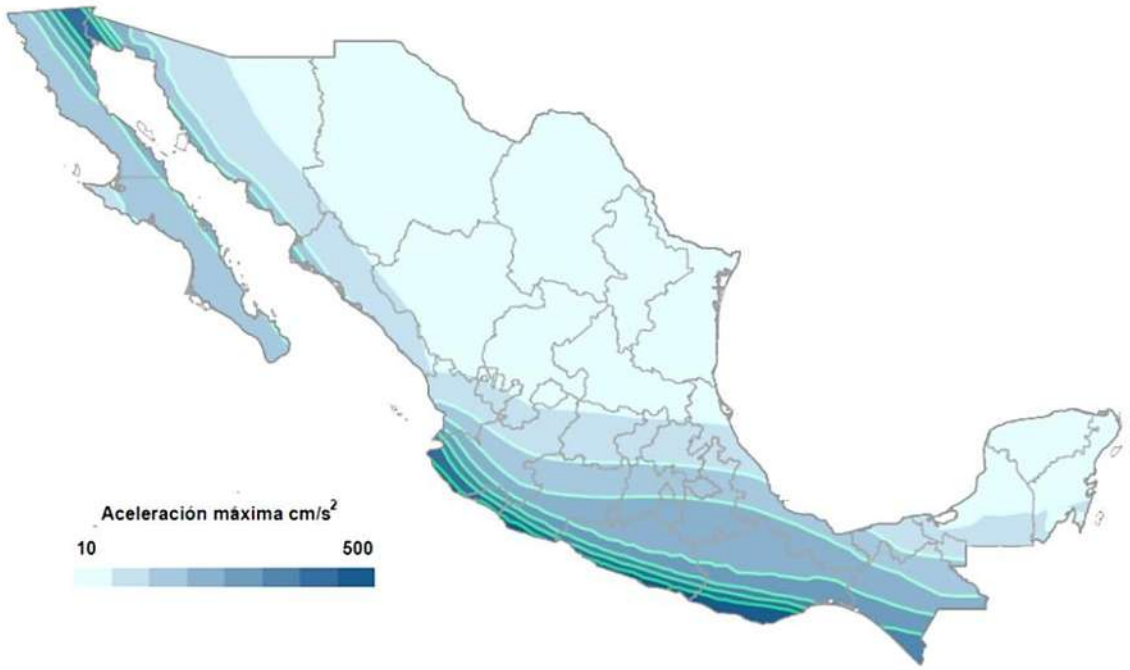


Figura 1. 20 Aceleraciones máximas del terreno.

De acuerdo a la figura anterior, se observa lo siguiente:

- En el estado de Jalisco se tiene hasta ocho aceleraciones de acuerdo a los periodos de retorno.
- En el estado de Colima se tiene hasta cuatro aceleraciones de acuerdo a los periodos de retorno.
- En el estado de Michoacán se tiene hasta siete aceleraciones de acuerdo a los periodos de retorno.
- En el estado de Guerrero se tiene hasta cinco aceleraciones de acuerdo a los periodos de retorno, al igual que el estado de Oaxaca.
- En el estado de Chiapas se tiene también cinco aceleraciones de acuerdo a los periodos de retorno pero no presentan la aceleración de 500 g.

Teniendo las aceleraciones se introduce el peligro sísmico en los espectros de diseño, es decir, es el punto de inicio del diseño por sismo.

1.3.2 CONDICIONES EÓLICAS

De acuerdo al Manual (CFE y UNAM2, 2008), por las características del comportamiento de las estructuras a los efectos dinámicos del viento, las construcciones se clasifican en cuatro tipos, que de acuerdo a esta clasificación, los puentes cortos son estructuras Tipo 1, que se definen como estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento. Se agrupan en este tipo aquéllas en las que la relación de esbeltez (definida como la relación entre la altura y la menor dimensión en planta), es menor o igual que cinco y con periodo natural de vibración del primer modo, menor o igual que un segundo.

A continuación se mencionan las acciones del viento que, según el tipo de construcción, deben considerarse para su diseño.

- Acción I. Empujes medios. Son causados por presiones y succiones del flujo medio del viento, tanto exteriores como interiores y generan presiones globales y locales.

- Acción II. Vibraciones generadas por ráfagas turbulentas en la dirección del viento. Las generan fuerzas variables, paralelas al flujo medio, causadas por la turbulencia del viento y cuya fluctuación en el tiempo influye en la respuesta estructural.
- Acción III. Vibraciones transversales al flujo y torsión. La presencia de estructuras cilíndricas o prismáticas dentro del flujo del viento, genera el desprendimiento de vórtices alternantes que provocan fuerzas y vibraciones transversales a la dirección del flujo.
- Acción IV. Inestabilidad aerodinámica. Es generada por la amplificación dinámica de la respuesta estructural causada por: la geometría de la construcción, los distintos ángulos de incidencia del viento, las propiedades dinámicas de la estructura y el cambio de amortiguamiento aerodinámico.

Los requisitos generales que a continuación se mencionan, son aplicables al análisis y diseño de estructuras sometidas a la acción del viento y deberán considerarse como los mínimos recomendados.

Las variables que deben considerarse como requisitos, para resistir la acción del viento, son:

- Dirección de análisis. Las construcciones se analizarán de manera que el viento pueda actuar por lo menos en dos direcciones horizontales perpendiculares e independientes entre sí.
- Factores de carga y resistencia. Estos se seguirán los lineamientos establecidos en el manual.
- Seguridad contra el volteo. Debe verificarse la seguridad de las construcciones sin considerar las cargas vivas que contribuyen a disminuir el volteo.
- Seguridad contra el deslizamiento. Al analizar esta posibilidad, deberán considerarse nulas todas las cargas vivas.
- Seguridad contra el levantamiento. Las estructuras ligeras o provisionales, así como techos y recubrimientos de construcciones, pueden presentar problemas al generarse fuerzas de levantamiento debidas al viento.

- Presiones interiores. Se presentan en estructuras permeables, que son aquéllas con ventanas, ventilas o puertas que permiten la entrada y salida del aire de la construcción.
- Seguridad durante la construcción. En esta etapa es necesario establecer las medidas necesarias para garantizar la seguridad de las estructuras bajo la acción del viento.
- Efecto de grupo debido a construcciones vecinas. Se debe aceptar que la respuesta de la estructura en estudio es independiente de la influencia, favorable o desfavorable, que otras construcciones cercanas provoquen al aparecer la acción del viento.
- Análisis estructural. Se deben de aplicar los criterios generales de análisis que se señalan en el manual.
- Interacción suelo-estructura. Cuando el suelo del sitio de desplante sea blando o compresible, deben considerarse los efectos que, en respuesta ante la acción del viento, pueda provocar la interacción entre el suelo y la construcción.

Dentro de los criterios para el diseño por viento, es necesario determinar las velocidades por viento en la República Mexicana y las fuerzas mínimas correspondientes.

Otra parte importante es que todas las recomendaciones que se tiene en el manual deben aplicarse para determinar la seguridad del sistema de la estructura principal y de sus partes, ante las acciones producidas por el viento sobra las superficies de la construcción y que se transmiten a dicho sistema.

Asimismo, esas recomendaciones se aplican en el diseño local de los elementos expuestos de manera directa a la acción del viento, tanto los que forman parte del sistema estructural, como los que constituyen sólo su recubrimiento.

La velocidad regional de ráfaga para diseño se puede determinar de dos maneras: una de ellas es empleando la importancia de la estructura que está relacionada con un periodo de retorno fijo y la otra manera está asociada con el costo relativo aceptable de las

consecuencias en caso de producirse una falla estructural. Para los dos procedimientos, se proporcionan bajo condiciones homogéneas preestablecidas como la categoría del terreno 2, que es un terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones, velocidades asociadas con ráfagas de 3 segundos y evaluadas a 10 metros de altura en terreno plano. Posteriormente se deben de aplicar los factores de exposición y topografía, para estar considerando las condiciones reales del sitio de desplante de la estructura.

La velocidad regional de ráfaga de viento es la velocidad máxima que puede ser excedida en un cierto periodo de retorno en una zona o región determinada del país. Esta velocidad se determina tomando en consideración tanto la importancia de la estructura como la localización geográfica de su sitio de desplante.

En la Figura 1. 21, Figura 1. 22 y Figura 1. 23 se muestran los mapas de isotacas regionales correspondientes a los periodos de retorno de 10, 50 y 200 años recomendados para el diseño por viento.

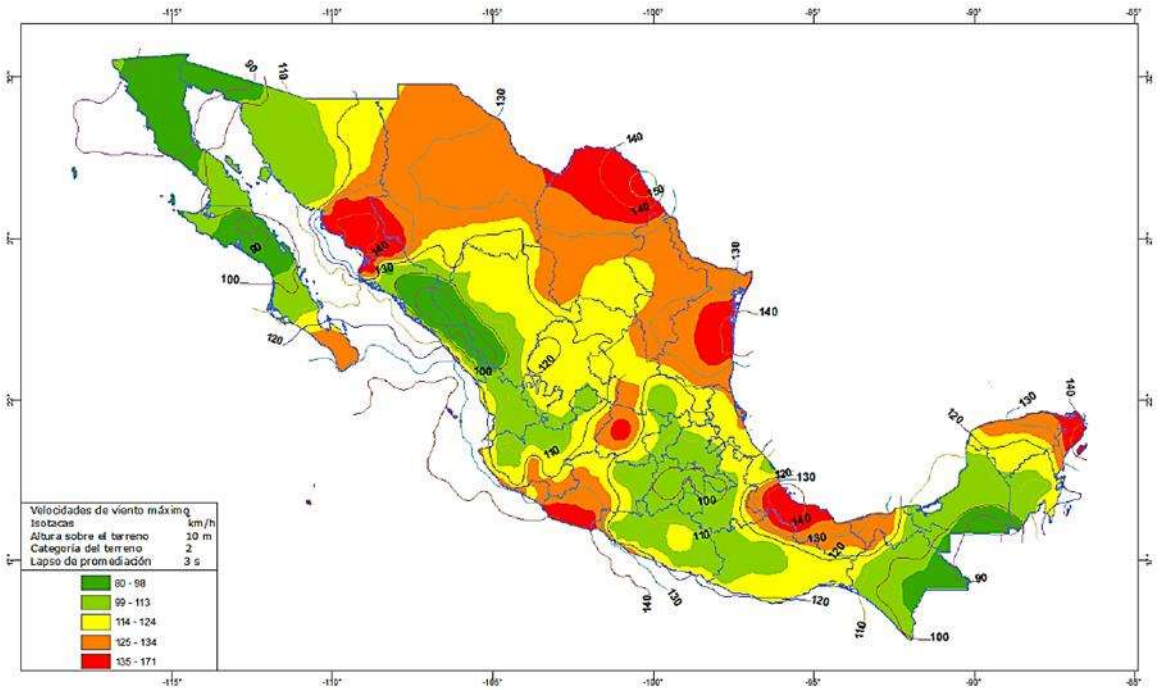


Figura 1. 21 Mapa de isotacas para velocidades regionales con periodo de retorno de 10 años.

De la figura anterior, podemos decir lo siguiente:

- En el estado de Jalisco, se tienen velocidades regionales entre 99 y 134 km/h.
- En el estado de Colima, se tienen velocidades regionales entre 114 y 134 km/h.
- En el estado de Michoacán, se tienen velocidades regionales entre 99 y 171 km/h.
- En el estado de Guerrero, se tienen velocidades regionales entre 99 y 171 km/h.
- En el estado de Oaxaca, se tienen velocidades regionales entre 99 y 171 km/h.
- En el estado de Chiapas, se tienen velocidades regionales entre 80 y 134 km/h.

Con esto se puede decir que en Michoacán, Guerrero y Oaxaca, se tiene un rango de 72 km/h de velocidad para el diseño por viento, Chiapas tiene un rango de 54 km/h, Jalisco tiene un rango de 35 km/h y Colima tiene un rango de 20 km/h de velocidad regional.

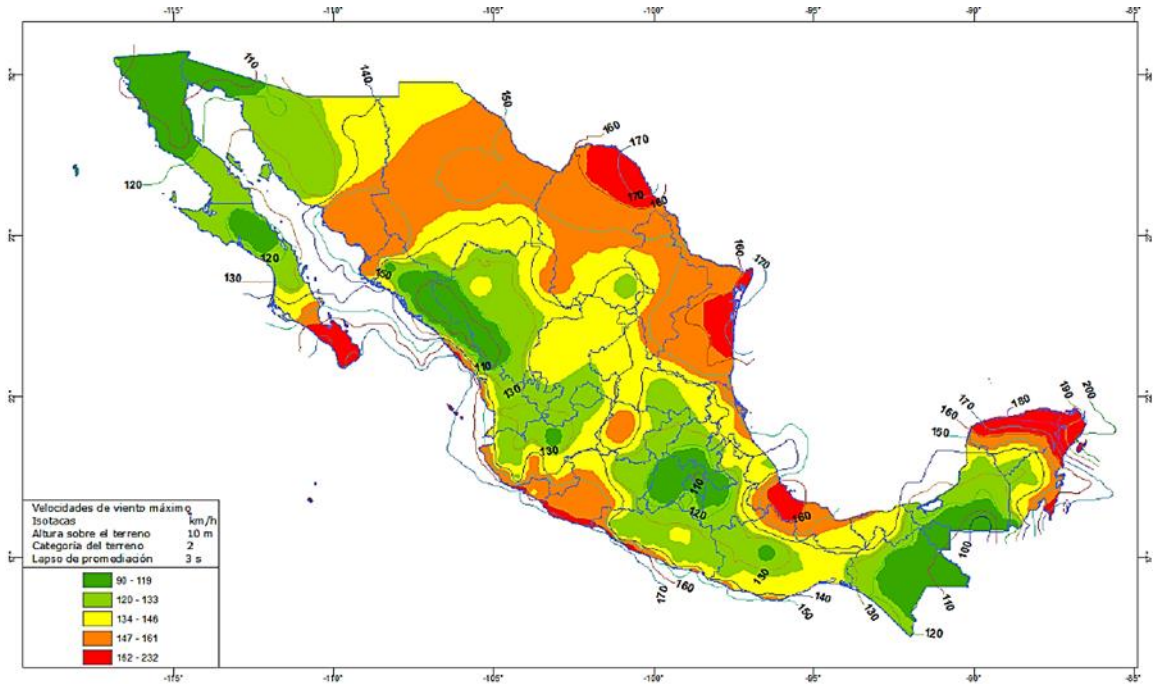


Figura 1. 22 Mapa de isotacas para velocidades regionales con periodo de retorno de 50 años.

De la figura anterior, podemos decir lo siguiente:

- En el estado de Jalisco, se tienen velocidades regionales entre 90 y 161 km/h.
- En el estado de Colima, se tienen velocidades regionales entre 134 y 232 km/h.
- En el estado de Michoacán, se tienen velocidades regionales entre 90 y 232 km/h.
- En el estado de Guerrero, se tienen velocidades regionales entre 120 y 232 km/h.

- En el estado de Oaxaca, se tienen velocidades regionales entre 90 y 161 km/h.
- En el estado de Chiapas, se tienen velocidades regionales entre 90 y 146 km/h.

Con esto se puede decir que en Michoacán tiene un rango de 142 km/h de velocidad para el diseño por viento, Guerrero tiene un rango de 112 km/h, Colima tiene un rango de 98 km/h, Jalisco y Oaxaca tienen un rango de 71 km/h y Chiapas tiene un rango de 56 km/h de velocidad regional.

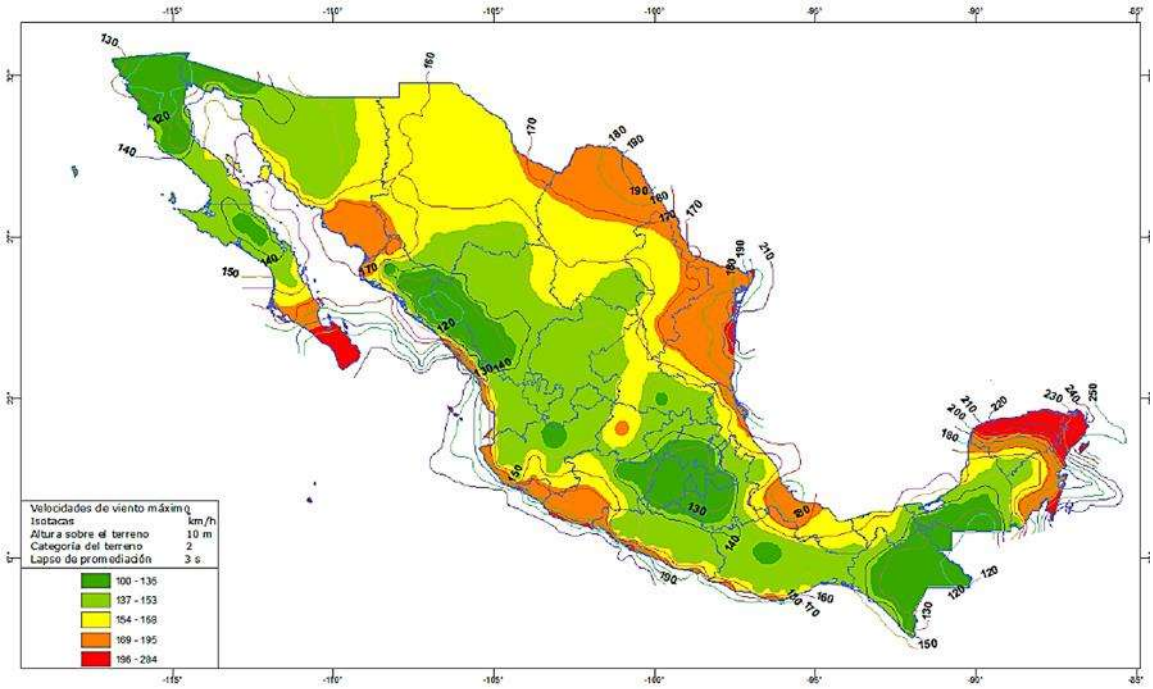


Figura 1. 23 Mapa de isotacas para velocidades regionales con periodo de retorno de 200 años.

De la figura anterior, podemos decir lo siguiente:

- En el estado de Jalisco, se tienen velocidades regionales entre 100 y 195 km/h.
- En el estado de Colima, se tienen velocidades regionales entre 154 y 284 km/h.
- En el estado de Michoacán, se tienen velocidades regionales entre 100 y 284 km/h.
- En el estado de Guerrero, se tienen velocidades regionales entre 100 y 284 km/h.
- En el estado de Oaxaca, se tienen velocidades regionales entre 100 y 195 km/h.
- En el estado de Chiapas, se tienen velocidades regionales entre 100 y 168 km/h.

Con esto se puede decir que en Michoacán y Guerrero tienen un rango de 184 km/h de velocidad para el diseño por viento, Colima tiene un rango de 130 km/h, Jalisco y Oaxaca tienen un rango de 95 km/h y Chiapas tiene un rango de 68 km/h de velocidad regional.

Con la finalidad de mejorar la seguridad de las estructuras ante el viento, se ha aplicado el criterio de Diseño Óptimo, en el cual se busca minimizar los costos de las pérdidas para diferentes niveles de importancia de las estructuras, obteniendo por primera vez, tanto nacional como internacionalmente, mapas de velocidades óptimas.

La velocidad regional óptima es la máxima velocidad para la cual se minimiza el costo total determinado con el costo inicial de la construcción más el costo de las reparaciones y de las pérdidas, directas e indirectas, en caso de presentarse una falla.

La velocidad regional óptima se determina tomando en consideración tanto la importancia de las pérdidas como la localización geográfica del sitio de desplante de la estructura. Dependiendo de la importancia de la estructura, se asocia un valor de la importancia de la pérdida de 5 o 15.

En la Figura 1. 24 y Figura 1. 25 se muestran los mapas de isotacas correspondientes a esos niveles de importancia de las pérdidas, donde se proporcionan los valores de las velocidades regionales de ráfaga óptimas para diseño.

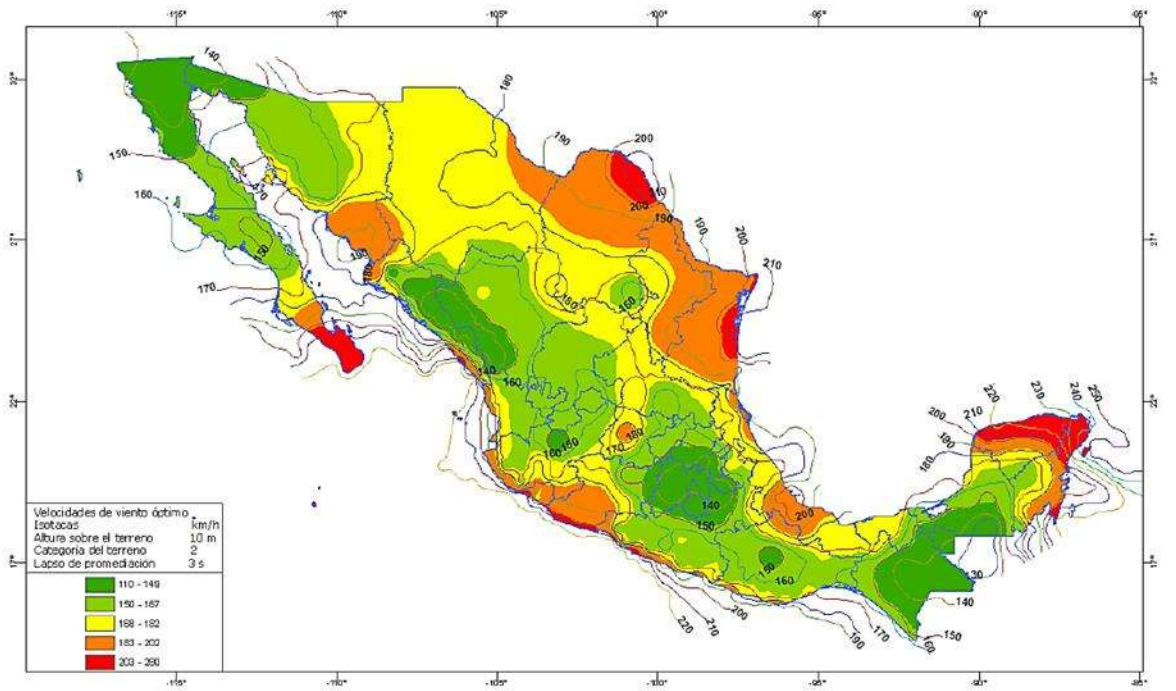


Figura 1. 24 Mapa de isotacas para una importancia de pérdida de 5.

De la figura anterior, podemos decir lo siguiente:

- En el estado de Jalisco, se tienen velocidades óptimas regionales entre 110 y 230 km/h.
- En el estado de Colima, se tienen velocidades óptimas regionales entre 162 y 230 km/h.
- En el estado de Michoacán, se tienen velocidades óptimas regionales entre 110 y 230 km/h.
- En el estado de Guerrero, se tienen velocidades óptimas regionales entre 136 y 230 km/h.
- En el estado de Oaxaca, se tienen velocidades óptimas regionales entre 110 y 230 km/h.
- En el estado de Chiapas, se tienen velocidades óptimas regionales entre 110 y 175 km/h.

Con esto se puede decir que en Jalisco, Michoacán y Oaxaca tienen un rango de 120 km/h de velocidad para el diseño por viento, Guerrero tiene un rango de 94 km/h, Colima

tiene un rango de 68 km/h y Chiapas tiene un rango de 65 km/h de velocidad óptima regional.

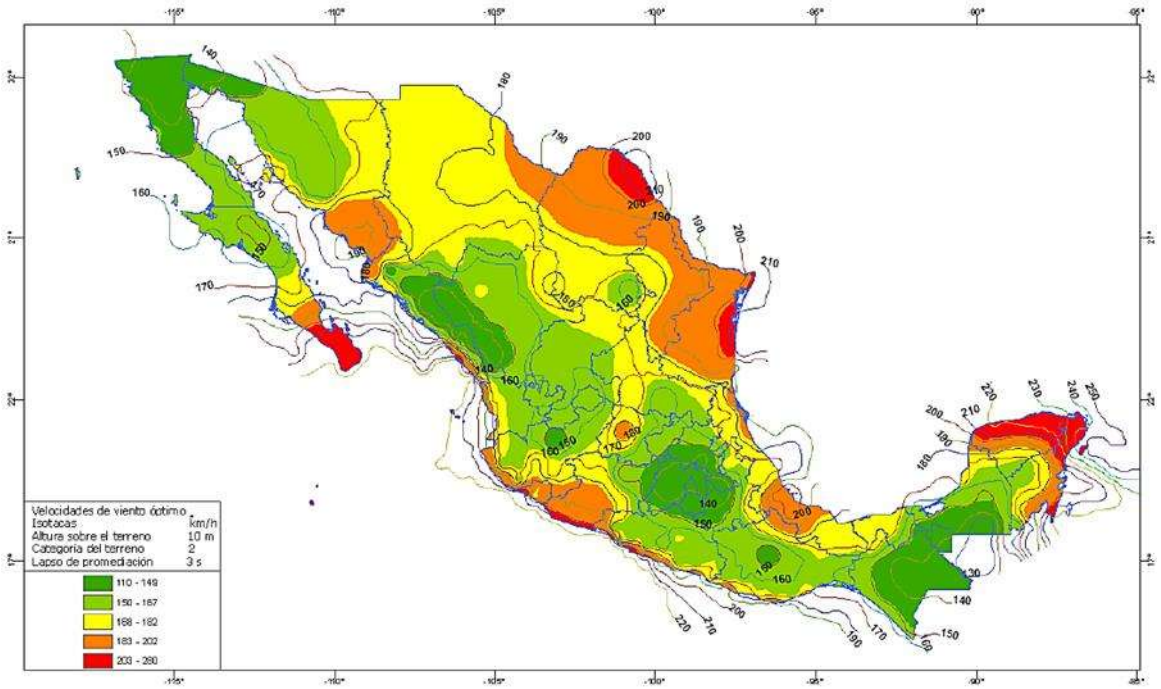


Figura 1. 25 Mapa de isotacas para una importancia de pérdida de 15.

De la figura anterior, podemos decir lo siguiente:

- En el estado de Jalisco, se tienen velocidades óptimas regionales entre 110 y 202 km/h.
- En el estado de Colima, se tienen velocidades óptimas regionales entre 168 y 280 km/h.
- En el estado de Michoacán, se tienen velocidades óptimas regionales entre 110 y 280 km/h.
- En el estado de Guerrero, se tienen velocidades óptimas regionales entre 110 y 280 km/h.
- En el estado de Oaxaca, se tienen velocidades óptimas regionales entre 110 y 202 km/h.
- En el estado de Chiapas, se tienen velocidades óptimas regionales entre 110 y 182 km/h.

Con esto se puede decir que en Michoacán y Guerrero tienen un rango de 170 km/h de velocidad para el diseño por viento, Colima tiene un rango de 112 km/h, Jalisco y Oaxaca tienen un rango de 92 km/h y Chiapas tiene un rango de 72 km/h de velocidad óptima regional.

Dadas las fluctuaciones aleatorias de la presión del viento debidas a la turbulencia del mismo y a las características aerodinámicas de los diferentes tipos de estructuras, sus efectos se han establecido con base en la definición de coeficientes de forma y factores de respuesta dinámica.

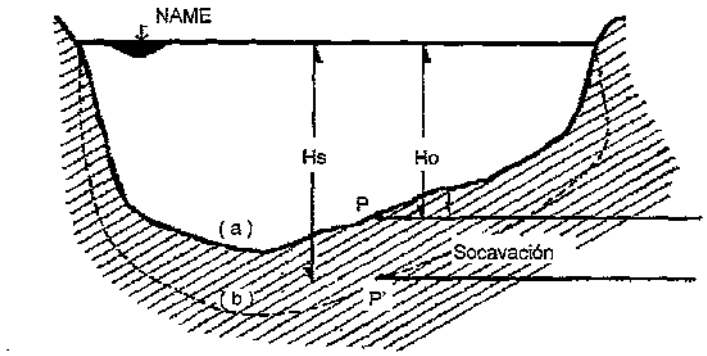
1.3.3 CONDICIONES POR SOCAVACIÓN

Un aspecto importante durante el diseño de un puente es la definición de la profundidad de desplante de sus apoyos, como son las pilas y los estribos. Para determinarla es indispensable conocer el efecto que la interacción agua-suelo produce en el fondo del cauce de cualquier corriente de agua.

La socavación es el resultado del proceso de arrastrar y transportar en suspensión partículas del fondo del cauce, debido al incremento de la velocidad del agua durante una avenida y al posterior depósito de las mismas cuando la velocidad disminuye. Al descender el fondo del cauce la falta de suelo en la subestructura provoca la inestabilidad del puente. Este fenómeno está en función del equilibrio entre la capacidad de arrastre y el aporte de sólidos de la corriente, lo cual significa, que si existe equilibrio entre estos aspectos, el fenómeno de la socavación no se presentará. La socavación puede ser general o local. (Muñoz, 2000).

- La socavación general es el descenso generalizado durante una creciente, del fondo de un cauce como consecuencia del incremento en la capacidad de arrastrar y transportar en suspensión el material del fondo, la cual provoca cambios en las condiciones hidráulicas del cauce (tirante, gasto, velocidad, etc.). El arrastre del

material es posible por la inestabilidad del suelo existente en el fondo del cauce. En el caso de suelos cohesivos, las avenidas producen una degradación lenta por el desplazamiento de las partículas del suelo; con el paso de un periodo de tiempo se notará que el fondo del cauce es más profundo, como se muestra en la Figura 1. 26.



a) Perfil antes de la socavación.
b) Perfil de equilibrio al terminar la socavación.

Figura 1. 26 Descenso del fondo del cauce provocado por la socavación.

Para el caso de suelos sueltos, será una velocidad mayor a la velocidad media la que inicie el movimiento de algunas partículas del fondo, provocando así la socavación.

El material fino entra en suspensión y se mantiene allí por la turbulencia del agua, mientras que los elementos de tamaño medio se mueven a saltos y, en el caso de los elementos de mayor tamaño estos ruedan sobre el fondo del cauce. Debido a la variación en el gasto estos movimientos de las partículas de suelo varían de un río a otro e inclusive en el mismo río. Es importante considerar que al entrar las partículas en suspensión el agua se torna más densa y por lo tanto, el transporte de suelo aumentará.

En ocasiones, cuando la velocidad de la corriente sea superior a la necesaria para producir el desgaste, la socavación general puede llegar a producirse cuando el lecho del río es rocoso.

- La socavación local es cuando se coloca un obstáculo al paso de una corriente, se produce la remoción del suelo en el lado aguas arriba del mismo obstáculo. En este caso, los huecos o depresiones que se forman también se rellenan al disminuir la velocidad del agua, aunque en general, quedan pequeñas depresiones como testimonio de este fenómeno.

  - Socavación en pilas. El efecto provocado por una pila al cruce de un cauce es el que aguas arriba de la misma el agua se levanta, y posteriormente, por debajo del puente, el nivel del agua baja para volver a levantarse una vez que ha salido del puente, como se ilustra en la Figura 1. 27.

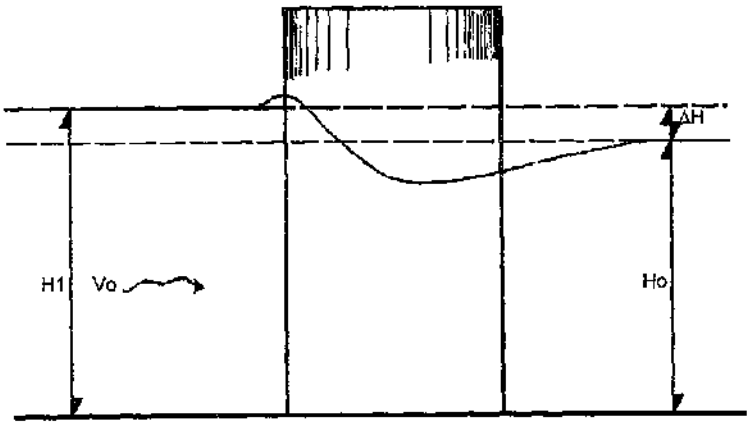


Figura 1. 27 Comportamiento del agua al cruce con una pila.

Al aumento de la altura del agua por efecto de la presencia de la pila se le denomina sobre-elevación hidráulica. Este efecto es muy notable si la corriente es rápida.

En el fondo del cauce sucede que al sobre-elevarse el agua, ésta escurre lateralmente alrededor de la pila descendiendo en forma de cascadas turbulentas, las que causan el levantamiento de los materiales del fondo del cauce. Esta socavación depende de la sección transversal de la misma pila.

Los factores que influyen en la socavación al pie de las pilas son:

- Velocidad del cauce.
- Tirante.
- Ancho de las pilas.
- Longitud de las pilas.
- Materiales del fondo.
- Ángulo con el cual incide la dirección de la corriente sobre el eje de la pila.

- Socavación local en estribos. Este tipo de socavación es análoga a la ocurrida en pilas. Sin embargo, ésta se distingue por los métodos para calcularla, tanto teóricos como experimentales.

A continuación, en la Figura 1. 28 se muestran algunas imágenes relacionadas con la socavación en puentes.



Figura 1. 28 Efectos de la socavación.

1.3.4 CONDICIONES POR EFECTOS DE CARGA

Las estructuras y los elementos de concreto, soportan cargas. Algunos soportan únicamente el peso de los materiales de los cuales están elaborados, mientras que otros soportan cargas aplicadas a la estructura. Algunas de las cargas que se presentan en los puentes se observan en la Figura 1. 29 y se mencionan a continuación (IMT y SCT, 201):

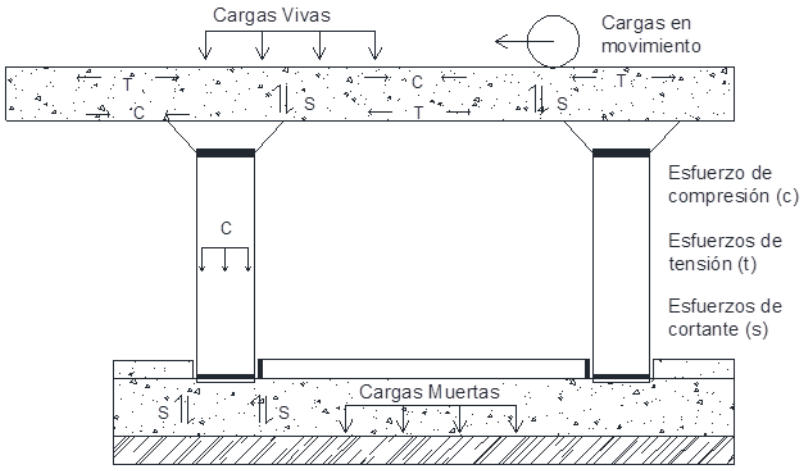


Figura 1. 29 Cargas que se presentan en los puentes.

- Cargas Permanentes. Las cargas permanentes son las que tienen una variación despreciable durante la vida de la estructura, y son:

  - Cargas muertas. Las cargas muertas son las debidas al peso propio de los elementos estructurales y de los no estructurales como la carpeta asfáltica en la calzada de la estructura; las guarniciones, banquetas y parapetos; las tuberías, conductos, cables, postes y otros elementos de instalaciones de servicio público, así como los equipos, casetas y señales que ocupan una posición fija sobre la estructura; y en pasos inferiores de ferrocarril, los rieles, durmientes, balasto y accesorios.
  - Empujes de tierras. Los elementos estructurales que retienen rellenos, se calculan para resistir los empujes de tierra, mediante el procedimiento de Rankine o cualquier otro debidamente documentado, que tome en cuenta

principios de mecánica de suelos, de interacción suelo-estructura y de flexibilidad de la cimentación.

- Empujes hidrostáticos. En el diseño de los elementos estructurales que retienen rellenos, se considera la acción del empuje hidrostático suponiendo saturado el relleno.

- Cargas Variables. Las cargas variables son las que tienen una variación importante durante la vida de la estructura, con una alta frecuencia de ocurrencia, y son:

  - Carga viva. Las cargas vivas son las debidas al peso de las cargas móviles aplicadas que corresponden a camiones, autobuses, automóviles, equipos para construcción y trabajos agrícolas, ciclistas, peatones, ganado y, en pasos inferiores de ferrocarril, al tren.
  - Impacto. Se denomina "impacto" a un incremento en porcentaje que se aplica a las cargas vivas vehiculares sobre la calzada, para tomar en cuenta los efectos de la vibración de la estructura, que es causada por su respuesta dinámica como un conjunto, a la excitación producida por las ruedas, la suspensión de los vehículos y el golpeteo de las primeras al pasar sobre irregularidades en la superficie de rodamiento, tales como juntas de dilatación, grietas, pequeños baches o despostillamientos.
  - Fuerza centrífuga. La fuerza centrífuga es una fuerza horizontal radial que actúa sobre los vehículos en estructuras alojadas en curvas horizontales.

- Cargas Eventuales. Las cargas eventuales son las producidas por acciones que ocurren ocasionalmente durante la vida de la estructura, como:

  - Viento. Este apartado se comentó en el Capítulo 1.3.2 "CONDICIONES EÓLICAS".
  - Sismo. Este apartado se comentó en el Capítulo 1.3.1 "CONDICIONES SÍSMICAS".

- Frenaje. El efecto de frenaje de los vehículos, se considera como una fuerza horizontal en el sentido longitudinal de la estructura, aplicada a 1.8 m sobre la rasante y con un valor equivalente al 5% de la carga viva vehicular actuante en todos los carriles con el tránsito en la misma dirección, sin incluir los efectos de impacto y de la fuerza centrífuga.
- Fricción. El efecto de fricción que se genera en los dispositivos de apoyo al dilatarse o contraerse la estructura por efecto de los cambios de temperatura, se considera como una fuerza horizontal en el sentido longitudinal de la estructura, aplicada en esos dispositivos.
- Variación de temperatura. En el análisis de la estructura se toman en cuenta los esfuerzos, las deformaciones y los desplazamientos que en ella se originan por las variaciones de temperatura en sus elementos estructurales.
- Empuje dinámico del agua. El efecto del empuje dinámico del agua sobre las pilas se calcula suponiendo que las velocidades varían como una parábola de segundo grado, lo que da por resultado una distribución triangular de las presiones.
- Subpresión. Para el diseño de los elementos de la cimentación y de la estructura que se encuentran por debajo del nivel del agua, se toma en cuenta el efecto de la subpresión, que es una fuerza vertical ascendente, igual al producto del volumen sumergido por la densidad del líquido desalojado.
- Contracción por fraguado. En los casos apropiados debe incluirse la acción impuesta por las deformaciones diferenciales por contracción del fraguado en las superficies de contacto entre concretos de diferente edad y composición.
- Acortamiento de arcos. En estructuras sujetas a compresión tales como los arcos, se consideran en el análisis los efectos de segundo orden causados por el acortamiento del elemento.
- Flujo plástico. En los casos en que las deformaciones diferidas del concreto por efecto del flujo plástico, produzcan cambios en los esfuerzos internos de la estructura, su efecto ha de incluirse en el análisis.

- Asentamientos diferenciales. En el análisis de estructuras continuas se incluyen los efectos producidos por asentamientos diferenciales entre los distintos elementos de la subestructura. Los asentamientos diferenciales son los máximos previstos por el análisis geotécnico del comportamiento de la cimentación.
- Oleaje. En las estructuras expuestas al oleaje se considera el efecto de fuerzas horizontales tanto en la dirección longitudinal como transversal del puente, para las condiciones específicas del sitio y para la ola máxima de diseño.

CAPÍTULO 2

ESTADO ACTUAL DE LOS PUENTES CARRETEROS EN LA ZONA DEL PACÍFICO MEXICANO

2.1 LA RED CARRETERA NACIONAL

Un país que dispone de una amplia red de vías de comunicación, logra un alto nivel en el desarrollo económico.

México es un país con alto potencial de desarrollo para su riqueza en recursos naturales así como de economía, política y social. Pero nada de esto sería posible si el país no cuenta con la infraestructura necesaria para alcanzar los objetivos como nación en desarrollo.

Nuestro país, los Estados Unidos Mexicanos tiene una superficie territorial de 1’964,375 km^2. Su posición geográfica es la siguiente:

- Al norte: Monumento 206, Límite México – Estados Unidos de América – 32°43’06” Norte.
- Al sur: Desembocadura del río Suchiate - 14°32’27” Norte.
- Al oriente: Isla Mujeres - 86°42’36” Oeste.
- Al occidente: Isla Guadalupe - 118°22’00” Oeste. (Figura 2. 1).

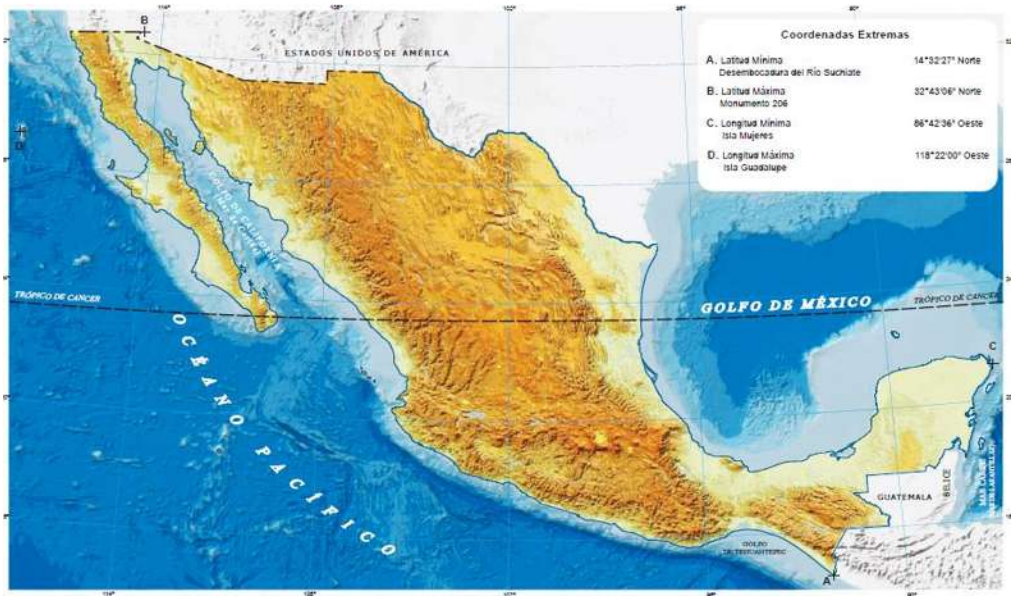


Figura 2. 1 Ubicación Geográfica de los Estados Unidos Mexicanos.

En México, se cuenta con 112’336,538 habitantes, de los cuales el 48.8% son hombres y el 51.2% son mujeres. La densidad de población es de 57.2 hab/km^2. El producto interno bruto del país es de 8,398’335,400 pesos, así como el PIB per cápita es de 74,760 pesos/habitante (INEGI, 2012).

En la actualidad, México cuenta con un importante patrimonio vial que se clasifica de la siguiente manera:

- Red Federal
- Red Alimentadora (Estatal)
- Red Rural

La red federal de carreteras está a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), mientras que los caminos de la red alimentadora son responsabilidad de los gobiernos de los estados.

Los caminos rurales y estatales, así como las brechas mejoradas también están a cargo de los estados, sin embargo, la SCT interviene en la constitución y administración del Programa de Empleo Temporal.

La red carretera nacional tiene una extensión de 374,262 kilómetros, de los cuales 49,102 kilómetros pertenecen a la red federal; 80,774 kilómetros a las redes de jurisdicción estatal y 244,386 kilómetros a caminos rurales y brechas mejoradas (Figura 2. 2); en la Figura 2. 3 se muestra la distribución de la red carretera nacional por el tipo de camino.



Figura 2. 2 Red carretera nacional (SCT, IG-UNAM y IMT, 2011).

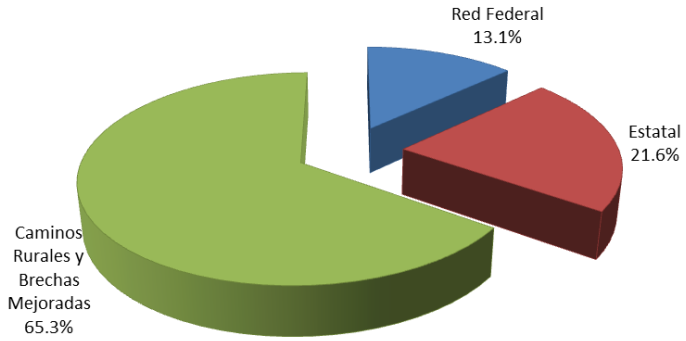


Figura 2. 3 Distribución de la red carretera nacional por tipo de camino.

Asimismo, por su estado superficial de las carreteras, la longitud de la red carretera pavimentada es de 141,361 kilómetros, carreteras con revestimiento son 148,782 kilómetros, en terracería son 8,805 kilómetros y la longitud de las brechas mejoradas es de 75,314 kilómetros; a continuación en la Figura 2. 4 se muestra lo anterior mencionado.

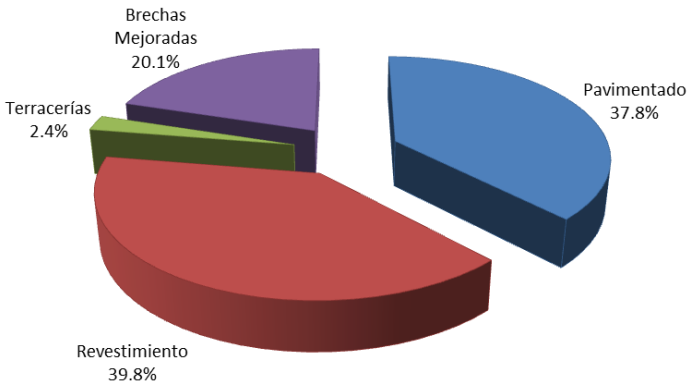


Figura 2. 4 Distribución de la red carretera nacional por su estado superficial.

En cuestión a las carreteras pavimentadas, el número de carriles, la longitud de las carreteras de dos carriles es de 128,320 kilómetros, en cambio las carreteras de cuatro o más carriles tienen una longitud de 13,041 kilómetros, esto se muestra en la Figura 2. 5 (DGP/SCT, 2011).

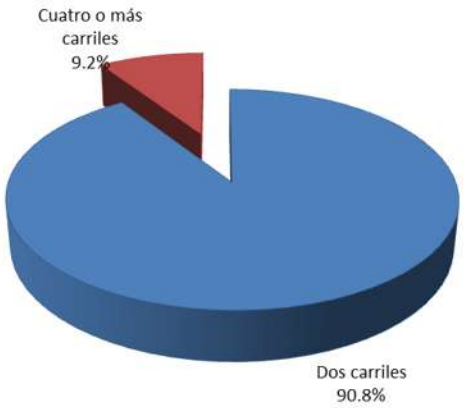


Figura 2. 5 Distribución de la red carretera nacional pavimentada por el número de carriles.

2.1.1 CAMINOS Y PUENTES FEDERALES (CAPUFE)

Las autopistas y puentes de cuota han sido factor fundamental en el desarrollo económico, político, social y cultural de México durante los últimos 50 años, ya que han permitido la creación de infraestructuras tan importantes como la educativa, la hidráulica, la agrícola, la urbana y la de salud, entre otras, a la vez que han integrado y comunicado a diversas zonas y regiones, lo que ha facilitado su articulación con el resto de la República.

En México, al igual que en otros países que cuentan con sistemas de carreteras, puentes y túneles de cuota de altas especificaciones, los beneficios que éstos han aportado a las sociedades a las que sirven son evidentes, al ofrecer a los usuarios ahorros de tiempos de recorrido, consumo de combustibles y desgastes de vehículos, a los que se suman más y mejores servicios que se manifiestan en comodidad, eficiencia y seguridad en sus traslados.

En los últimos años, la Institución no sólo consolidó su estructura operativa y financiera, sino que, además, recibió para su administración las autopistas de la red adscrita al entonces Fideicomiso de Apoyo para el Rescate de Autopistas Concesionadas (FARAC), hoy FONADIN. El manejo de estas vías, sumadas a nuevos tramos y ampliaciones, le permitió crecer poco más de tres veces en responsabilidades y extensión de la red de autopistas bajo su cuidado (CAPUFE, 2010).

La longitud de la red de autopistas a cargo de CAPUFE es de 4,069 kilómetros, de los cuales la longitud de la red propia es de 76.7 kilómetros, la red contratada es de 307.8 kilómetros y la red por parte del Fondo Nacional de Infraestructura es de 3,684.5 kilómetros, todo lo anterior se muestra en la Figura 2. 6 (DGP/SCT, 2011).

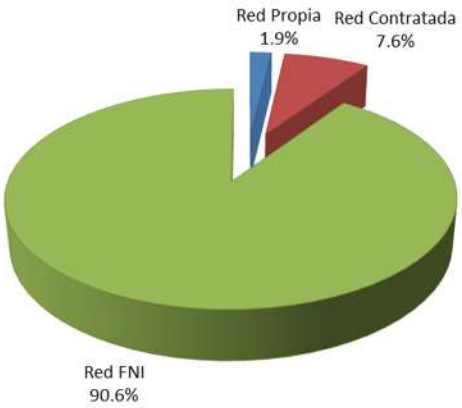


Figura 2. 6 Longitud de la red de autopistas a cargo de CAPUFE.

2.1.2 CORREDORES CARRETEROS

Dentro de la red federal nacional y atendiendo a la densidad del tráfico de mercancías y pasajeros que anualmente registran, así como por la importancia de las zonas metropolitanas, los nodos de producción, los de actividades logísticas y los de consumo que enlazan, se han identificado 14 corredores carreteros principales los cuales en conjunto, suman casi 20,000 kilómetros a lo largo de diversos ejes longitudinales Norte – Sur y transversales Este – Oeste. En la Figura 2. 7 se muestran los corredores carreteros del país.



Figura 2. 7 Corredores carreteros de México (DGP/SCT, 2011).

Como se mencionó, los corredores se dividen en longitudinales y transversales. En la Tabla 2. 1 se mencionan dichos corredores.

Tabla 2. 1 Corredores carreteros de México.

CORREDORES LONGITUDINALES	CORREDORES TRANSVERSALES
Transpeninsular de Baja California	Mazatlán - Matamoros
México - Nogales con ramal a Tijuana	Manzanillo - Tampico con ramal a Lázaro Cárdenas
Querétaro - Ciudad Juárez	Altiplano
México - Nuevo Laredo, con ramal a Piedras Negras	México - Tuxpan
Veracruz - Monterrey con ramal a Matamoros	Acapulco - Veracruz
Puebla - Oaxaca - Cd. Hidalgo	Circuito Transitsmico
México - Puebla - Progreso	
Peninsular de Yucatán	

Estos corredores comunican a todas las capitales estatales, las principales concentraciones metropolitanas, las ciudades medias, los puertos marítimos de relevancia y los accesos a los puentes fronterizos internacionales de mayor movimiento tanto con los Estados Unidos en el Norte, como con Belice y Guatemala en el Sur del país. Además de su impacto socio – económico en la integración del territorio, la definición de estos corredores ha permitido dar prioridad a las inversiones federales en la materia en los

últimos sexenios, tanto para la modernización de algunos tramos faltante, como para elevar sus especificaciones y niveles de seguridad (CILTEC, 2011).

2.1.3 LA IMPORTANCIA DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA

Para México, la red carretera nacional constituye la columna vertebral del sistema de transporte, ya que por vía terrestre, particularmente por las carreteras, se desplaza el 55.5% de la carga nacional y el 96.9% de los pasajeros que se trasladan a lo largo y ancho del país.

Un ejemplo de esto es el movimiento de carga por modo de transporte. De acuerdo a (DGP/SCT, 2011), por medio del transporte carretero, en México se movió 470,000 miles de toneladas, en cambio en ferrocarril se movió 104,564 miles de toneladas, por medio del transporte aéreo se movió el 572 miles de toneladas y por medio marítimo se movió 272,015 miles de toneladas. De acuerdo a lo anterior, se muestra en la Figura 2. 8 el porcentaje del movimiento de carga por modo de transporte, en el cual se observa que por carretera es el movimiento más grande de carga.

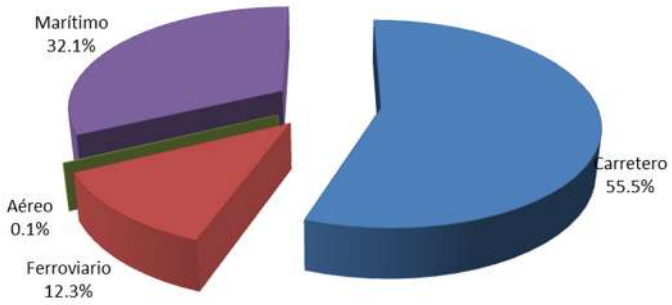


Figura 2. 8 Movimiento de carga por modo de transporte.

Por otro lado, en cuestión al movimiento de pasajeros por modo de transporte, se observa que por medio del modo carretero se movió 3’160,000 miles de pasajeros, por ferrocarril se movió 40,399 miles de pasajeros, por medio aéreo se movió 48,698 miles de

pasajeros y por medio marítimo se movió 11,798 miles de pasajeros. En la Figura 2. 9 se muestra el porcentaje del movimiento de pasajeros.

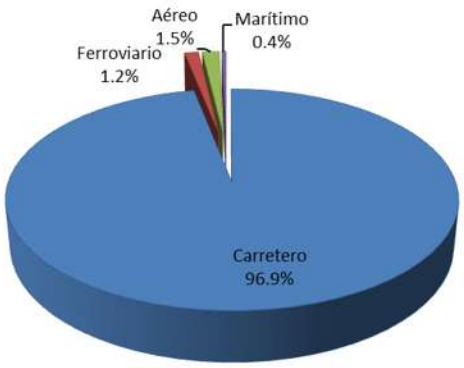


Figura 2. 9 Movimiento de pasajeros por modo de transporte.

Se observa que como en el movimiento de carga, el movimiento de pasajeros es mayor por carretera que por otro modo de transporte. Con esto se concluye que son muy importantes las carreteras en nuestro país.

2.2 LA RED CARRETERA DE LOS ESTADOS EN ESTUDIO

En este trabajo, se estudiaron algunos estados que se encuentran sobre el Pacífico Mexicano, ya que son estados con más vulnerabilidad para los puentes. Los estados de los cuales se estudiaron son Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas. De estos estados se mencionará algunas de sus principales características tanto de su geografía, carreteras y aspectos económicos.

2.2.1 JALISCO

Jalisco está situado al occidente de la República Mexicana; al norte colinda con los estados de Zacatecas y Aguascalientes; al noroeste con Nayarit y al este con Guanajuato y San Luis Potosí. Al sur se encuentra con Colima, mientras que en el suroeste lo delimita

Michoacán, estando al oeste pleno el Pacífico Mexicano. La localización del estado de Jalisco es 22°45’ - 18°55’ de latitud; 101°28’ - 105°42’ de longitud.

El estado de Jalisco mide 80,228 km^2 de superficie, lo que representa el 4.09% de la superficie total de México y ofrece 417 kilómetros de litoral. Su rango de altitudes va desde el nivel del mar hasta 4,260 metros sobre éste. Su capital es la ciudad de Guadalajara y se integra por 125 municipios con extensiones territoriales muy diversas, distribuidos en 12 regiones (Figura 2. 10).



Figura 2. 10 Estado de Jalisco.

Jalisco es la cuarta entidad federativa con mayor número de habitantes de acuerdo al censo poblacional del 2010, con una población total de 7’350,682 personas, de dicha cantidad 3’600,641 son hombres y 3’750,041 son mujeres (Sistema de Información Estadística y Geográfica de Jalisco, 2012).

El Estado se encuentra comunicado por una amplia red de carreteras, a través de las cuales integra a la entidad con el resto del país. Su principales vías de comunicación vinculan a la entidad con el interior de Jalisco, con la capital de la República y con los principales centros industriales, tales como Monterrey, N.L., Saltillo y Torreón, Coah.;

Querétaro, Qro.; León y Salamanca, Gto.; San Luis Potosí y el Noroeste, Centro y Sur del país.

El avance logrado en la construcción de caminos, ha impulsado notoriamente a los municipios que se vincularon a la red carretera, los que experimentaron un aumento en su nivel de desarrollo, dado principalmente en las regiones de alto potencial, lo que tuvo un efecto acelerador de la dinámica social y económica en las zonas favorecidas entre las regiones.

- Carretera Guadalajara – Nogales, que permite comunicación con los estados del Norte del país, los Puertos del Pacífico y la Frontera con los Estados Unidos de Norteamérica.
- Carretera Federal 80 Guadalajara – Barra de Navidad vía de comunicación que conecta con la Costa Alegre, y municipios como Cocula, Tecolotlán, Autlán y Cihuatlán.

Igualmente existe la vía cuota y libre a Colima, que conecta municipios como Sayula y Zapotlán El Grande con la capital del Estado.

- Hacia el centro del país el Estado se conecta por la carretera Guadalajara – México, interconectado al sur y sureste del país; además de las carreteras de Guadalajara – Chapala – Jocotepec y La Barca – Ocotlán, dando comunicación esta última al Corredor Industrial del Salto.
- Hacia el noroeste del país la comunicación se da a través de la carretera Guadalajara – Zacatecas – Saltillo, en donde existe comunicación con la frontera central con los Estados Unidos de Norteamérica.

La carretera León – Lagos de Moreno – Aguascalientes y la continuación de la carretera Lagos de Moreno – San Luis Potosí. Así mismo, la carretera Guadalajara – Ocotlán, con los ramales a San Martín de Boloños y Mezquitic, que integran a la región Norte con el resto del Estado (SEIJ, 2012).

La red carretera del estado de Jalisco tiene una extensión de 27,448 kilómetros, de los cuales 2,511 kilómetros pertenecen a la red federal; 3,849 kilómetros a las redes de jurisdicción estatal y 21,088 kilómetros a caminos rurales y brechas mejoradas (Figura 2. 11); en la Figura 2. 12 se muestra la distribución de la red carretera nacional por el tipo de camino (DGP/SCT, 2011).

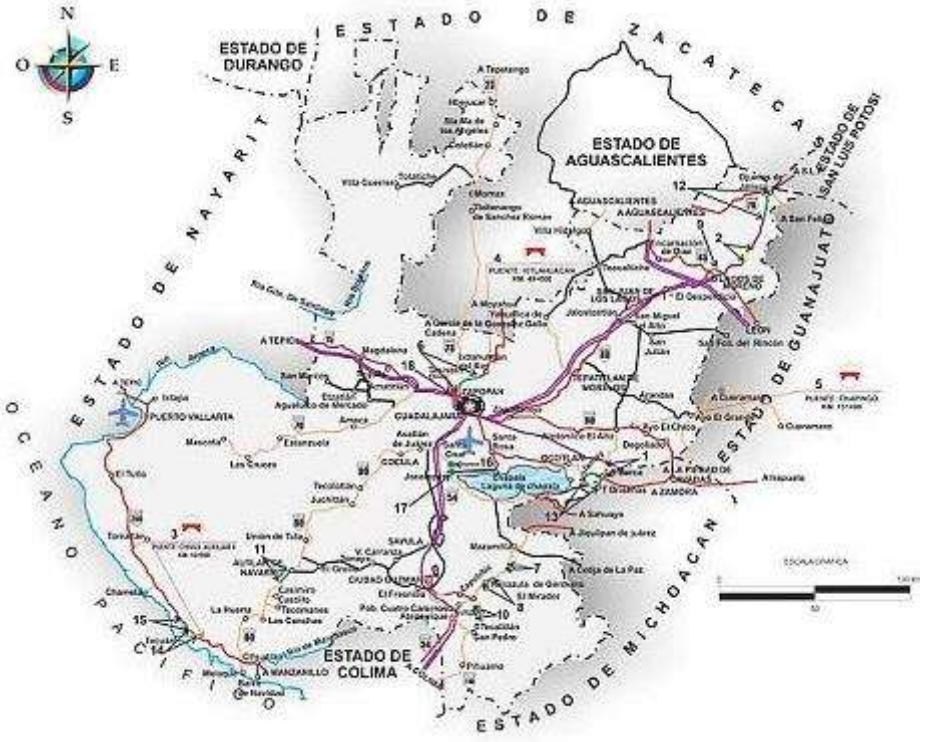


Figura 2. 11 Red carretera del estado de Jalisco (DGCC/SCT, 2013).

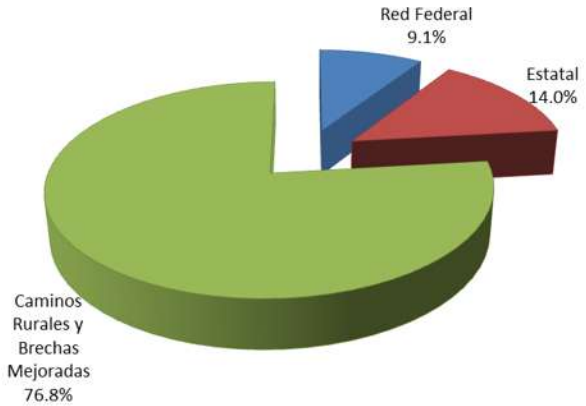


Figura 2. 12 Distribución de la red carretera del estado de Jalisco por tipo de camino.

Asimismo, por su estado superficial de las carreteras, la longitud de la red carretera pavimentada es de 6,755 kilómetros, carreteras con revestimiento son 6,352 kilómetros, en terracería son 185 kilómetros y la longitud de las brechas mejoradas es de 14,156 kilómetros; a continuación en la Figura 2. 13 se muestra lo anterior mencionado.

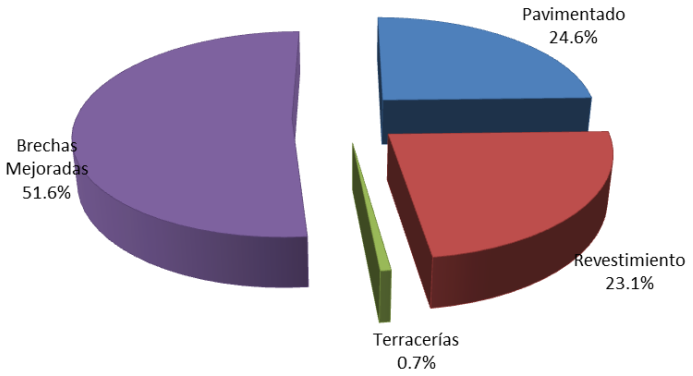


Figura 2. 13 Distribución de la red carretera del estado de Jalisco por su estado superficial.

En cuestión a las carreteras pavimentadas, por el número de carriles, la longitud de las carreteras de dos carriles es de 5,999 kilómetros, en cambio las carreteras de cuatro o más carriles tienen una longitud de 756 kilómetros, esto se muestra en la Figura 2. 14 (DGP/SCT, 2011).

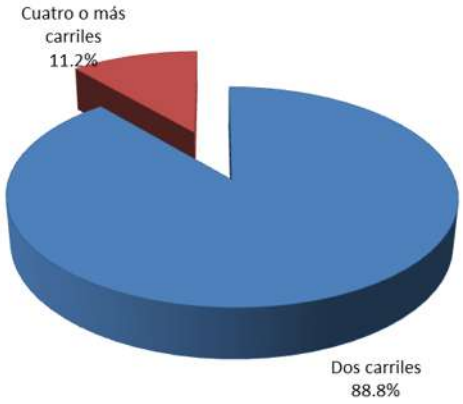


Figura 2. 14 Distribución de la red carretera del estado de Jalisco pavimentada por el número de carriles.

Jalisco es uno de los estados más productivos de México, ha experimentado un importante crecimiento en su actividad económica y comercial durante los últimos años.

Entre los principales productos que forman parte de la comercialización del estado destacan los cosméticos, aparatos electrónicos, textiles, tabaco, alimentos y bebidas, artículos deportivos, etc. Así mismo, el sector de servicios también ha crecido con intensidad, al igual que el sector turístico y el financiero. Este desarrollo intensivo del sector comercial en la entidad revela una gran supremacía dentro del total de ingresos captados a nivel nacional, siendo superado únicamente por el Distrito Federal, el Estado de México y Nuevo León.

Por otra parte, es importante destacar que Guadalajara, capital de la entidad, ha experimentado uno de los más grandes crecimientos económicos de todo el país, superada únicamente por la ciudad de Querétaro. Esta ciudad es considerada la ciudad con mayor potencial de atracción de inversiones de México, y se ubica entre las mejores ciudades del futuro y en segundo lugar en potencial económico de Norteamérica.

Dada la localización y características geográficas del estado de Jalisco, cuenta con una variada gama de recursos que son aprovechados por diferentes sectores productivos. A continuación en la Tabla 2. 2 se muestra el resumen de la estructura sectorial del producto interno bruto del año 2010.

Tabla 2. 2 Estructura sectorial del PIB, 2010.

Descripción	Valor (en miles de millones de pesos)	Lugar Nacional
Comercio	179.17	3
Industria manufacturera	168.70	4
Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes	78.58	4
Transporte, correos y almacenamiento	50.97	5
Construcción	43.89	5
Servicios educativos	39.29	3
Actividades de Gobierno	27.07	3
Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos	25.55	3
Servicios de alojamiento y preparación de alimentos	24.10	3
Servicios de salud y asistencia social	23.34	4
Información en medios masivos	23.03	4
Servicios financieros y de seguros	20.00	4
Otros servicios	18.48	3
Servicios profesionales, científicos y técnicos	16.46	6
Electricidad, agua y suministro de gas	6.18	10
Agricultura, ganadería, forestal, pesca y caza	46.40	1
Minería	3.17	18
Servicios de esparcimiento, culturales y deportivos	2.30	5
Dirección de corporativos y empresas	0.33	3
Servicios de intermediación financiera	-9.84	29
Total de la entidad	**787.15**	**4**

Entre las actividades principales económicas del estado, se encuentran la agricultura y la ganadería. Estas actividades han sido mejoradas a través del tiempo gracias al empleo de nueva maquinaria, técnicas de cultivo, utilización de abonos y fertilizantes, y el uso de la ganadería intensiva. Gracias a ello, Jalisco se coloca como el principal productor de leche, carne de aves y maíz de la nación.

Dentro de la ganadería se encuentra además, con ganado bovino, ovino, caprino y porcino. En cuanto a la agricultura, los cultivos de frijol, cebolla, chile seco, garbanzo, y agave tequilana están ampliamente extendidos por todo el territorio estatal. La apicultura, aunque tiene alguna participación, su volumen de producción es relativamente pequeño.

En el sector secundario se incluyen las actividades que realizan una transformación de los recursos naturales para obtener diversos objetos. Normalmente se incluyen en este sector la siderurgia, las industrias mecánicas o de manufactura, la industria química, la industria textil, la producción de bienes de consumo, el hardware informático, etc.

La construcción, aunque se considera sector secundario, suele contabilizarse aparte, pues su importancia le confiere entidad propia, ya que ocupa el 23% de la producción total del estado.

El sector terciario engloba las actividades que utilizan distintas clases de equipos y de trabajo humano para atender las demandas de transporte, comunicaciones y actividad financiera como la banca, la bolsa, los seguros, etc. Tiene una importancia creciente en las economías más avanzadas. Hasta el punto de que se habla de sociedad de servicios. En los últimos años ha ido adquiriendo una importancia cada vez mayor actividades que van dirigidas a satisfacer nuevas demandas de los agentes económicos como son todas aquellas que tienen relación con el ocio (espectáculos, gastronomía, turismo, etc.). En este sector, el estado ocupa el 63% de la producción total de la población.

El comercio exterior en el estado, se ha desarrollado de una manera constante, cobrando mayor auge en los últimos años y alcanzando niveles de calidad de acuerdo a los estatutos y requerimientos de los mercados internacionales.

La exportación en Jalisco ha adquirido mayor importancia no sólo en volumen, sino en la diversificación, tanto de productos como de mercados, sobre todo en las ramas de alimentos y bebidas, juguetes, textiles, tequila, autopartes, productos agropecuarios, películas y cámaras, electrónica, calzado y productos de cuero y siderúrgicos, entre otros.

La localización en la costa del Pacífico, y su cercanía a puertos de gran calado como Manzanillo y de menor calado como Puerto Vallarta, le confieren a la entidad una ventajosa ubicación en las rutas comerciales hacia el norte del país y otras naciones como Japón y China.

En 2010, Jalisco recibió alrededor de 1,589 millones de dólares por concepto de inversión extranjera directa, lo que representó el 8.1% del total de inversión extranjera directa recibida en México. La industria manufacturera fue el principal receptor de ésta inversión, seguido por el sector de servicios (SEIJ, 2012).

2.2.2 COLIMA

El estado de Colima está localizado en la parte media de la costa Sur del Océano Pacífico. Sus coordenadas geográficas extremas son al Norte 19°31', al Sur 18°41' de latitud Norte; al Este 103° 29' y al Oeste 104°41' de latitud Oeste (Figura 2. 15).



Figura 2. 15 Estado de Colima.

Colinda al Norte y al Este con Jalisco y Michoacán de Ocampo, al sur con Michoacán de Ocampo y el Océano Pacífico, al Oeste con el Océano Pacífico y Jalisco. La ciudad capital recibe el mismo nombre, Colima. La superficie total del estado es de 5,455 km^2 y ocupa el cuarto lugar entre los estados más pequeños después de Tlaxcala y Morelos y el Distrito Federal. Por su extensión territorial representa el 0.3% de la superficie del territorio nacional. Políticamente, Colima se divide en 10 municipios. Este estado cuenta con un total de 650,555 habitantes, de dicha cantidad, 322,790 son hombres y 327,765 son mujeres.

El estado cuenta con una red de carreteras y caminos, entre los que se encuentran los ejes que conectan a las ciudades como Colima – Guadalajara, Tecomán – Lázaro Cárdenas, Manzanillo – Barra de Navidad – Puerto Vallarta, y Colima – Tecomán (Enciclopedia de Municipios y Delegaciones de México, 2010).

La red carretera del estado de Colima tiene una extensión de 2,209 kilómetros, de los cuales 350 kilómetros pertenecen a la red federal; 602 kilómetros a las redes de jurisdicción estatal y 1,257 kilómetros a caminos rurales y brechas mejoradas (Figura 2. 16); en la Figura 2. 17 se muestra la distribución de la red carretera del estado por el tipo de camino.

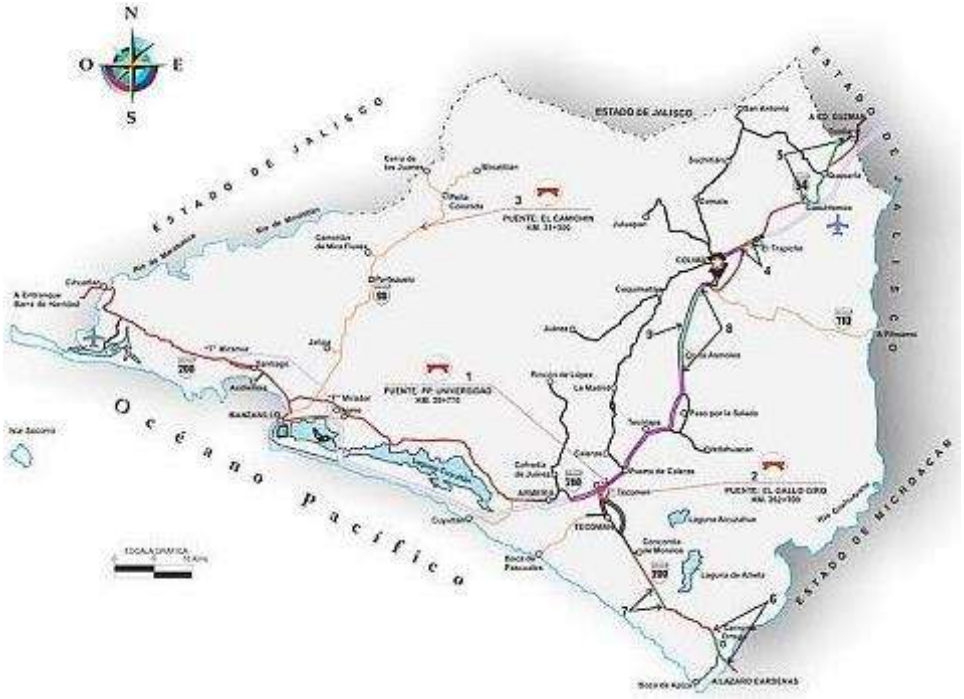


Figura 2. 16 Red carretera del estado de Colima (DGCC/SCT, 2013).

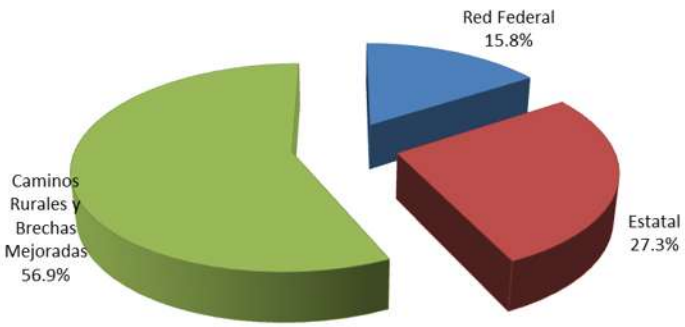


Figura 2. 17 Distribución de la red carretera del estado de Colima por tipo de camino.

Así mismo, por su estado superficial de las carreteras, la longitud de la red carretera pavimentada es de 1,162 kilómetros, carreteras con revestimiento son 822 kilómetros, en terracería son 84 kilómetros y la longitud de las brechas mejoradas es de 141 kilómetros; a continuación en la Figura 2. 18 se muestra lo anterior mencionado.

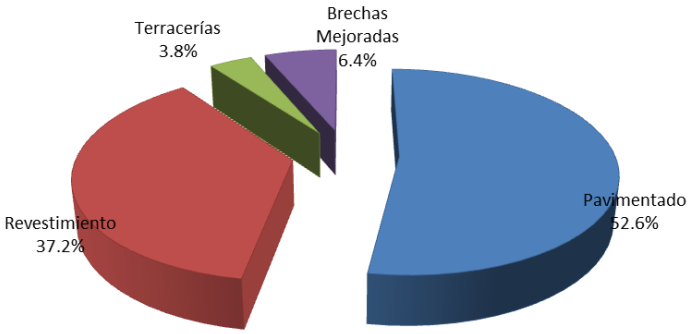


Figura 2. 18 Distribución de la red carretera del estado de Colima por su estado superficial.

En cuestión a las carreteras pavimentadas, por el número de carriles, la longitud de las carreteras de dos carriles es de 979 kilómetros, en cambio las carreteras de cuatro o más carriles tienen una longitud de 183 kilómetros, esto se muestra en la Figura 2. 19 (DGP/SCT, 2011).

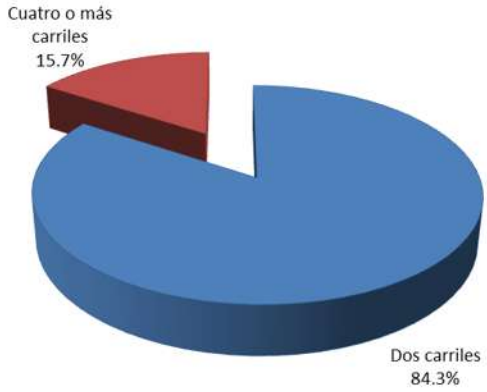


Figura 2. 19 Distribución de la red carretera del estado de Colima pavimentada por el número de carriles.

El Gobierno del Estado de Colima se ha esforzado en la creación y consolidación de las condiciones físicas jurídicas, de seguridad y del medio ambiente, que permitan que la

inversión productiva se genere y sea altamente competitiva en un contexto tanto nacional como internacional.

Colima es ideal para hacer negocios, sobre todo aquellos orientados a los mercados de América del Norte y la Cuenca del Pacífico.

El Producto Interno Bruto (PIB) del estado ascendió a más de 79 mil millones de pesos en 2011, con lo que aportó 0.6% al PIB nacional.

Las actividades terciarias, entre las que se encuentran el comercio y los transportes, aportaron 64% del PIB estatal en 2011 (Secretaría de Economía, 2013).

La agricultura aporta el 8.5% del PIB estatal, sin embargo cabe destacar que el estado es un gran productor a nivel nacional de limón, copra y atún.

En Peña Colorada, se localiza el principal yacimiento de mineral de fierro del país (magnetita), este y otros yacimientos ferríferos están ubicados en el municipio de Minatitlán. Las peletizadoras ahí instaladas hacen posible aprovechar ese abundante recurso natural, calculado en 154 millones de toneladas de hierro.

La reducida participación del sector manufacturero se refleja con un 4.5% del PIB estatal. Las ramas industriales que le conforman son bebidas, estructuras metálicas, alimentos, muebles, imprenta, cemento, cal y yeso.

Ahora bien, el gobierno se dedica a atraer la inversión extranjera a este estado cuya posición estratégica es importante como como corredor de la Cuenca del Pacífico hacia el Occidente, el Bajío y el Centro de México. Tanto sus condiciones naturales, excelente clima que permite la navegación sin contratiempos climáticos todos los días del año; como su infraestructura de transporte, excelentes carreteras, servicio de ferrocarril de doble estiba en ruta fija, y modernos recintos fiscales le confieren ventajas únicas. El puerto de Manzanillo es líder en el manejo de contenedores en el país (Explorando México, 2012).

El aforo vehicular es de 1,000 camiones diarios al Puerto, 850 vehículos ligeros y 900 motos diarios en promedio. Más de 26 líneas navieras escalan al puerto en ruta regular, además operan más del 90% de la carga contenerizada que se maneja por el Pacífico Mexicano (Enciclopedia de Municipios y Delegaciones de México, 2010).

2.2.3 MICHOACÁN

Michoacán se ubica en el centro – oeste del territorio mexicano. Colinda con los estados de Colima y Jalisco al noroeste, al norte con Guanajuato y Querétaro, al este con México, al sureste con el estado de Guerrero y al suroeste con el Océano Pacífico. Tiene una superficie de 58,836.95 km^2, que representa el 3.04% de la extensión del territorio nacional. La entidad está conformada por 113 municipios y su capital es la ciudad de Morelia (Figura 2. 20).



Figura 2. 20 Estado de Michoacán.

Se encuentra ubicado entre las coordenadas 17° 55’ y 20° 24’ de latitud norte, y las coordenadas 100° 04’ y 103° 44’ de longitud oeste. En el año 2010, el estado de Michoacán contaba con 4’351,037 habitantes, de dicha cantidad, 2’102,109 eran hombres y 2’248,928 eran mujeres.

Michoacán cuenta con un eficiente sistema carretero. La principal carretera que pasa por la región es la Carretera Federal Méx. – 15, que atraviesa el país desde México, D.F., hacía los estados del norte. Otra importante vía de comunicación del estado es la Carretera Federal Méx. – 200, que transcurre por la costa del pacífico mexicano desde el estado de Nayarit hasta el estado de Chiapas. Así mismo, también pasan las autopistas Guadalajara – México y Morelia – Lázaro Cárdenas (Enciclopedia de Municipios y Delegaciones de México, 2010).

La red carretera del estado de Michoacán tiene una extensión de 16,053 kilómetros, de los cuales 2,757 kilómetros pertenecen a la red federal; 2,556 kilómetros a las redes de jurisdicción estatal y 10,740 kilómetros a caminos rurales y brechas mejoradas (Figura 2. 21); en la Figura 2. 22 se muestra la distribución de la red carretera del estado por el tipo de camino.



Figura 2. 21 Red carretera del estado de Michoacán (DGCC/SCT, 2013).

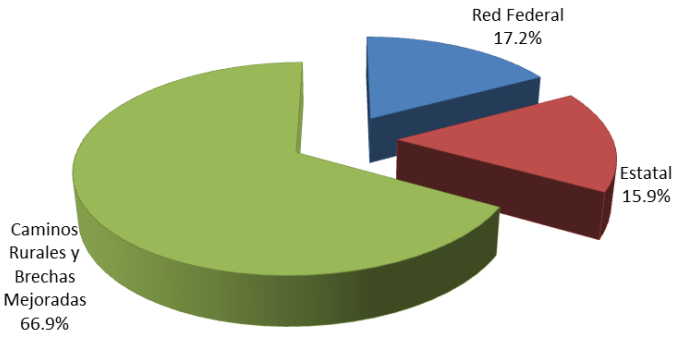


Figura 2. 22 Distribución de la red carretera del estado de Michoacán por tipo de camino.

Así mismo, por su estado superficial de las carreteras, la longitud de la red carretera pavimentada es de 6,864 kilómetros, carreteras con revestimiento son 5,189 kilómetros y la longitud de las brechas mejoradas es de 4,000 kilómetros; a continuación en la Figura 2. 23 se muestra lo anterior mencionado.

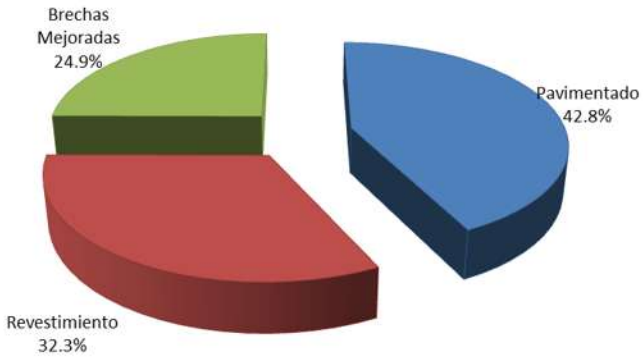


Figura 2. 23 Distribución de la red carretera del estado de Michoacán por su estado superficial.

En cuestión a las carreteras pavimentadas, por el número de carriles, la longitud de las carreteras de dos carriles es de 6,434 kilómetros, en cambio las carreteras de cuatro o más carriles tienen una longitud de 430 kilómetros, esto se muestra en la Figura 2. 24 (DGP/SCT, 2011).

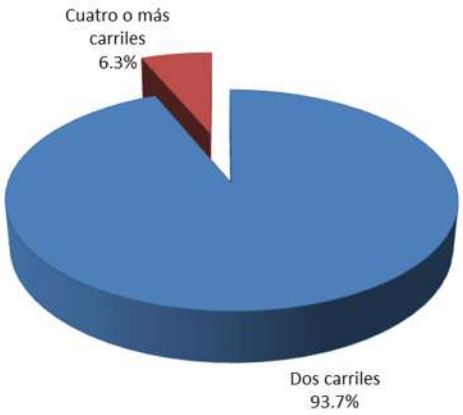


Figura 2. 24 Distribución de la red carretera del estado de Michoacán pavimentada por el número de carriles.

La economía michoacana está conformada principalmente por los sectores comercial, siderúrgico, agrícola y pesquero. La participación de cada uno de estos en el Producto Interno Bruto estatal es del 42% para servicios sociales, comunales, hotelería y comercio; 15% para servicios financieros e inmobiliarios; 14% industria manufacturera, especialmente industria metálica básica y 11% agropecuaria y pesca.

Los sectores agropecuarios y pesqueros contribuyen en un 11% al PIB estatal, y ocupan al 37% de la Población Económicamente Activa. Entre los principales cultivos de la zona y en los cuales Michoacán es líder productor en México están, el aguacate hass, zarzamora, guayaba y fresa. Para 2011, Michoacán fue el primer productor mundial de aguacate. Algunos más de los 150 productos agrícolas también producidos en suelo michoacano son, el trigo grano, sorgo forrajero verde, limón agrio, jitomate, cebolla y sorgo grano. Cabe mencionar que el 43% del suelo es de uso ganadero, el 27% de uso forestal y el 24% de aptitud agrícola. Sin embargo enfrenta serios problemas el sobrepastoreo, escasez de forraje y erosión de los pastizales. Así como la industria forestal, la cual actualmente encuentra grandes áreas boscosas deforestadas.

En cuanto al sector pesquero, tiene el primer lugar nacional en la captura de charal, y se encuentra entre los primeros lugares en captura de mojarra y carpa también (Explorando México, 2012).

Michoacán cuenta con una ubicación estratégica que lo conecta con las principales ciudades del centro del país. A través del Puerto de Lázaro Cárdenas se vincula con los mercados del Pacífico Asiático y con el Pacífico de las Américas, ventajas que lo sitúan como la alternativa en logística y distribución más activa de la región.

El PIB del estado ascendió a 335 mil millones de pesos en 2011, con lo que aportó 2.4% al PIB nacional.

Michoacán recibió 33 millones de dólares por concepto de inversión extranjera directa en 2011 (Secretaría de Economía, 2013).

2.2.4 GUERRERO

El Estado de Guerrero se localiza en la zona de coordenadas meridional de la República Mexicana, sobre el océano Pacífico y se ubica entre los 16° 18’ y 18° 48’ de latitud norte y los 98° 03’ y 102° 12’ de longitud oeste. Limita al norte con los estados de México y Morelos, al noroeste con el estado de Michoacán, al noreste con el estado de Puebla, al este con el estado de Oaxaca y al sur con el océano Pacífico (Figura 2. 25).



Figura 2. 25 Estado de Guerrero.

Dentro de México, Guerrero, pertenece a la Zona Pacífico Sur. El estado tiene una extensión de 63,794 km^2, es decir, el 3.2% del total del territorio nacional. Ocupa el lugar número 14 en extensión territorial. Su capital es la ciudad de Chilpancingo de los Bravo. Cuenta con 81 municipios.

Guerrero es uno de los estados con la menor variación de población en su historia. Ha mantenido su población prácticamente estable, pero con algunos cambios, derivados principalmente a la migración, ya que Guerrero posee el 1.1% de la migración total del país. Hasta el año 2010, tenía hasta entonces un total de 3'388,768 habitantes, por lo que ocupa el lugar décimo segundo a nivel nacional. De su población total, 1'645,561 eran hombres y 1'743,207 eran mujeres (Enciclopedia de Municipios y Delegaciones de México, 2010).

La red carretera del estado de Guerrero tiene una extensión de 18,339 kilómetros, de los cuales 2,203 kilómetros pertenecen a la red federal; 1,303 kilómetros a las redes de jurisdicción estatal y 14,833 kilómetros a caminos rurales y brechas mejoradas (Figura 2. 26); en la Figura 2. 27 se muestra la distribución de la red carretera del estado por el tipo de camino.

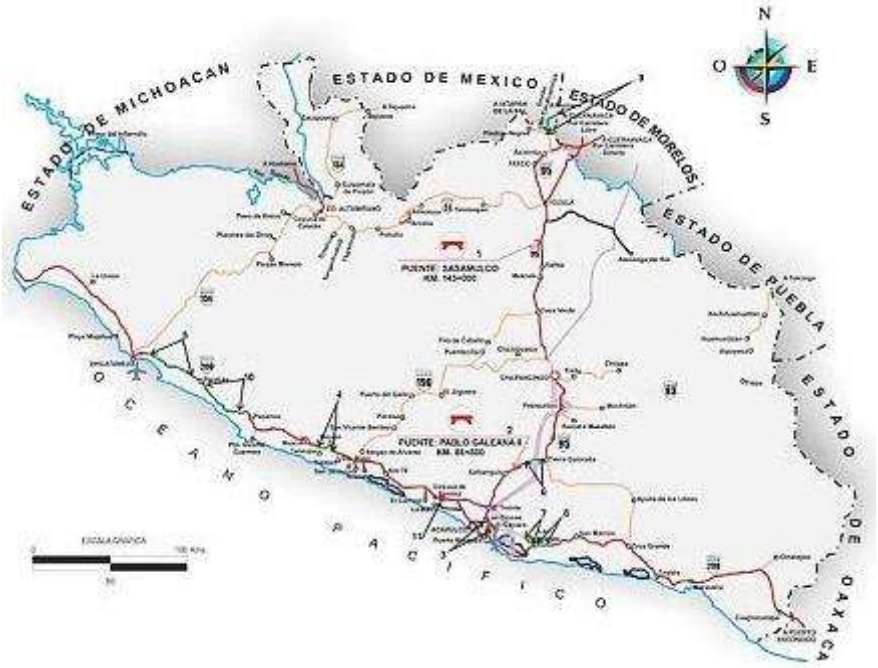


Figura 2. 26 Red carretera del estado de Guerrero (DGCC/SCT, 2013).

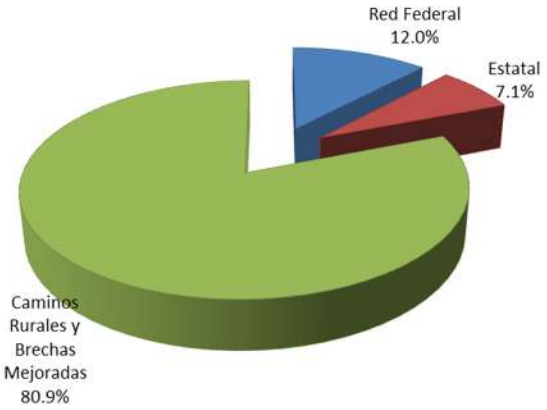


Figura 2. 27 Distribución de la red carretera del estado de Guerreo por tipo de camino.

Así mismo, por su estado superficial de las carreteras, la longitud de la red carretera pavimentada es de 5,598 kilómetros, carreteras con revestimiento son 6,737 kilómetros y la longitud de las brechas mejoradas es de 6,004 kilómetros; a continuación en la Figura 2. 28 se muestra lo anterior mencionado.

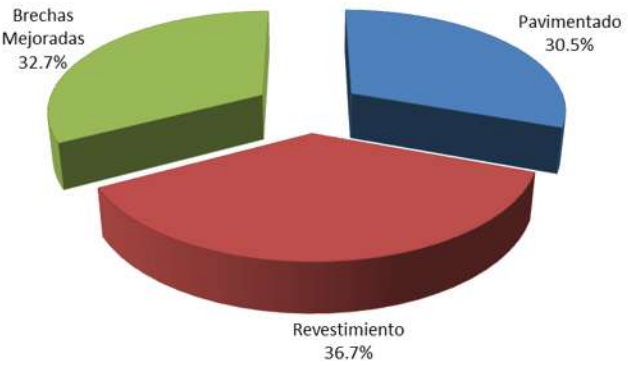


Figura 2. 28 Distribución de la red carretera del estado de Guerrero por su estado superficial.

En cuestión a las carreteras pavimentadas, por el número de carriles, la longitud de las carreteras de dos carriles es de 5,328 kilómetros, en cambio las carreteras de cuatro o más carriles tienen una longitud de 270 kilómetros, esto se muestra en la Figura 2. 29 (DGP/SCT, 2011).

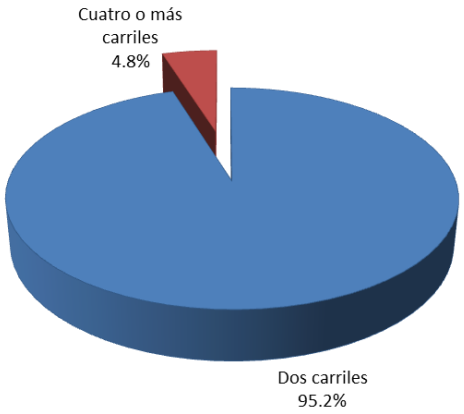


Figura 2. 29 Distribución de la red carretera del estado de Guerrero pavimentada por el número de carriles.

La economía de Guerrero se basa principalmente en el comercio y el turismo por centros como Acapulco, Ixtapa y Taxco, pero también se importan grandes cantidades de mezcal a Estados Unidos, China, Canadá y a la Unión Europea y productos como coco, mango y ajonjolí a países como Japón y Canadá. El PIB de Guerrero se considera mediano en comparación con los demás estados, en 2010 registró 131’206,954 pesos, lo que lo situaba en el lugar número 29 a nivel nacional, contribuyendo con el 1.6% del total nacional.

Con respecto a las actividades económicas desarrolladas por los guerrerenses en edad de trabajar, el sector primario ocupa 14,276 personas y representa el 5.6% de la población económicamente activa, el sector secundario ocupa 47,471 personas y representa el 18.72% de la población económicamente activa y el sector terciario ocupa 184,869 personas y representa el 72.92% de la población económicamente activa; es en este último en el que se ocupa la mayor parte de la población debido a que el estado basa su economía en el turismo y el comercio.

El crecimiento de Guerrero en cuanto a economía ha sido lento, se considera a este estado uno de los estados más rezagados y pobres y tiene su relación con la población indígena.

De acuerdo a los registros de la actividad hotelera en centros turísticos realizados por la SECTUR federal, se ubica a Acapulco en segundo lugar, al recibir al 10.5% del total de turistas nacionales que visitan al país; donde el Distrito Federal atrajo el 23.6%. Acapulco fue en 2010 el segundo destino turístico más visitado de México solo después de la Ciudad de México, con 4,890 millones de turistas y la playa más visitada, e Ixtapa fue el lugar número 22 de destino más visitado de México, y la novena playa más visitada.

La agricultura es una actividad económica en que destaca Tierra Caliente, la región que tiene el mayor número de exportaciones de productos agrícolas en el Estado. El estado produce ajonjolí, café, plátano, cacao, papaya, mango, tabaco, limón y maíz. La exportación forestal también es variada. Se utilizan las maderas de pino, encino, cedro y caoba.

La ganadería se practica en el estado, ya que gran parte de su territorio posee pastos, necesarios para favorecer la cría extensiva de todas las especies comestibles de ganado. Se crían principalmente ganado caprino y porcino.

El comercio es desarrollado en todo el Estado, y la ganadería en Costa Chica y la Montaña, en ésta última es de subsistencia. Los productos agrícolas, principalmente los

tropicales, van no sólo a los mercados nacionales, sino también al extranjero, principalmente a Estados Unidos.

La industria tiene sus principales centros en Buenavista de Cuéllar y Leonardo Bravo. En Guerrero, se obtienen del subsuelo plata, zinc, petróleo, gas, hierro y mercurio. La industria de la transformación está levemente desarrollada, en las ramas de producción de azúcar y derivados lácteos, hilados y tejidos de algodón, fabricación de celulosa, papel y conservadores.

Los municipios de la costa poseen una incipiente pesca, actividad que es principalmente de manutención en los litorales de la zona, que tiene puertos pesqueros como Zihuatanejo y Acapulco.

La inversión extranjera directa en el estado se debe principalmente a las distintas corporaciones y/o sucursales de empresas que hay en el estado, provenientes de otros países, además de la inversión de empresarios en lugares turísticos y de importancia en el estado (Guerrero, 2013).

2.2.5 OAXACA

El estado de Oaxaca se ubica al sur del país, en el extremo suroeste del istmo de Tehuantepec. Colinda con los estados de Guerrero al oeste, Puebla al noroeste, Veracruz hacia el norte y Chiapas al este. Hacia el sur posee casi 600 km de costa en el Océano Pacífico. Su ubicación es 18° 39’ y 15° 39’ de latitud norte y 93° 52’ y 98° 32’ de longitud oeste (Figura 2. 30).



Figura 2. 30 Estado de Oaxaca.

La superficie de Oaxaca es de 93,952 km^2. Por su extensión, es el quinto estado más grande del país y ocupa el 4.8% de su superficie total. Su capital es la ciudad de Oaxaca de Juárez y cuenta con 570 municipios. En el año 2010, el estado de Oaxaca contaba con un total de 3’801,962 habitantes, de dicha cantidad, 1’819,008 eran hombres y 1’982,954 eran mujeres.

Las principales vías terrestres federales en el estado de Oaxaca son:

- La supercarretera de cuota Oaxaca – Cuacnopalan, la pista del sol Oaxaca – Tehuacán, Pue.
- La 190 Panamericana o Internacional que atraviesa toda la entidad, desde los límites con el estado de Puebla en la parte del distrito de Huajuapan de León – Nochixtlán – Oaxaca – Tlacolula – Tehuantepec y de la Ventosa a los límites con el estado de Chiapas.
- La 200 llamada Costera, misma que parte de los límites con el estado de Guerrero – Pinotepa Nacional – Puerto Escondido – Pochutla – Huatulco – Salina Cruz.
- La 185 Transístmica, que parte de los límites con el estado de Veracruz – Matías Romero – La Ventosa – Juchitán – Tehuantepec – Salina Cruz.

- La 125 que parte de los límites con el estado de Puebla – Chazumba – Huajuapan de León – Putla de Guerrero – Pinotepa Nacional y el tramo: Yucadaa – Teposcolula – Tlaxiaco – Putla de Guerrero – Pinotepa Nacional.
- La 135 que parte de los límites con el estado de Puebla – Teotitlán de Flores Magón – Cuicatlán – San Francisco Telixtlahuaca y el tramo: Oaxaca – Ejutla – Ocotlán – Miahuatlán de Porfirio Díaz – Pochutla.
- La 175 que parte de los límites con el estado de Veracruz – San Juan Bautista Tuxtepec – Valle Nacional – Ixtlán de Juárez – Oaxaca de Juárez.
- La 147 Tuxtepec – María Lombardo de Caso-Palomares.
- La 182 que parte de Tuxtepec – Jalapa de Díaz – Huautla de Jiménez – Teotitlán de Flores Magón.
- La carretera Zimatlán – Sola de Vega – San Pedro Mixtepec – Puerto Escondido con su ramal: El Vidrio – Santa Catarina Juquila.
- El tramo Mitla – Ayutla – Santiago Zacatepec con su ramal: Yacochi – Chinantequilla – Choapan (Enciclopedia de Municipios y Delegaciones de México, 2010).

La red carretera del estado de Oaxaca tiene una extensión de 21,318 kilómetros, de los cuales 3,095 kilómetros pertenecen a la red federal; 2,878 kilómetros a las redes de jurisdicción estatal y 15,345 kilómetros a caminos rurales y brechas mejoradas (Figura 2. 31); en la Figura 2. 32 se muestra la distribución de la red carretera del estado por el tipo de camino.

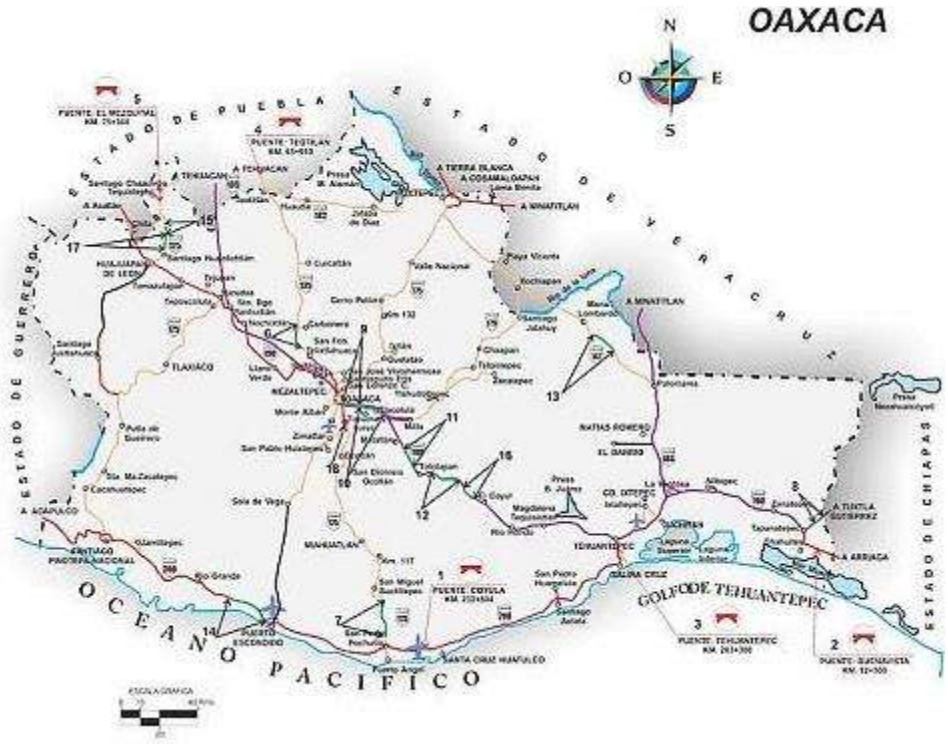


Figura 2. 31 Red carretera del estado de Oaxaca (DGCC/SCT, 2013).

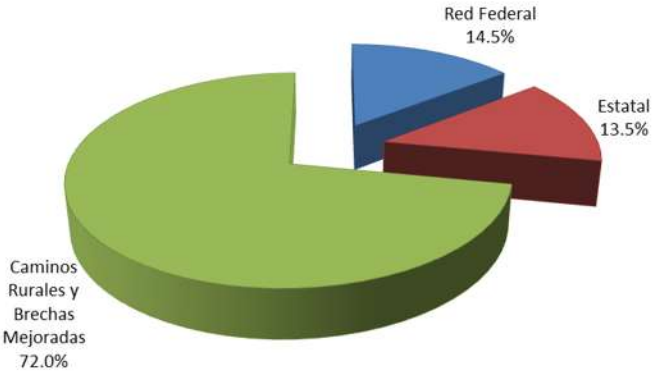


Figura 2. 32 Distribución de la red carretera del estado de Oaxaca por tipo de camino.

Así mismo, por su estado superficial de las carreteras, la longitud de la red carretera pavimentada es de 5,973 kilómetros, carreteras con revestimiento son 12,918 kilómetros y la longitud de las brechas mejoradas es de 2,427 kilómetros; a continuación en la Figura 2. 33 se muestra lo anterior mencionado.

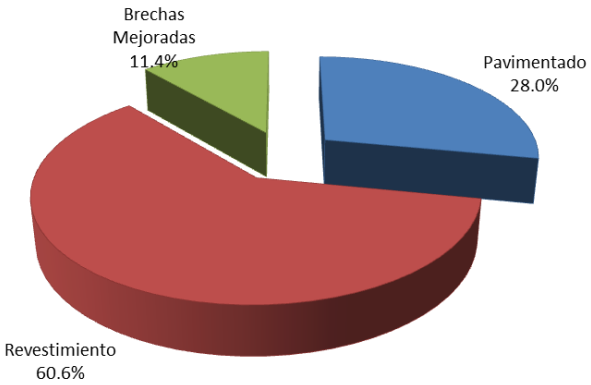


Figura 2. 33 Distribución de la red carretera del estado de Oaxaca por su estado superficial.

En cuestión a las carreteras pavimentadas, por el número de carriles, la longitud de las carreteras de dos carriles es de 5,822 kilómetros, en cambio las carreteras de cuatro o más carriles tienen una longitud de 151 kilómetros, esto se muestra en la Figura 2. 34 (DGP/SCT, 2011).



Figura 2. 34 Distribución de la red carretera del estado de Oaxaca pavimentada por el número de carriles.

En el lugar 31 de la economía federal, el estado de Oaxaca contribuye con el 1.6% del PIB nacional. La población económicamente activa se calcula en 1’076,829 habitantes. Las actividades terciarias, entre las que se encuentran el comercio y los servicios de hoteles y restaurantes, aportaron 63% del PIB estatal en 2011.

Oaxaca recibió 6.6 millones de dólares por concepto de inversión extranjera directa en 2011 (Secretaría de Economía, 2013).

La actividad económica más practicada en Oaxaca es la agricultura. Se cultiva la caña de azúcar, limón, naranja, alfalfa, cebada, maíz, aguacate, piña, arroz, melón, sandía, maguey, café, tabaco, siendo la zona de mayor potencial agrícola la Región Cuenca del Papaloapan, específicamente en Tuxtepec.

La actividad económica está centrada en el sector terciario de la economía, específicamente en las actividades comerciales, en servicios de restaurante, hoteles y transportes.

La producción manufacturera del cemento tipo Portland se realiza en Lagunas, generación de energía limpia en Juchitán de Zaragoza, producción de cerveza, azúcar refinada, producción de papel, producción de biocombustible en San Juan Bautista Tuxtepec y generación de energía eléctrica en la presa Miguel Alemán Valdez en Soyaltepec.

Durante los últimos años, los gobiernos estatales han tratado de sacar provecho al gran potencial turístico que ofrece el estado, sobre todo en la ciudad de Oaxaca y Huatulco (Enciclopedia de Municipios y Delegaciones de México, 2010).

Sin embargo, el panorama actual ha cambiado drásticamente para grandes sectores económicos del estado, ya que los conflictos sociales han amenazado la estabilidad y el orden de Oaxaca. Y es que además, es uno de los estados con más grandes rezagos en el país, y actualmente uno de los más pobres y erosionados socialmente (Explorando México, 2012).

2.2.6 CHIAPAS

Chiapas se localiza al sureste de México; colinda al norte con el estado de Tabasco, al oeste con Veracruz y Oaxaca, al sur con el Océano Pacífico y al este con la República de

Guatemala. Se ubica al norte 17° 59', al sur 14° 32' de latitud norte; al este 90° 22', al oeste 94° 14' de longitud oeste (Figura 2. 35).



Figura 2. 35 Estado de Chiapas.

La superficie de Chiapas es de 74,415 km^2, es el octavo estado más grande de la República Mexicana, representa el 3.8% de la superficie del país. Se conforma de 122 municipios, mismos que se distribuyen en 15 regiones. Su capital es la ciudad de Tuxtla Gutiérrez. De acuerdo al año 2010, el estado de Chiapas contaba con un total de 4'796,580 habitantes, de los cuales 2'352,807 eran hombres y 2'443,773 eran mujeres (Enciclopedia de Municipios y Delegaciones de México, 2010).

La red carretera del estado de Chiapas tiene una extensión de 22,196 kilómetros, de los cuales 2,375 kilómetros pertenecen a la red federal; 3,718 kilómetros a las redes de jurisdicción estatal y 16,103 kilómetros a caminos rurales y brechas mejoradas (Figura 2. 36); en la Figura 2. 37 se muestra la distribución de la red carretera del estado por el tipo de camino.

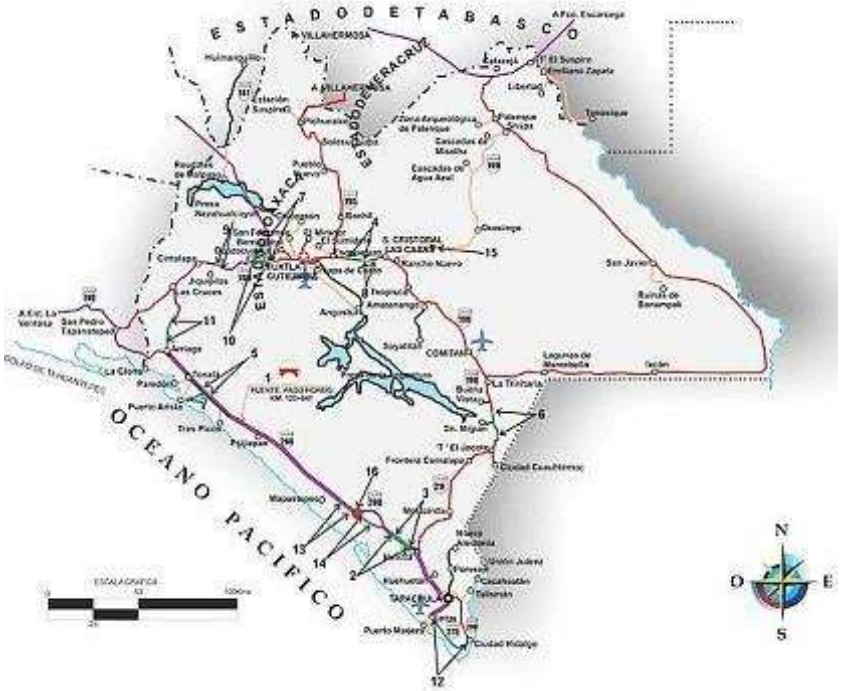


Figura 2. 36 Red carretera del estado de Chiapas (DGCC/SCT, 2013).

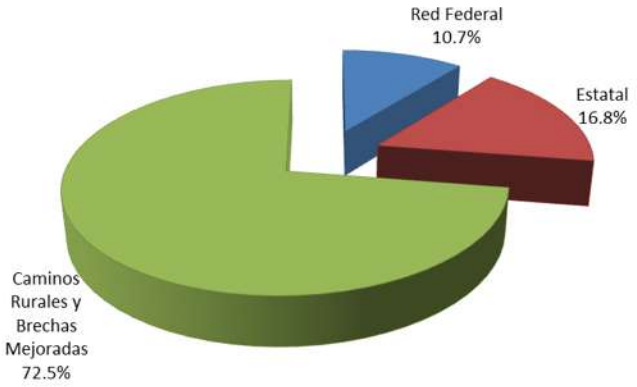


Figura 2. 37 Distribución de la red carretera del estado de Chiapas por tipo de camino.

Así mismo, por su estado superficial de las carreteras, la longitud de la red carretera pavimentada es de 5,862 kilómetros, carreteras con revestimiento son 15,264 kilómetros, carreteras en terracerías 1,011 kilómetros y la longitud de las brechas mejoradas es de 59 kilómetros; a continuación en la Figura 2. 38 se muestra lo anterior mencionado.

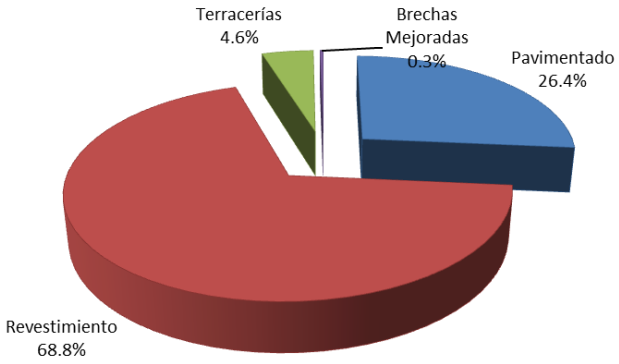


Figura 2. 38 Distribución de la red carretera del estado de Chiapas por su estado superficial.

En cuestión a las carreteras pavimentadas, por el número de carriles, la longitud de las carreteras de dos carriles es de 5,578 kilómetros, en cambio las carreteras de cuatro o más carriles tienen una longitud de 284 kilómetros, esto se muestra en la Figura 2. 39 (DGP/SCT, 2011).

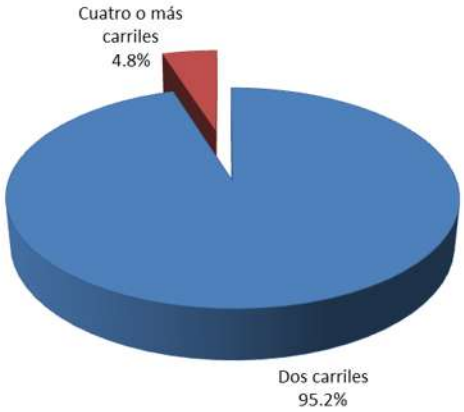


Figura 2. 39 Distribución de la red carretea del estado de Chiapas pavimentada por el número de carriles.

Chiapas es centro geográfico del Proyecto Mesoamérica, ubicado con el Corredor Transístmico de América, puerta de entrada y salida al Mercado de Centroamérica. Cuenta con excelente conectividad e infraestructura para los negocios, como son autopistas y carreteras; cuenta con 3 aeropuertos y el Puerto Chiapas, que conecta con los mercados del Pacífico, a través del sistema logístico multimodal.

El PIB del estado fue de cerca de 261 mil millones de pesos en 2011, con lo que aportó 1.9% al PIB nacional (Secretaría de Economía, 2013).

Las actividades económicas más destacadas son el turismo nacional e internacional, y en el ramo agropecuario la producción de café, miel, cacao, hortalizas, chile, plátano, mango, jamaica, coco, chocolate y azúcar de caña.

Destaca también la producción artesanal como la elaboración de joyas a base de ámbar, los trabajos de madera y barro, la laca y la talabartería tradicional (Chiapas, 2013).

En el sector industrial, destaca la extracción petrolera de sus abundantes yacimientos y la generación de energía eléctrica gracias a las numerosas corrientes de agua superficial localizadas en su jurisdicción.

La mitad de la población ocupada en el estado se dedica a la agricultura, la cual a pesar de su importancia continúa siendo ineficiente e improductiva. El atraso tecnológico es importante, pues la mayor parte de la siembra carece de la infraestructura de riego apropiada (Explorando México, 2012).

2.3 SISTEMA DE PUENTES DE MEXICO (SIPUMEX)

Hasta antes de 1982 no se contaba en México con ningún procedimiento definido para llevar a cabo sistemáticamente el mantenimiento de puentes de la red carretera federal. Se daba atención a las estructuras conforme se detectaba que tenían problemas graves o cuando, a juicio del ingeniero residente debía efectuarse trabajos de mantenimiento o razonamiento. En 1981 las autoridades de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes tenían varias preocupaciones en relación con los puentes de la red:

- No se sabía si las estructuras podrían soportar las cargas autorizadas para circular por las carreteras federales, de acuerdo con el Reglamento de Pesos y Dimensiones que habían sido publicado en 1980.
- Se tenía desconocimiento del número de puentes existentes en la red.
- No se contaba con un sistema que permitiese efectuar de manera ordenada y metódica el mantenimiento de los puentes.

En virtud de lo anterior, se decidió proceder a levantar un inventario nacional de puentes, en éste se consideraron las condiciones técnicas, geométricas y de ubicación de las estructuras, así como la naturaleza y magnitud de los daños que presentaban. El inventario fue terminado en 1982 y de él se obtuvo que la red federal de carreteras contaba con 4,500 puentes; el inventario adoleció de muchos errores y omisiones, se le fue perdiendo confianza y finalmente se abandonó al no ser actualizado periódicamente.

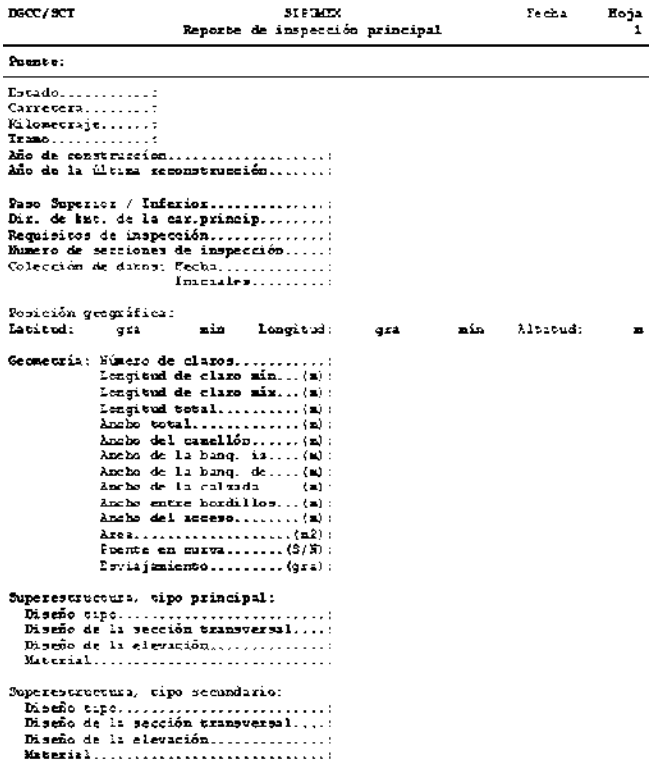
En el año 1991, conscientes las autoridades de la Secretaría de la necesidad de contar con un procedimiento sistemático para atender el mantenimiento de los puentes de México, se inició una investigación a nivel mundial para conocer si se contaba en algunos países con un Sistema para tal fin y ver la posibilidad de que se implementara uno de ellos en nuestro país. Se encontró que en Dinamarca se había implantado hacía algunos años el sistema conocido con el nombre de DANBRO, el cual era sencillo de aplicar, moderno, y se había adoptado también con buenos resultados en otros países como Arabia Saudita, China, Taiwán, Tailandia e Indonesia. En el año de 1992 se firmó con el Directorado Danés de Carreteras la Primera Fase del Sistema de Puentes de México, SIPUMEX, cuyos objetivos fueron establecidos como sigue:

- Garantizar que el mantenimiento de los puentes de la Red Federal se lleve a cabo de una manera óptima.
- Jerarquizar las necesidades de los proyectos de rehabilitación y de la ejecución de las obras.
- Realizar una optimización de los presupuestos anuales.

- Efectuar proyecciones de los requerimientos de presupuesto para un periodo de 5 años.

La primera fase está constituida por las siguientes actividades:

- Inspecciones principales. Son inspecciones visuales de la estructura para determinar sus condiciones y evaluar la necesidad de atenderlas. En la Figura 2. 40, Figura 2. 41, Figura 2. 42 y Figura 2. 43 se puede observar a detalle el formato de estas inspecciones, y los datos que se obtienen con estas inspecciones, que consideran la entidad federativa en la que se ubica la estructura, la carretera, kilometraje, tramo, año de construcción, tipo de superestructura y subestructura, los materiales de que están construidas, el tránsito diario promedio anual, su clasificación, etc.



DGCC/SCT SIPUMEX Fecha Hoja
Reporte de inspección principal 1

Puente:

Estado.....:
Carretera.....:
Kilometraje.....:
Tramo.....:
Año de construcción.....:
Año de la última reconstrucción.....:

Paso Superior / Inferior.....:
Dir. de kmt. de la car.princip.....:
Requisitos de inspección.....:
Número de secciones de inspección.....:
Colección de datos: Fecha.....:
Iniciales.....:

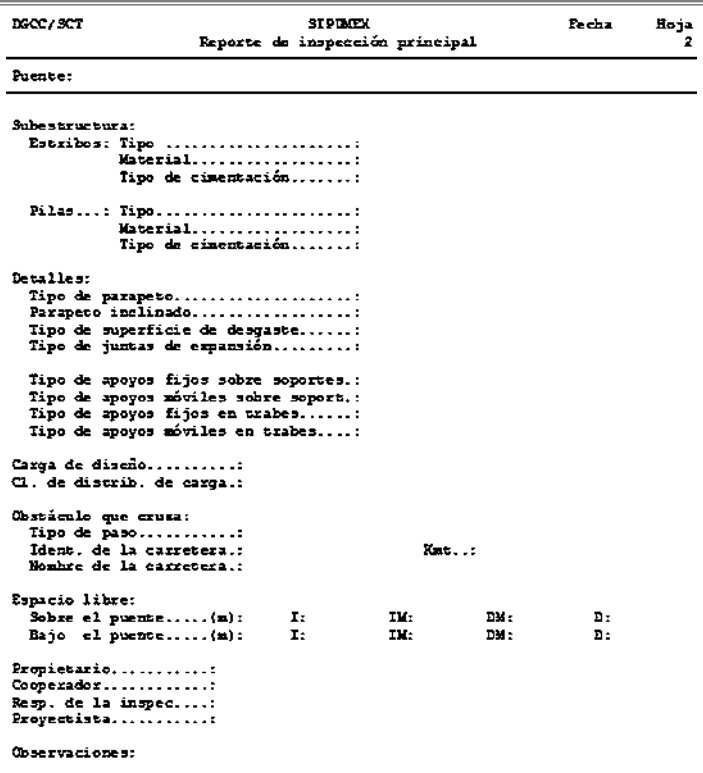
Posición geográfica:
Latitud: gra min Longitud: gra min Altitud: m

Geometría: Número de claros.....:
Longitud de claro mín...(m):
Longitud de claro máx...(m):
Longitud total.....(m):
Ancho total.....(m):
Ancho del camellón.....(m):
Ancho de la banq. is....(m):
Ancho de la banq. de....(m):
Ancho de la calzada (m):
Ancho entre bordillos...(m):
Ancho del acceso.....(m):
Área.....(m2):
Puente en curva.....(S/N):
Desviajamiento.....(gra):

Superestructura, tipo principal:
Diseño tipo.....:
Diseño de la sección transversal....:
Diseño de la elevación.....:
Material.....

Superestructura, tipo secundario:
Diseño tipo.....:
Diseño de la sección transversal....:
Diseño de la elevación.....:
Material.....:

Figura 2. 40 Formato para inspecciones principales de SIPUMEX (1/4).



```
DGCC/SCT                          SIPUMEX                          Fecha      Hoja
                        Reporte de inspección principal                          2

Puente:

Subestructura:
  Estribos: Tipo .....:
            Material.....:
            Tipo de cimentación.....:

  Pilas...: Tipo.....:
            Material.....:
            Tipo de cimentación.....:

Detalles:
  Tipo de parapeto.....:
  Parapeto inclinado.....:
  Tipo de superficie de desgaste.....:
  Tipo de juntas de expansión.....:

  Tipo de apoyos fijos sobre soportes.:
  Tipo de apoyos móviles sobre soport.:
  Tipo de apoyos fijos en trabes.....:
  Tipo de apoyos móviles en trabes....:

Carga de diseño.....:
Cl. de distrib. de carga.:

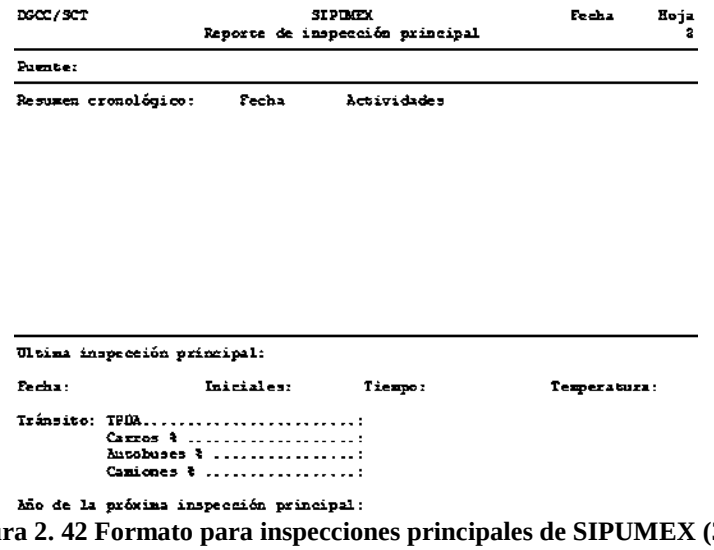
Obstáculo que cruza:
  Tipo de paso.....:
  Ident. de la carretera.:                    Kmt..:
  Nombre de la carretera.:

Espacio libre:
  Sobre el puente.....(m):     I:         IM:        DM:        D:
  Bajo  el puente.....(m):     I:         IM:        DM:        D:

Propietario.....:
Cooperador.....:
Resp. de la inspec....:
Proyectista.....:

Observaciones:
```

Figura 2. 41 Formato para inspecciones principales de SIPUMEX (2/4).



```
DGCC/SCT                          SIPUMEX                          Fecha      Hoja
                        Reporte de inspección principal                          3

Puente:

Resumen cronológico:     Fecha       Actividades

Ultima inspección principal:

Fecha:                Iniciales:        Tiempo:              Temperatura:

Tránsito: TPDA.....:
          Carros % .....:
          Autobuses % .....:
          Camiones % .....:

Año de la próxima inspección principal:
```

Figura 2. 42 Formato para inspecciones principales de SIPUMEX (3/4).

DGCC/SCT SIPUMEX Fecha Hoja 4
Reporte de inspección principal

Puente:

Núm. Componente / Descripción del daño / Tipo de daño	Fotos	Calif	Mant en	Ins Esp	Obras de reparación: Tp	Cantid	Año	Costo
1 SUPERFICIE DE PUENTE								
2 JUNTAS DE EXPANSION								
3 BANQUETA/CAMELLON								
4 PARAPETO/PASAMANOS								
5 CONOS/TALUDES								
6 ALEROS								
7 ESTRIBOS								
9 APOYOS								
10 LOSA								
11 LARGUEROS/TRABES								
12 CAUCE								
14 PUENTE EN GENERAL								

Figura 2. 43 Formato para inspecciones principales de SIPUMEX (4/4).

En la Tabla 2. 3 se muestra a detalle la calificación que se puede otorgar a los componentes de los puentes y a la propia estructura, en una escala de 0 cuando la estructura no presenta daños en ningún elemento y 5 cuando se considera que está en peligro su estabilidad.

Tabla 2. 3 Calificación de acuerdo al SIPUMEX.

CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
0	Sin daño o daño insignificante
1	Daño pequeño pero no es necesario reparación (excepto mantenimiento menor)
2	Algún daño, reparación necesaria cuando se presente la ocasión. El componente funciona como se diseñó
3	Daño significativo, reparación necesaria muy pronto
4	Daño grave, reparación necesaria inmediatamente
5	Daño extremo, falla total o riesgo de falla total del componente
?	Desconocido

- Inventario. Con las inspecciones principales se pudo obtener el inventario de los puentes existentes en la red carretera federal, resultando hasta ese momento 6,150 puentes. Al realizar el inventario se debe de especificar si es puente carretero o peatonal. Se ha visto que los principales problemas que presentan las estructuras consisten en:

  - Agrietamientos de nervaduras y trabes por esfuerzo cortante y por flexión.
  - Fallas de apoyo de contrato (mecedoras) con placas de plomo, y
  - Inestabilidad por erosión o socavación en los elementos de cimentación o en los conos de derrame de estribos y caballetes.

- Análisis beneficio – costo. Se realiza en función de alternativas de reparación, costos de operación, desviaciones del tránsito y costos de reparación.
- Inspecciones rutinarias. Son inspecciones someras del aspecto superficial de los puentes para garantizar la seguridad del tránsito.
- Mantenimiento menor y limpieza. Es la ejecución de trabajos menores tales como reparación de baches, resanes de concreto y de pintura, limpieza de calzada y de drenes, reparación de parapetos.
- Evaluación de la capacidad de carga. Es un análisis para evaluar la capacidad de carga remanente de las estructuras y su capacidad para satisfacer los requerimientos que les impone el paso de los vehículos.
- Jerarquización de los trabajos de rehabilitación. Se establecen las prioridades para los trabajos de reforzamiento o rehabilitación de los puentes registrados con la ejecución de las Inspecciones Principales, con base en la condición de los puentes, capacidad de las estructuras para distribuir la carga y el tránsito diario promedio anual.

A mediados de 1993 se firmó el Contrato de la Fase 2, cuyos trabajos finalizaron a fines de 1996. Esta segunda fase incluye las siguientes actividades:

- Inspecciones especiales. Inspecciones detalladas con el uso de equipo especial, para determinar los daños y sus causas, y programar los proyectos de rehabilitación.
- Diseño de reparación de puentes. Preparación de un manual de diseño de reparaciones, con base en las inspecciones especiales.
- Diseño y especificaciones para puentes nuevos. Incluye el ajuste a las normas de diseño existentes, con base en las experiencias obtenidas de las inspecciones.
- Rutas para transporte pesado. Establecimiento de rutas para vehículos pesados especiales, de modo que no provoquen daños a los puentes.
- Presupuesto y control de avance. Un sistema que elabore presupuestos y controle los avances de los trabajos.
- Mapa de puentes. Sistema para localizar los puentes de la red en mapas.
- Sistema de archivo. Manejará todo el material de archivo del SIPUMEX.
- Libro de precios. Elaboración de un catálogo de precios unitarios para trabajos de mantenimiento y rehabilitación.
- Supervisión de obra. Introducción de nuevos procedimientos de supervisión de obra, incluyendo manuales.
- Juntas asfálticas para puentes de concreto. Entrenamiento en diseño y construcción de una nueva junta de expansión para puentes.

Se establecerá una base de datos que contendrá fotografías de los puentes, tomadas durante las inspecciones principales.

En la Figura 2. 44 se muestra el desarrollo del SIPUMEX, este comprende diversas actividades que tienen que realizar tanto la Dirección General de Conservación de Carreteras a nivel central como los Centros SCT, también se muestra con detalle las funciones de cada una de las áreas que intervienen en la operación del sistema.

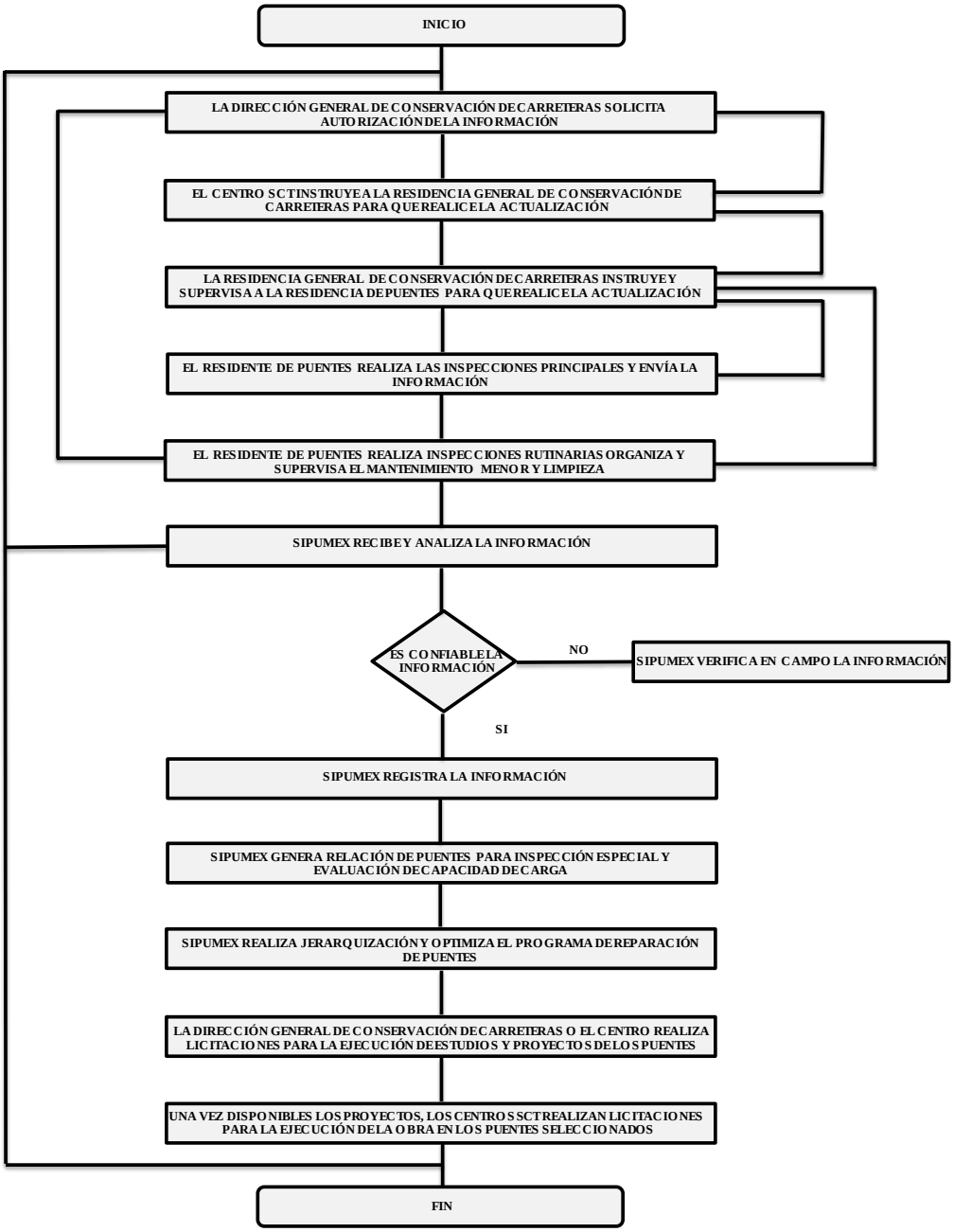


Figura 2. 44 Flujo de actividades de SIPUMEX.

Finalmente, conviene señalar que para que el Sistema funcione adecuadamente y permanentemente, es necesario cumplir con los siguientes puntos:

- Uniformizar los criterios de inspección de todas las Residencias Generales de Conservación de Carreteras.

- Actualizar sistemáticamente la base de datos por lo menos una vez al año.
- Contar con los recursos necesarios para mantener el sistema en operación.
- Corregir errores y detalles mal aplicados conforme se vaya adquiriendo experiencia (DGCC/SCT, 1994).

2.4 ELABORACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS ESTADÍSTICOS A PARTIR DEL INVENTARIO DE SIPUMEX

De acuerdo con (SIPUMEX, 2011), en el país, se cuenta con 8,113 puentes en la red carretera. En este trabajo se realizó una base de datos en base al inventario de 2011, y con esta base de datos se realizó estadística para conocer las características de los puentes en seis estados en estudio, de la República Mexicana: Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

Estos seis estados se eligieron debido a que son más susceptibles a cualquier tipo de evento, ya sea por la naturaleza o por el hombre. A continuación se mostrará los resultados de las bases de datos.

2.4.1 JALISCO

De acuerdo con el inventario (SIPUMEX, 2011), el Estado de Jalisco cuenta con doscientos sesenta y nueve puentes, de los cuales se dividen en puentes carreteros y puentes peatonales, como se muestra en la Figura 2. 45.

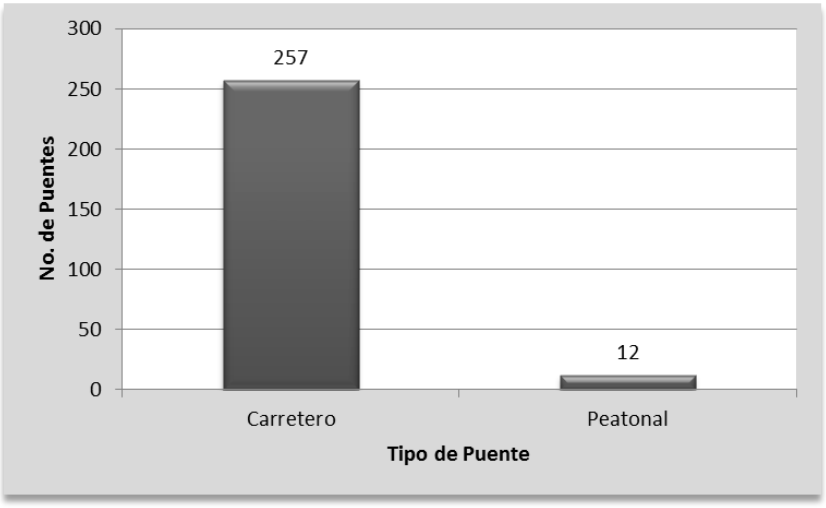


Figura 2. 45 Tipo de puentes de Jalisco.

De acuerdo a lo anterior, se observa que de los doscientos sesenta y nueve puentes que se tienen registrados en el inventario, doscientos cincuenta y siete puentes son carreteros y doce son puentes peatonales. En este caso, solo se estudiarán los puentes carreteros.

Los doscientos cincuenta y siete puentes en estudio se ubican en diferentes rutas carreteras, como se muestra en la Figura 2. 46.

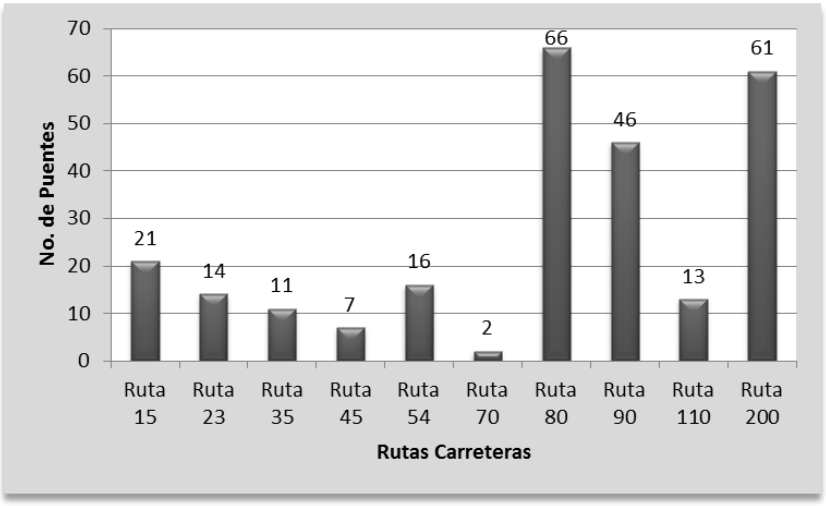


Figura 2. 46 Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras de Jalisco.

Se observa que veintiún puentes se ubican sobre la ruta 15, catorce puentes se ubican sobre la ruta 23, once se ubican sobre la ruta 35, siete se ubican sobre la ruta 45, dieciséis

se ubican sobre la ruta 54, dos puentes se ubican sobre la ruta 70, sesenta y seis puentes se ubican sobre la ruta 80, cuarenta y seis se ubican sobre la ruta 90, trece se ubican sobre la ruta 110 y sesenta y un puentes se ubican sobre la ruta 200.

Una característica importante de estos puentes es el periodo de construcción, esto se observa en la Figura 2. 47.

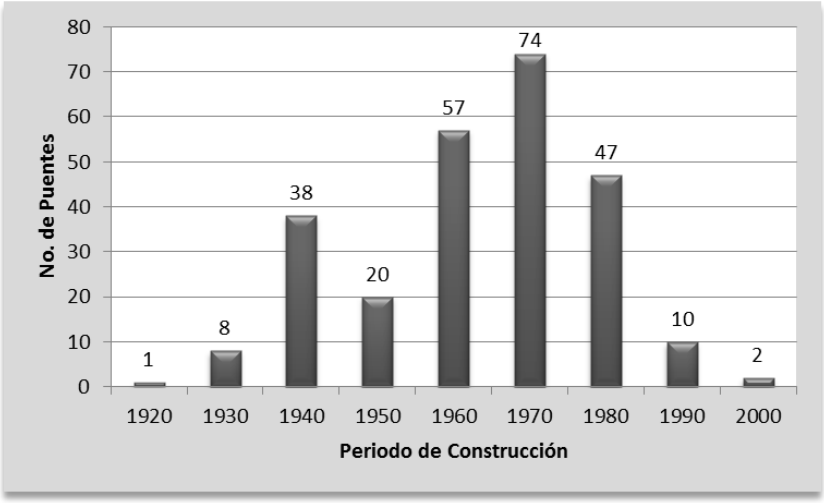


Figura 2. 47 Periodos de construcción de los puentes de Jalisco.

Se observa que un puente se construyó en la década de los 20’s, ocho puentes se construyeron en la década de los 30’s, treinta y ocho puentes se construyeron en la década de los 40’s, veinte puentes se construyeron en la década de los 50’s, cincuenta y siete puentes se construyeron en la década de los 60’s, setenta y cuatro puentes se construyeron en la década de los años 70’s, cuarenta y siete puentes se construyeron en la década de los años 80’s, diez puentes se construyeron en la década de los años 90’s y dos puentes se construyeron la década del 2000.

Algunos de los puentes en estudio han sido reconstruidos, esto se observa en la Figura 2. 48.

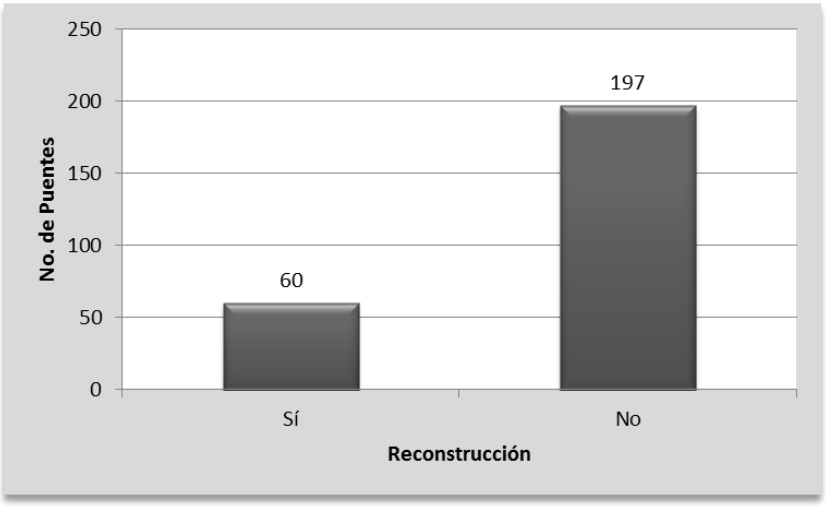


Figura 2. 48 Puentes reconstruidos de Jalisco.

Se observa que sesenta puentes ya han sido reconstruidos y ciento noventa y siete puentes no han requerido de su reconstrucción.

Otra característica importante es el tipo de paso, como se observa en la Figura 2. 49.

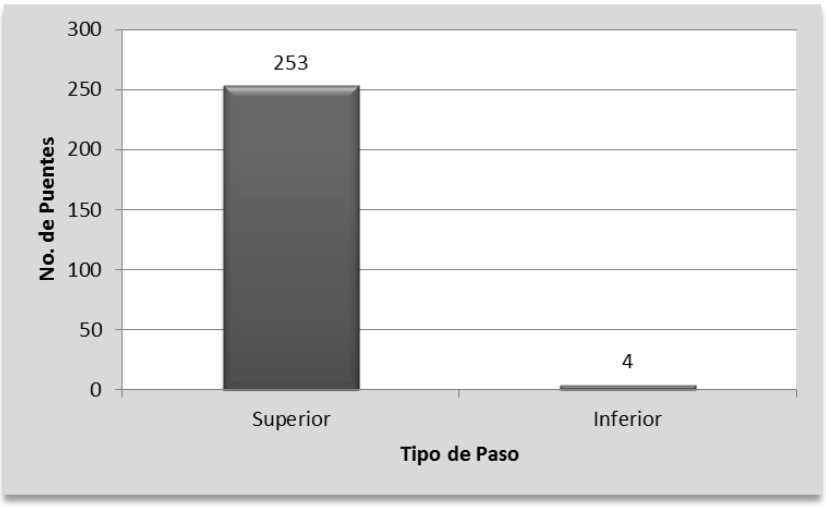


Figura 2. 49 Tipo de paso de los puentes de Jalisco.

En la figura anterior se observa que doscientos cincuenta y tres puentes son pasos superiores y cuatro puentes son pasos inferiores.

Dentro de la geometría de los puentes, se tiene el número de claros que tienen los puentes en estudio, como se observa en la Figura 2. 50.

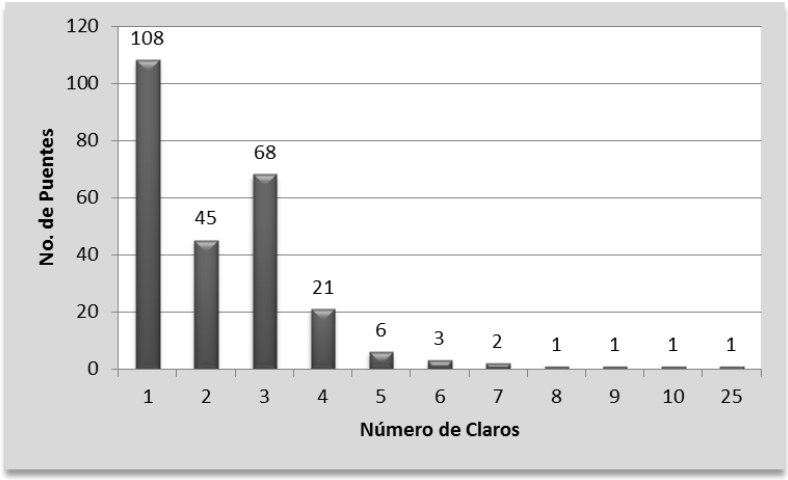


Figura 2. 50 Número de claros de los puentes de Jalisco.

De acuerdo a la figura, ciento ocho puentes son de un claro, cuarenta y cinco puentes son de dos claros, sesenta y ocho puentes son de tres claros, veintiún puentes son de cuatro claros, seis puentes son de cinco claros, tres puentes son de seis claros, dos puentes son de siete claros y un puente es de ocho, nueve, diez y veinticinco claros.

En el inventario de puentes, se mencionan las longitudes mínima y máxima de claro, como se observa en la Figura 2. 51 y Figura 2. 52.

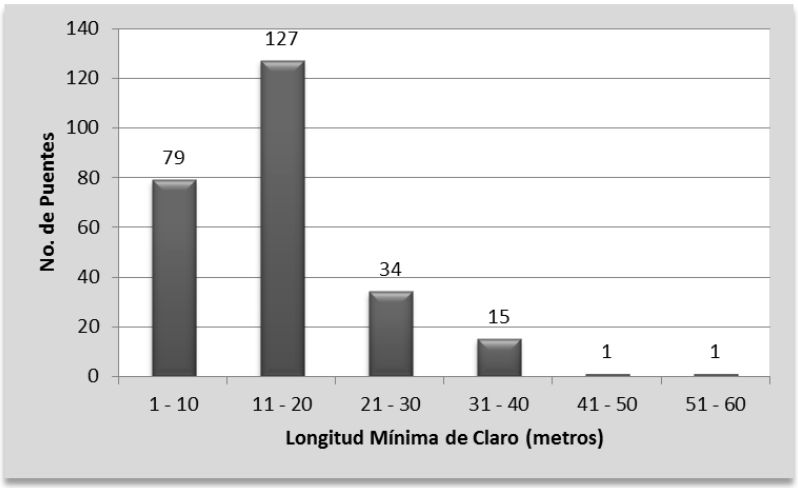


Figura 2. 51 Longitud mínima de claro de los puentes de Jalisco.

Se observa que setenta y nueve puentes tienen la longitud mínima de claro entre 1 y 10 metros, ciento veintisiete puentes tienen la longitud mínima de claro entre 11 y 20 metros, treinta y cuatro puentes tienen una longitud mínima entre 21 y 30 metros, quince puentes tienen una longitud mínima entre 31 y 40 metros y un solo puente tiene una longitud mínima de claro entre 41 y 50 metros, así como una longitud mínima entre 51 y 60 metros, respectivamente.

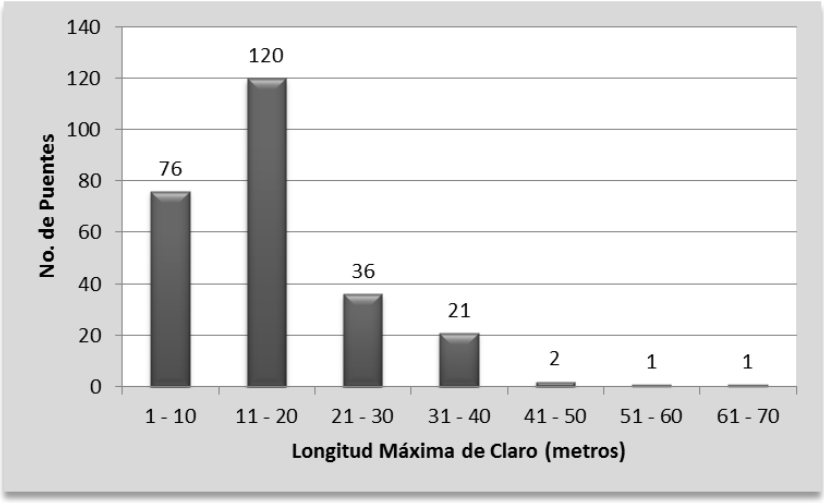


Figura 2. 52 Longitud máxima de claro de los puentes de Jalisco.

Se observa que setenta y seis puentes tienen la longitud máxima de claro entre 1 y 10 metros, ciento veinte puentes tienen la longitud máxima de claro entre 11 y 20 metros, treinta y seis puentes tienen una longitud máxima entre 21 y 30 metros, veintiún puentes tienen una longitud máxima entre 31 y 40 metros, dos puentes tienen una longitud máxima entre 41 y 50 metros y un puente tiene una longitud máxima de claro entre 51 y 60 metros, así como una longitud máxima entre 61 y 70 metros, respectivamente.

Una de las características de la geometría de los puentes es la longitud total de los puentes, que se mencionan en la Figura 2. 53.

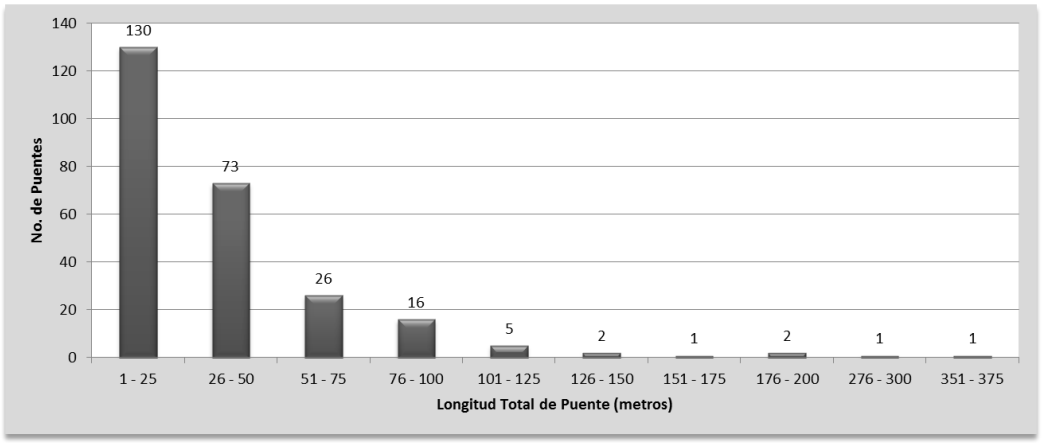


Figura 2. 53 Longitud total de puentes de Jalisco.

Se observa que ciento treinta puentes tienen una longitud total entre 1 y 25 metros, setenta y tres puentes tienen una longitud total entre 26 y 50 metros, veintiséis puentes tienen una longitud total entre 51 y 75 metros, dieciséis puentes tienen una longitud total entre 76 y 100 metros, cinco puentes tienen una longitud total entre 101 y 125 metros, dos puentes tienen una longitud total entre 126 y 150 metros, un puente tiene una longitud total entre 151 y 175 metros, dos puentes tienen una longitud total entre 176 y 200 metros y un puente tiene una longitud total entre 276 y 300 metros, así como 351 y 375 metros respectivamente.

Otra característica que se requiere de los puentes es el ancho total del puente, los cuales se observan en la Figura 2. 54.

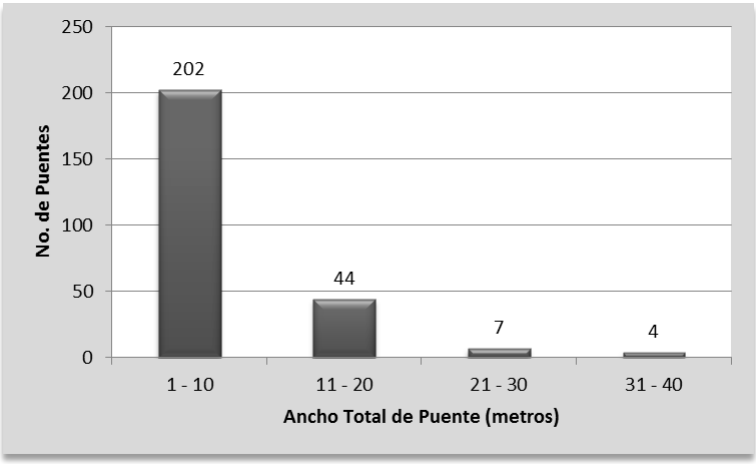


Figura 2. 54 Ancho total de los puentes de Jalisco.

De la figura anterior, se observa que doscientos dos puentes tienen un ancho total entre 1 y 10 metros, cuarenta y cuatro puentes tienen un ancho total entre 11 y 20 metros, siete puentes tienen un ancho total entre 21 y 30 metros y cuatro puentes tienen un ancho total de puente entre 31 y 40 metros.

Algunos puentes se encuentran en curva, estos se pueden observar en la Figura 2. 55.

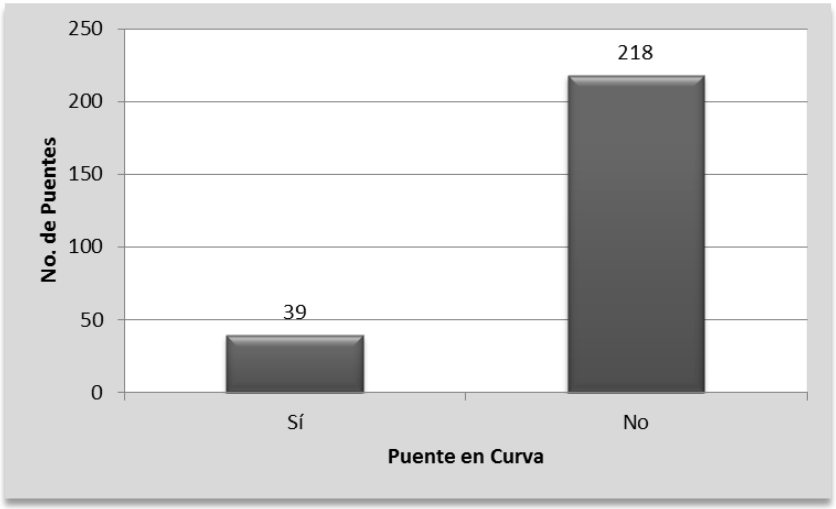


Figura 2. 55 Puentes en curva de Jalisco.

Se observa que treinta y nueve puentes se encuentran en curva, mientras que doscientos dieciocho puentes no están en curva.

Por el trazo que tienen algunas carreteras, es necesario que algunos de los puentes se encuentren esviajados, estos se mencionan en la Figura 2. 56.

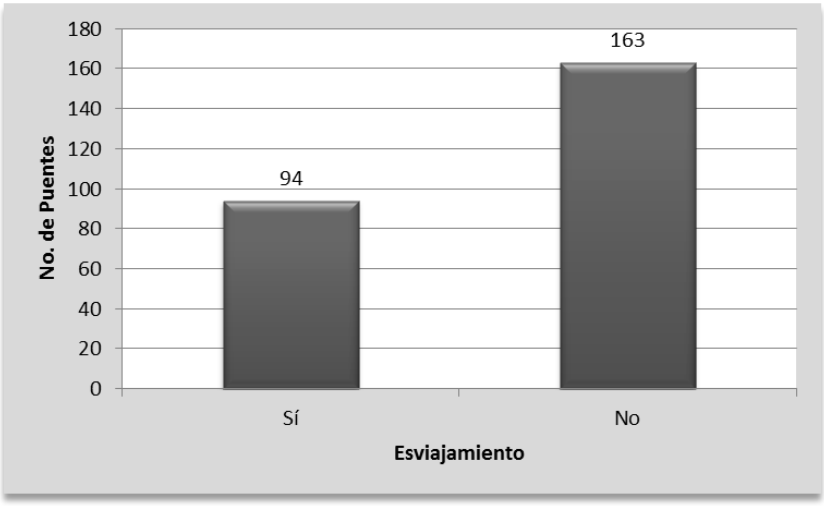


Figura 2. 56 Puentes esviajados de Jalisco.

De lo anterior, noventa y cuatro puentes tienen esviajamiento y ciento sesenta y tres puentes no presentan esviajamiento. De los noventa y cuatro puentes que presentan esviajamiento, en la Figura 2. 57 se muestra el grado de esviajamiento que tienen.

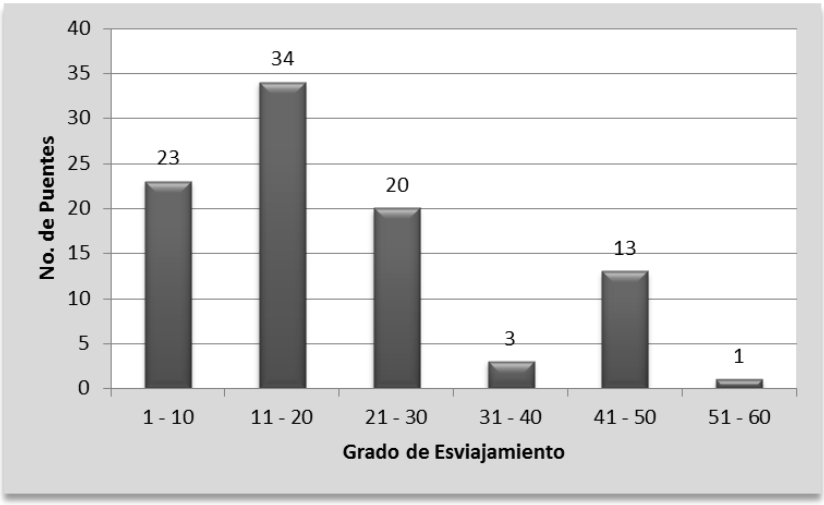


Figura 2. 57 Grado de esviajamiento de los puentes de Jalisco.

De la figura anterior, veintitrés puentes presentan un esviajamiento de 1 a 10 grados, treinta y cuatro puentes tienen un esviajamiento entre 11 y 20 grados, veinte puentes tienen un esviajamiento entre 21 y 30 grados, tres puentes tienen un esviajamiento entre 31 y 40 metros, trece puentes tienen un esviajamiento entre 41 y 50 metros y un puente tiene un esviajamiento entre 51 y 60 grados.

La superestructura de los puentes es una de las partes importantes de estas estructuras. En el inventario de puentes, se mencionan tres características de este elemento, una de ellas es el diseño de la sección transversal, como se observa en la Figura 2. 58.

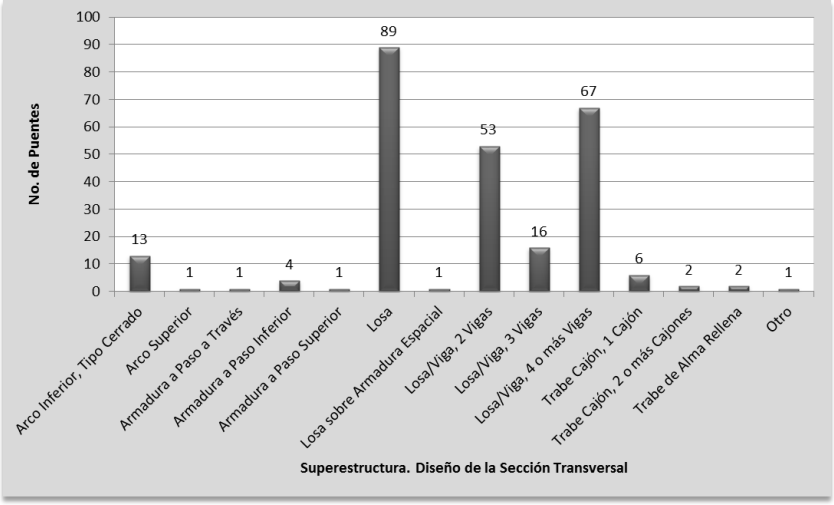


Figura 2. 58 Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes de Jalisco.

En la figura anterior se observa que trece puentes son en forma de arco inferior tipo cerrado, un puente tiene forma de arco superior así como de armadura a paso a través, cuatro puentes son armadura a paso inferior, un puente es de armadura a paso superior, ochenta y nueve puentes tienen son de losa, un puente es de losa sobre armadura espacial, cincuenta y tres puentes son con losa y 2 vigas, dieciséis puentes son con losa y 3 vigas, sesenta y siete puentes son con losa y 4 o más vigas, seis puentes son con una trabe cajón, dos puentes son con 2 o más trabes cajón y con trabe de alma llena, respectivamente y un puente es otra sección transversal.

El diseño de la elevación de la superestructura se observa en la Figura 2. 59.

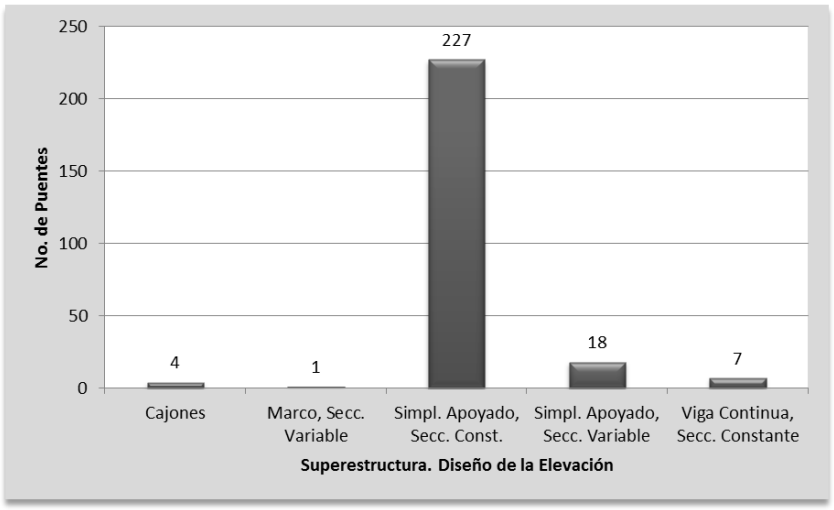


Figura 2. 59 Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes de Jalisco.

Se observa que cuatro puentes están apoyados sobre cajones, un puente esta sobre un marco con sección variable, doscientos veintisiete puentes están simplemente apoyados con sección constante, dieciocho puentes están simplemente apoyados con sección variable y siete puentes están sobre una viga continua con sección constante.

El material con el cual fueron construidos la superestructura de los puentes se menciona en la Figura 2. 60.

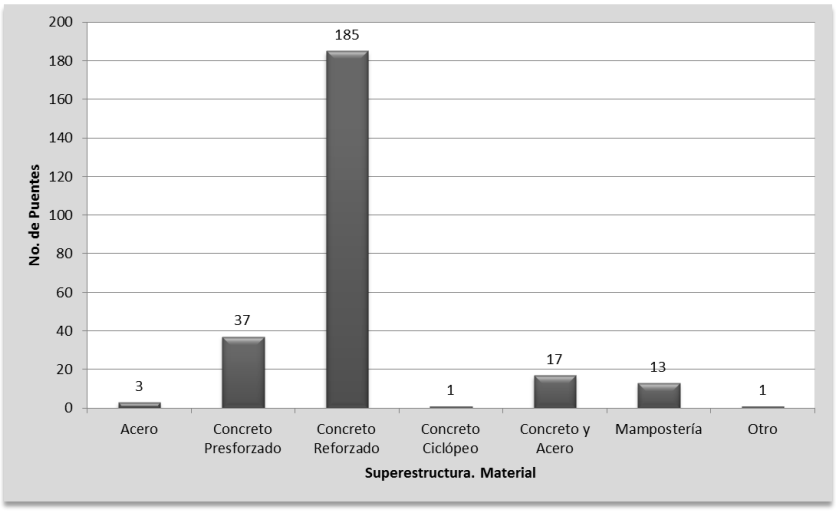


Figura 2. 60 Material de la superestructura de los puentes de Jalisco.

En la figura anterior se observa que tres puentes la superestructura es de acero, treinta y siete puentes son de concreto presforzado, ciento ochenta y cinco puentes son de concreto reforzado, un puente es de concreto ciclópeo, diecisiete puentes son de concreto y acero, trece puentes son de mampostería y un puente es de otro material.

Otra de las partes importantes de los puentes es la subestructura. En el caso de los puentes que tienen estribos, en la Figura 2. 61 se mencionan el tipo de estribos.

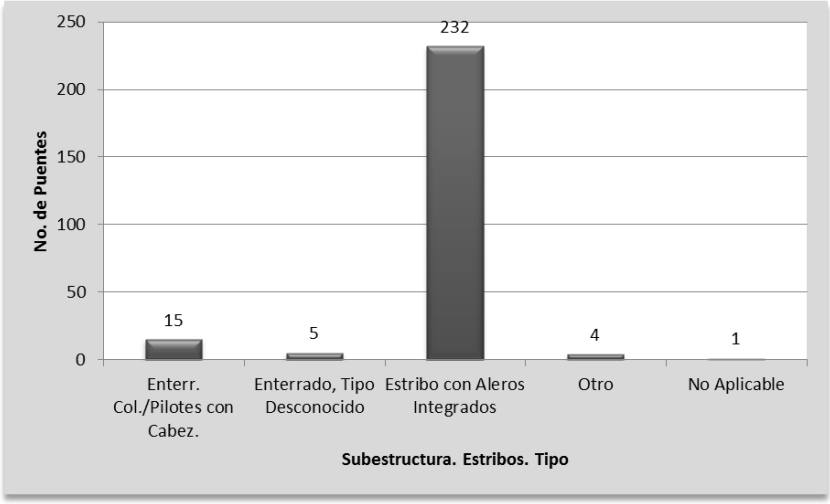


Figura 2. 61 Tipo de estribos de los puentes de Jalisco.

Se observa que quince puentes los estribos son enterrada la columna con pilotes con cabezal, cinco puentes los estribos son enterrados tipo desconocido, doscientos treinta y dos puentes están sobre estribos con aleros integrados, cuatro puentes tienen otro tipo de estribo y un puente no aplica el estribo como subestructura.

El material de los estribos se menciona en la Figura 2. 62.

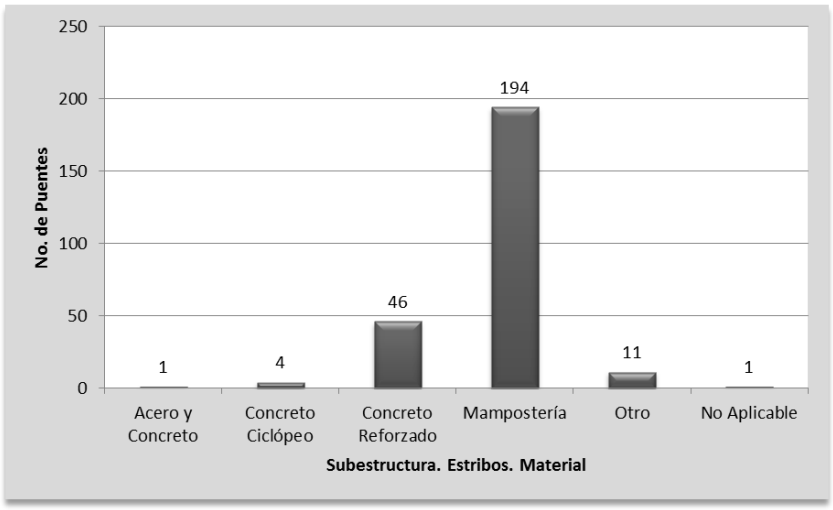


Figura 2. 62 Materiales de los estribos de los puentes de Jalisco.

Se observa que un puente el estribo es de acero y concreto, cuatro puentes son de concreto ciclópeo, cuarenta y seis puentes son de concreto reforzado, ciento noventa y cuatro puentes son de mampostería, once puentes son de otro material y un puente no presenta estribo como subestructura.

El tipo de cimentación de los estribos se menciona en la Figura 2. 63.

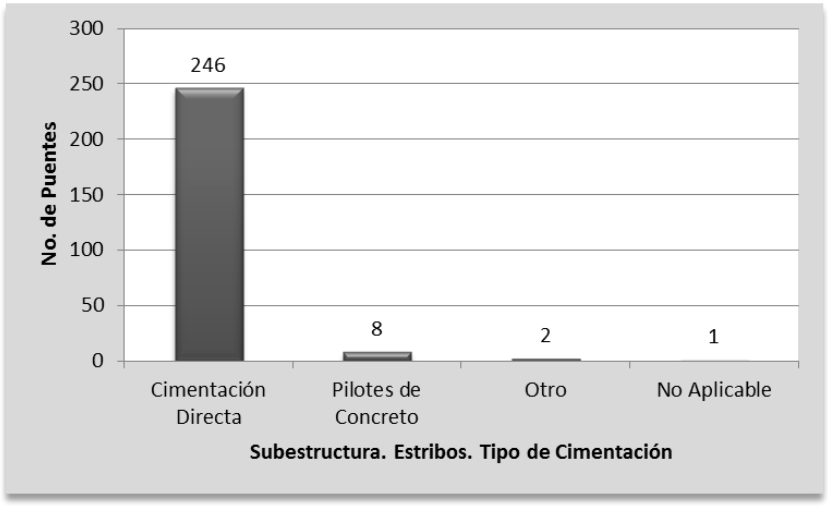


Figura 2. 63 Tipo de cimentación de los estribos de los puentes de Jalisco.

Se observa que doscientos cuarenta y seis puentes tienen una cimentación directa, ocho puentes tienen pilotes de concreto, dos puentes tienen otro tipo de cimentación y un puente no tiene estribos como subestructura.

En la subestructura donde aplican las pilas, el tipo de pilas se observa en la Figura 2. 64.

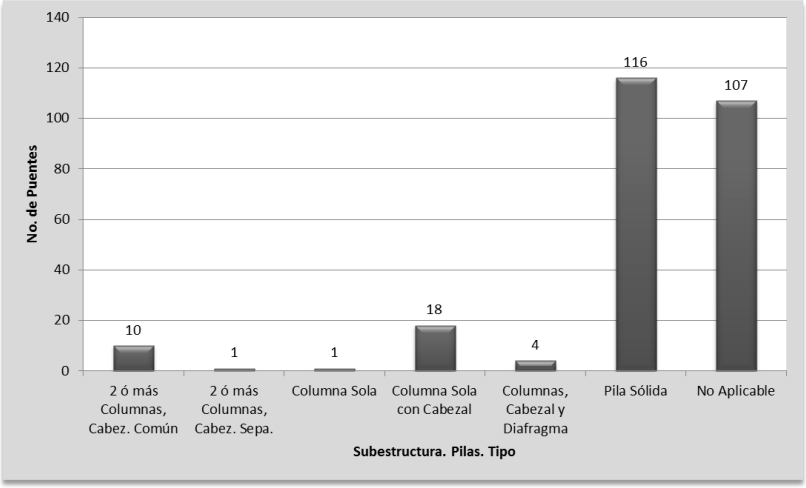


Figura 2. 64 Tipo de pilas de los puentes de Jalisco.

De acuerdo a lo anterior, diez puentes tienen 2 o más columnas con cabezal común, un puente es de 2 o más columnas con cabezal separado así como una columna sola, dieciocho puentes tienen columna sola con cabezal, cuatro puentes tienen columnas, cabezal y diafragma, ciento dieciséis puentes tienen pila sólida y ciento siete puentes no tienen pilas como subestructura.

El material de las pilas se menciona en la Figura 2. 65.

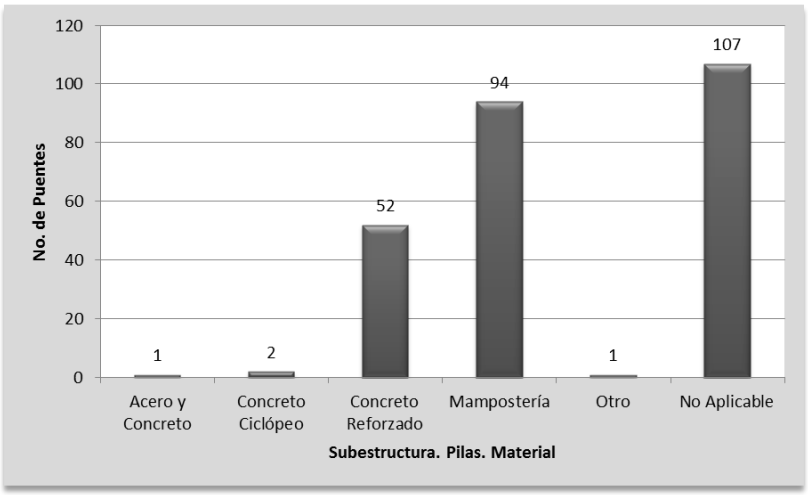


Figura 2. 65 Material de la pilas de los puentes de Jalisco.

Se observa que un puente es de acero y concreto, dos puentes son de concreto ciclópeo, cincuenta y dos puentes son de concreto reforzado, noventa y cuatro puentes son de mampostería, un puente es de otro material y ciento siete puentes no presentan pilas como subestructura.

El tipo de cimentación de las pilas se menciona en la Figura 2. 66.

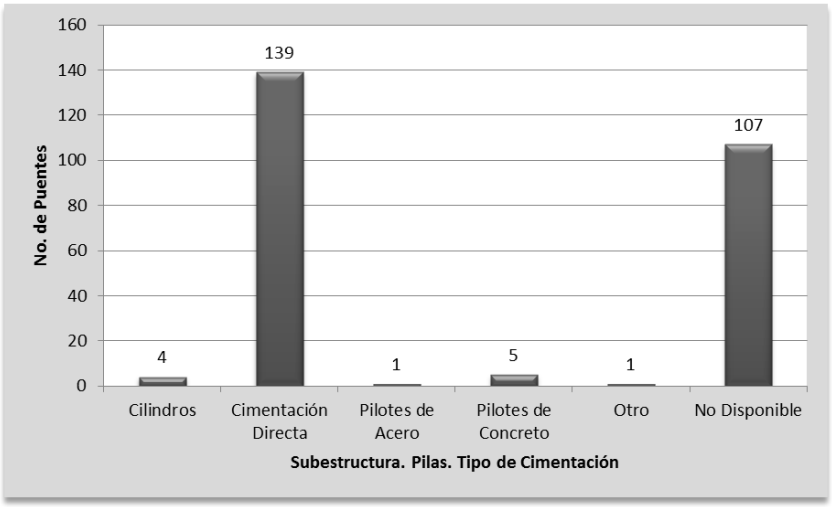


Figura 2. 66 Tipo de cimentación de la pilas de los puentes de Jalisco.

Se observa que cuatro puentes están sobre cilindros, ciento treinta y nueve puentes tienen una cimentación directa, un puente está sobre pilotes de acero, cinco puentes están

sobre pilotes de concreto, un puente está sobre otro tipo de cimentación y ciento siete puentes no tienen pilas como subestructura.

En el inventario de SIPUMEX, en el apartado de los detalles, se tomaron algunos parámetros. Uno de ellos es el tipo de superficie de desgaste como se observa en la Figura 2. 67.

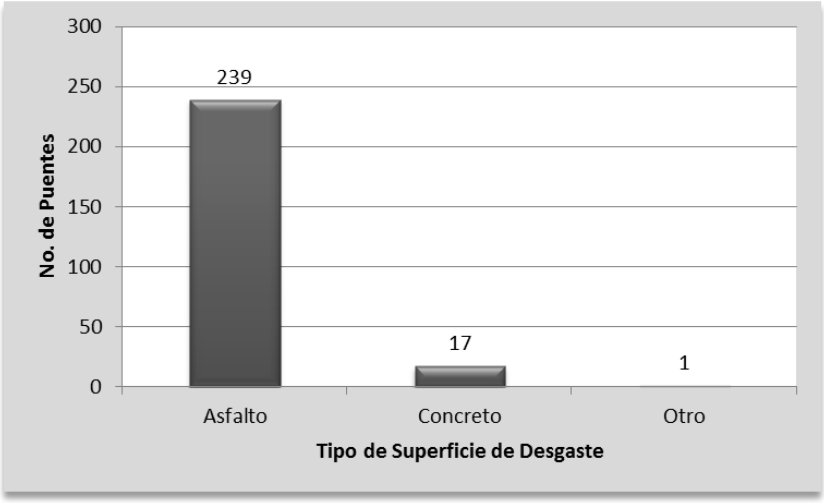


Figura 2. 67 Tipo de superficie de desgaste de los puentes de Jalisco.

Se observa que doscientos treinta y nueve puentes su superficie es de asfalto, diecisiete puentes la superficie es de concreto y un puente es de otro material.

Otro importante concepto es el tipo de apoyo fijo sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 68.

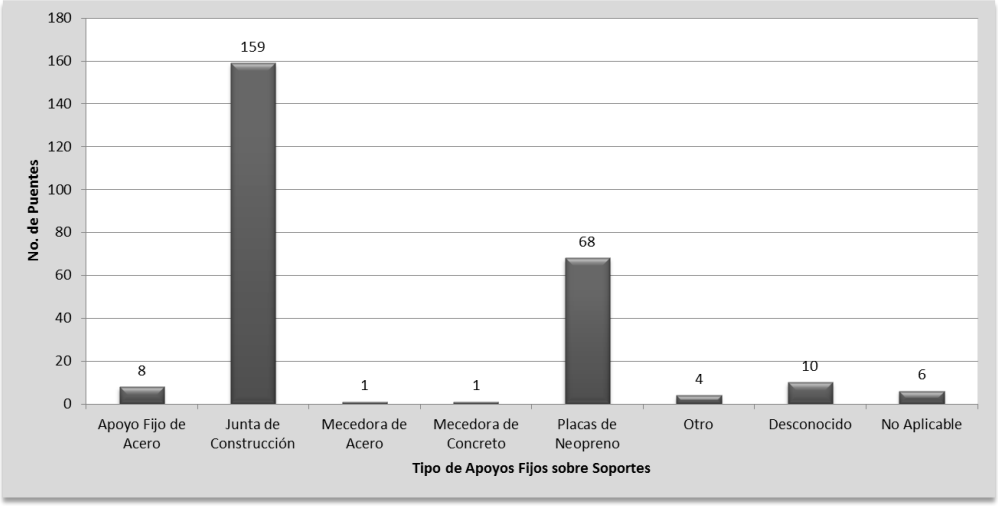


Figura 2. 68 Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes de Jalisco.

En base a lo anterior, ocho puentes tienen apoyo fijo de acero, ciento cincuenta y nueve puentes tienen junta de construcción, un puente tiene mecedora de acero y otro tiene mecedora de concreto, sesenta y ocho puentes tienen placas de neopreno, cuatro puentes tienen otro tipo de apoyo fijo, diez puentes se desconoce el tipo de apoyo fijo y seis puentes no aplican este tipo de apoyo.

En los puentes también se tienen apoyos móviles sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 69.

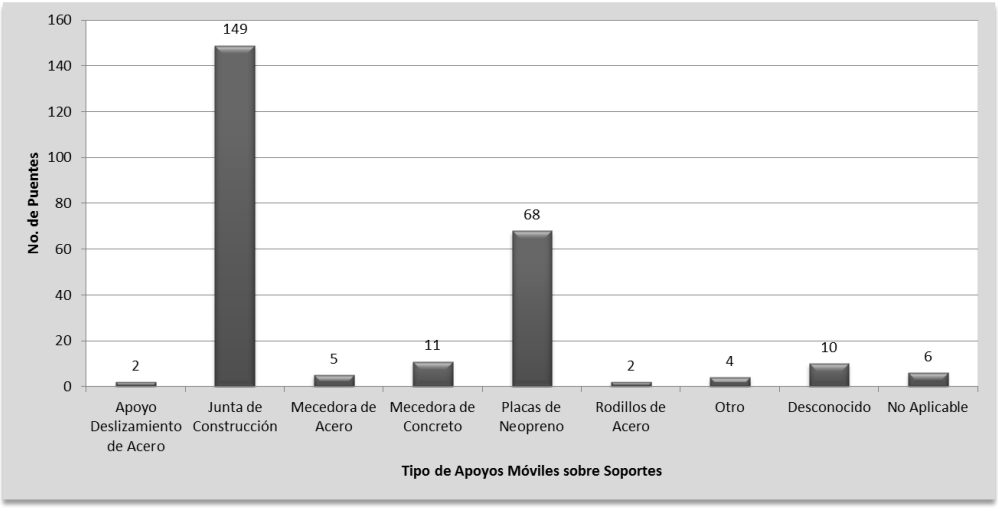


Figura 2. 69 Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes de Jalisco.

En la figura anterior se observa que dos puentes tienen apoyo deslizamiento de acero, ciento cuarenta y nueve puentes tienen junta de construcción, cinco puentes tienen mecedora de acero, once puentes tienen mecedora de concreto, sesenta y ocho puentes tienen placas de neopreno, dos puentes tienen rodillos de acero, cuatro puente tienen otro tipo de apoyo móvil, diez puentes se desconoce el tipo de apoyo móvil y seis puentes no aplican este tipo de apoyo.

Un dato muy importante en los puentes es la carga con la cual fueron diseñados los puentes, estas cargas se muestran en la Figura 2. 70.

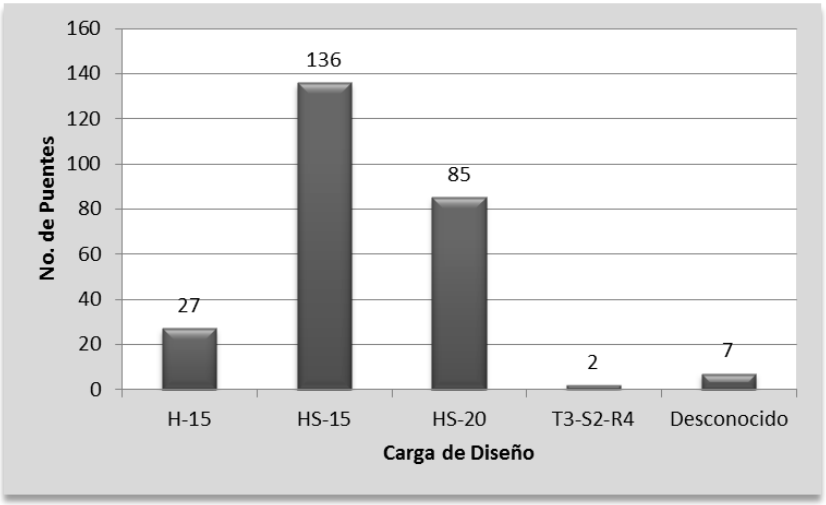


Figura 2. 70 Carga de diseño de los puentes de Jalisco.

Se observa que veintisiete puentes fueron diseñados con carga H-15, ciento treinta y seis puentes fueron diseñado para una carga HS-15, ochenta y cinco puentes fueron diseñados con una carga HS-20, dos puentes fueron diseñados para una carga T3-S2-R4 y siete puentes se desconoce la carga con la cual fueron diseñados.

Una de las funciones de los puentes es cruzar obstáculos. Estos obstáculos se mencionan en la Figura 2. 71.

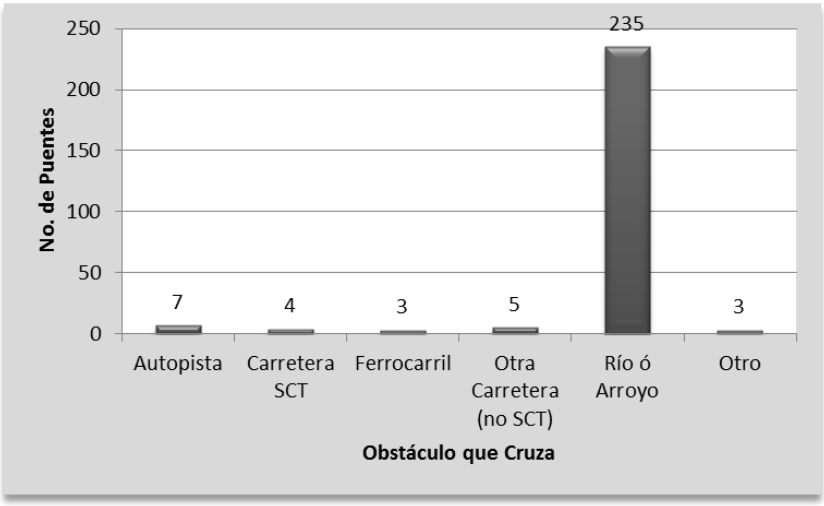


Figura 2. 71 Obstáculos que cruzan los puentes de Jalisco.

Se observa que siete puentes cruzan una autopista, cuatro puentes cruzan una carretera de la SCT, tres puentes cruzan una vía férrea, cinco puentes cruzan una carretera que no es de la SCT, doscientos treinta y cinco puentes cruzan un río o arroyo y tres puentes cruzan otro tipo de obstáculo.

Algunos de los propietarios de estos puentes se mencionan en la Figura 2. 72.

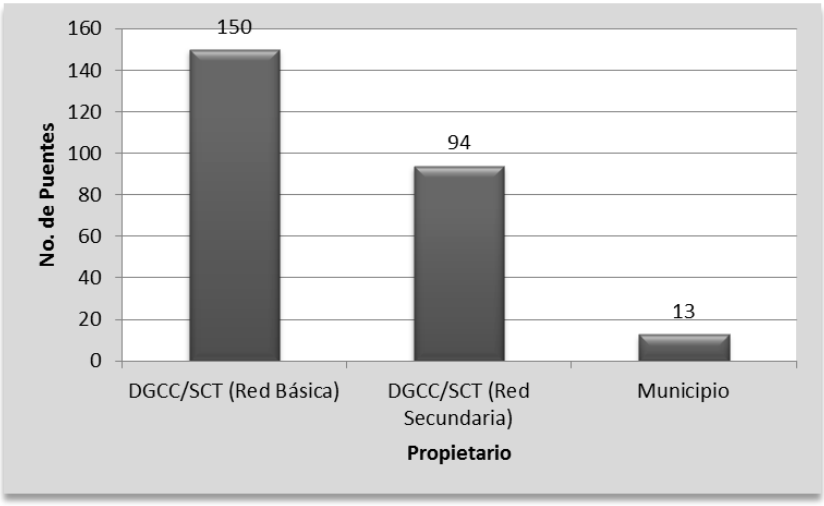


Figura 2. 72 Propietarios de los puentes de Jalisco.

En la figura anterior se observa que ciento cincuenta puentes están a cargo de la Dirección General de Conservación de Carreteras en lo que pertenece a la red básica,

noventa y cuatro puentes pertenecen a la red secundaria y trece puentes están a cargo del gobierno de algún municipio de Jalisco.

Como se mencionó en el capítulo anterior, es muy importante el Transito Promedio Diario Anual, por lo que estos puentes se ubican en sitios donde se presentan los siguiente TPDA de acuerdo a la Figura 2. 73.

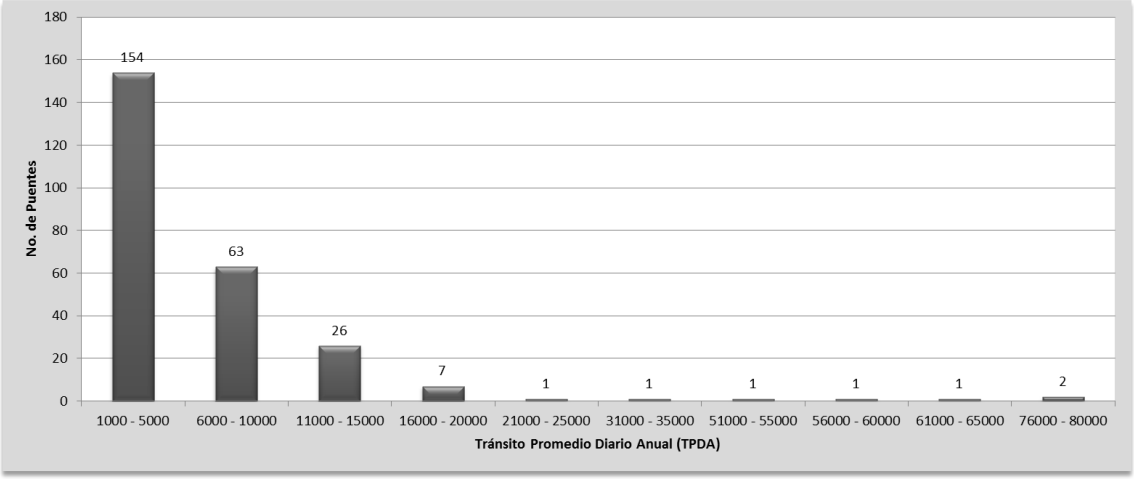


Figura 2. 73 TPDA registrado en los puentes de Jalisco.

Con lo anterior se observa que ciento cincuenta y cuatro puentes tienen un registro de un TPDA entre 1,000 y 5000, sesenta y tres puentes tienen un TPDA entre 6,000 y 10,000, veintiséis puentes tienen un TPDA entre 11,000 y 15,000, siete puentes tienen un TPDA entre 16,000 y 20,000, un puente tiene un TPDA entre 21,000 y 25,000, entre 31,000 y 35,000, entre 51,000 y 55,000, entre 56,000 y 60,000 y entre 61,000 y 65,000, respectivamente y dos puentes tienen un TPDA entre 76,000 y 80,000.

Una de las finalidades del inventario de SIPUMEX es conocer los daños que presentan los puentes en general. A continuación se muestra en la Figura 2. 74 la calificación de los puentes en general, de acuerdo a la Tabla 2. 3.

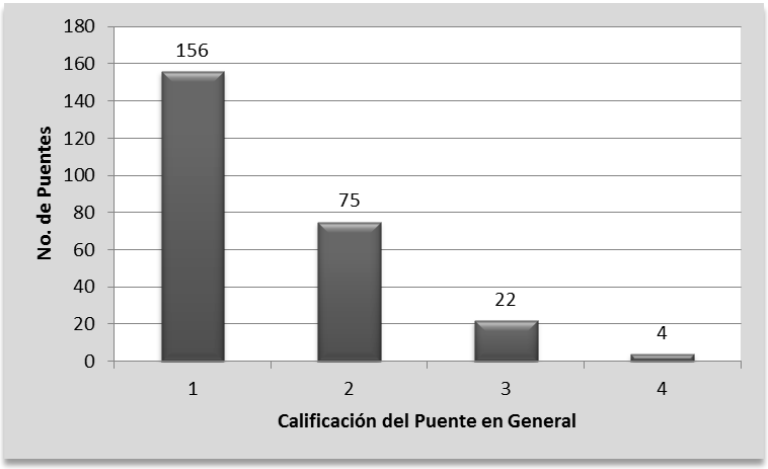


Figura 2. 74 Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes de Jalisco.

Se observa que en Jalisco, ciento cincuenta y seis puentes tienen una calificación de "1", setenta y cinco puentes tienen una calificación de "2", veintidós puentes tienen una calificación de "3" y cuatro puentes tienen una calificación de "4", de acuerdo con la calificación de SIPUMEX.

2.4.2 COLIMA

De acuerdo con el inventario (SIPUMEX, 2011), el Estado de Colima cuenta con noventa y seis puentes, de los cuales se dividen en puentes carreteros y puentes peatonales, como se muestra en la Figura 2. 75.

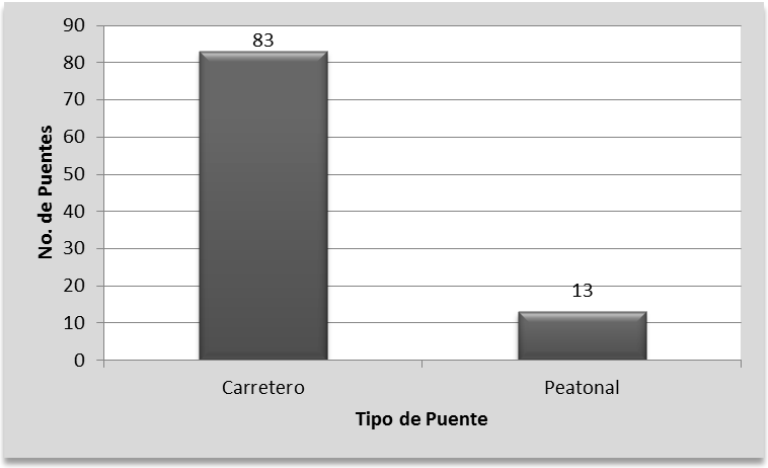


Figura 2. 75 Tipo de puentes de Colima

De acuerdo a lo anterior, se observa que de los noventa y seis puentes que se tienen registrados en el inventario, ochenta y tres puentes son carreteros y trece son puentes peatonales. En este caso, solo se estudiarán los puentes carreteros.

Los ochenta y tres puentes en estudio se ubican en diferentes rutas carreteras, como se muestra en la Figura 2. 76.

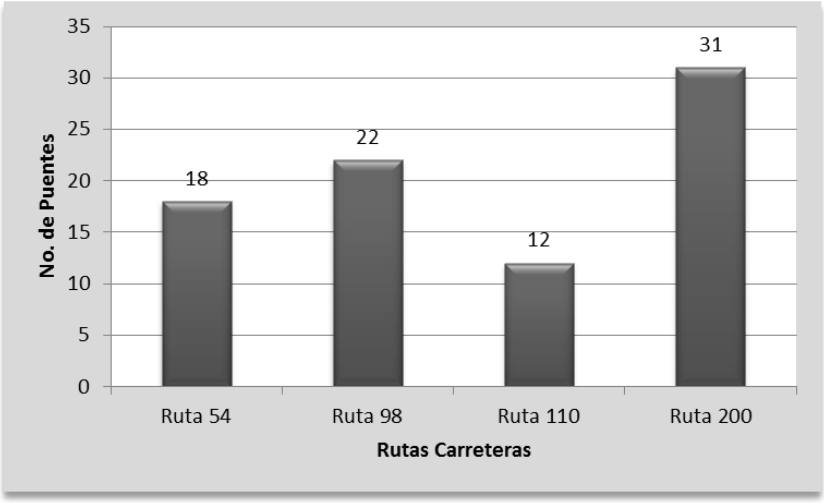


Figura 2. 76 Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras de Colima.

Se observa que dieciocho puentes se ubican sobre la ruta 54, veintidós puentes se ubican sobre la ruta 98, doce se ubican sobre la ruta 110 y treinta y un puentes se ubican sobre la ruta 200.

Una característica importante de estos puentes es el periodo de construcción, esto se observa en la Figura 2. 77.

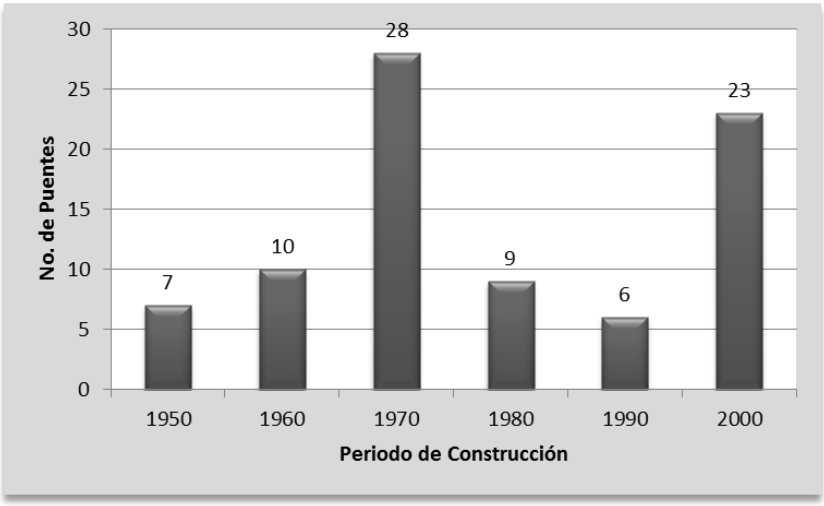


Figura 2. 77 Periodos de construcción de los puentes de Colima.

Se observa que siete puentes se construyeron en la década de los 50's, diez puentes se construyeron en la década de los 60's, veintiocho puentes se construyeron en la década de los años 70's, nueve puentes se construyeron en la década de los años 80's, seis puentes se construyeron en la década de los años 90's y veintitrés puentes se construyeron la década del 2000.

Algunos de los puentes en estudio han sido reconstruidos, esto se observa en la Figura 2. 78.

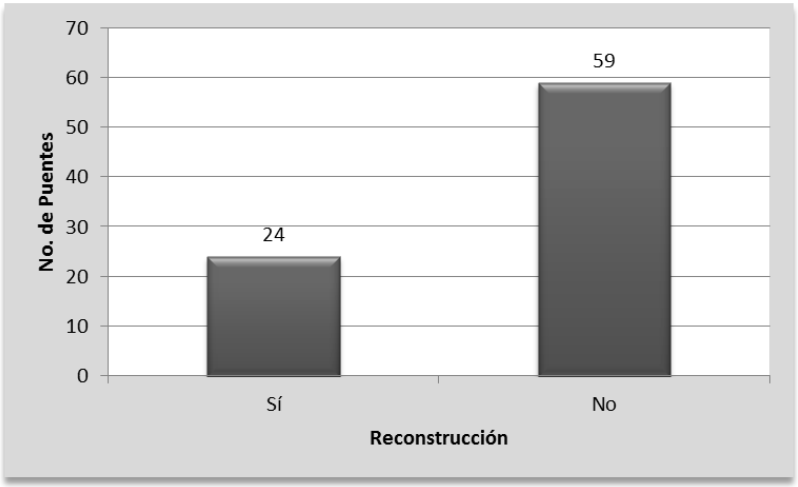


Figura 2. 78 Puentes reconstruidos de Colima.

Se observa que veinticuatro puentes ya han sido reconstruidos y cincuenta y nueve puentes no han requerido de su reconstrucción.

Otra característica importante es el tipo de paso, como se observa en la Figura 2. 79.

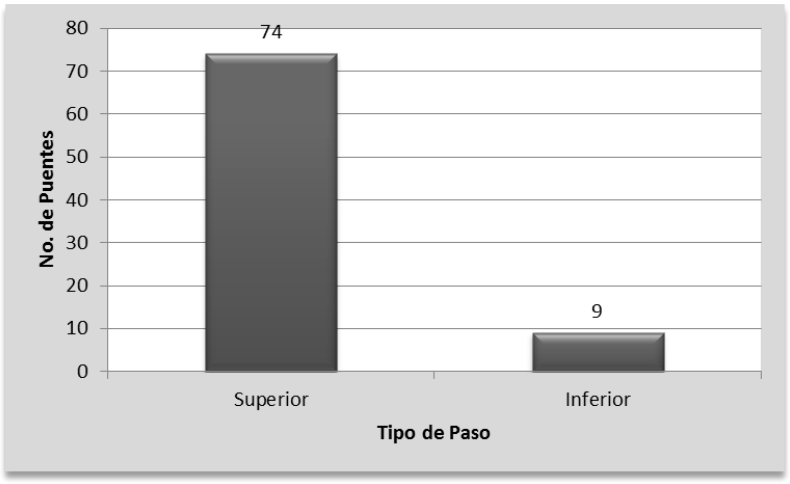


Figura 2. 79 Tipo de paso de los puentes de Colima.

En la figura anterior se observa que setenta y cuatro puentes son pasos superiores y nueve puentes son pasos inferiores.

Dentro de la geometría de los puentes, se tiene el número de claros que tienen los puentes en estudio, como se observa en la Figura 2. 80.

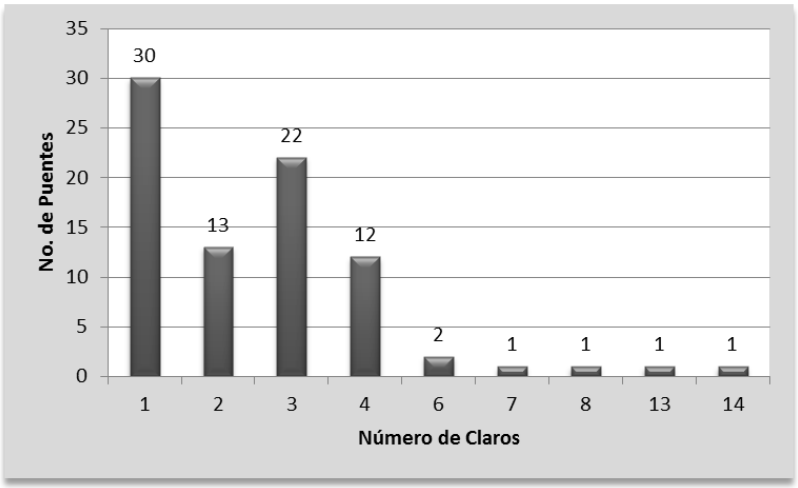


Figura 2. 80 Número de claros de los puentes de Colima.

De acuerdo a la figura, treinta puentes son de un claro, trece puentes son de dos claros, veintidós puentes son de tres claros, doce puentes son de cuatro claros, dos puentes son de seis claros y un puente es de siete, ocho, trece y catorce claros.

En el inventario de puentes, se mencionan las longitudes mínima y máxima de claro, como se observa en la Figura 2. 81 y Figura 2. 82.

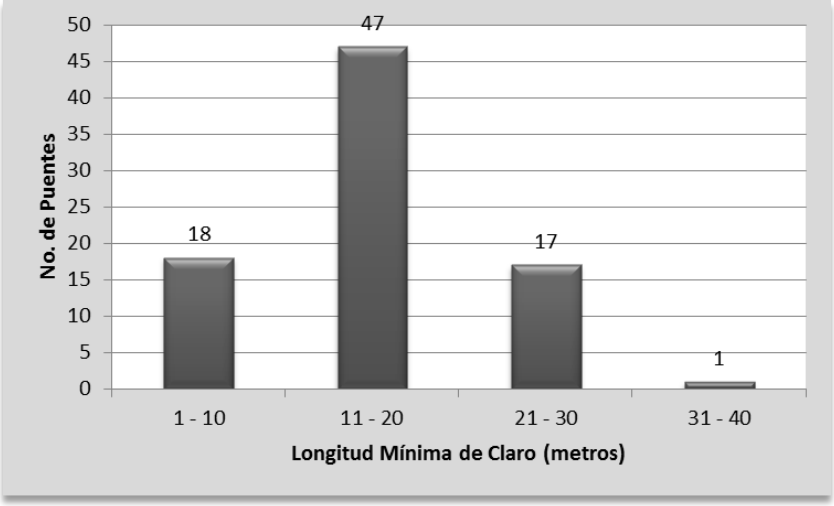


Figura 2. 81 Longitud mínima de claro de los puentes de Colima.

Se observa que dieciocho puentes tienen la longitud mínima de claro entre 1 y 10 metros, cuarenta y siete puentes tienen la longitud mínima de claro entre 11 y 20 metros, diecisiete puentes tienen una longitud mínima entre 21 y 30 metros y un puente tiene una longitud mínima de claro entre 31 y 40 metros.

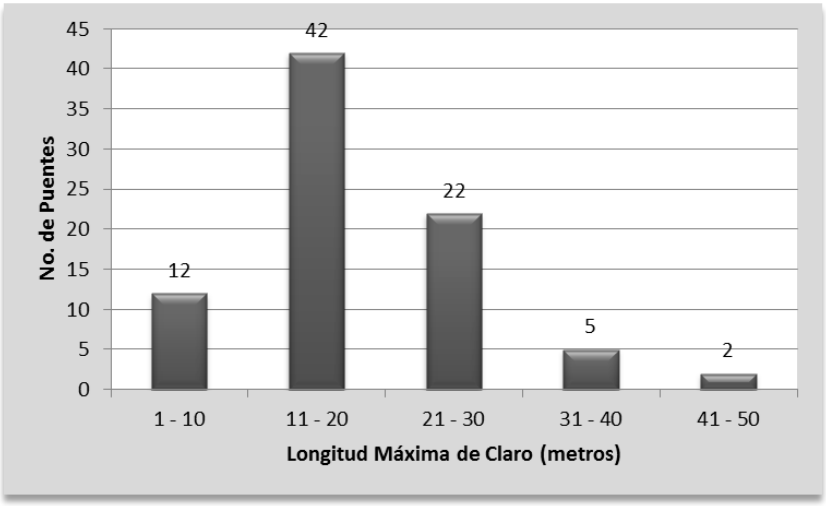


Figura 2. 82 Longitud máxima de claro de los puentes de Colima.

Se observa que doce puentes tienen la longitud máxima de claro entre 1 y 10 metros, cuarenta y dos puentes tienen la longitud máxima de claro entre 11 y 20 metros, veintidós puentes tienen una longitud máxima entre 21 y 30 metros, cinco puentes tienen una longitud máxima entre 31 y 40 metros y dos puentes tienen una longitud máxima entre 41 y 50 metros.

Una de las características de la geometría de los puentes es la longitud total de los puentes, que se mencionan en la Figura 2. 83.

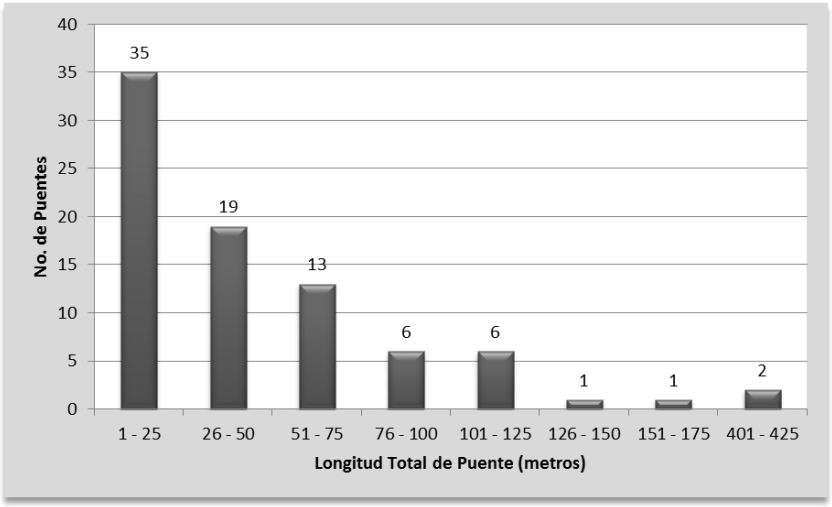


Figura 2. 83 Longitud total de puentes de Colima.

Se observa que treinta y cinco puentes tienen una longitud total entre 1 y 25 metros, diecinueve puentes tienen una longitud total entre 26 y 50 metros, trece puentes tienen una longitud total entre 51 y 75 metros, seis puentes tienen una longitud total entre 76 y 100 metros y entre 101 y 125 metros, un puente tienen una longitud total entre 126 y 150 metros y entre 151 y 175 metros y dos puentes tienen una longitud total entre 401 y 425 metros.

Otra característica que se requiere de los puentes es el ancho total del puente, los cuales se observan en la Figura 2. 84.

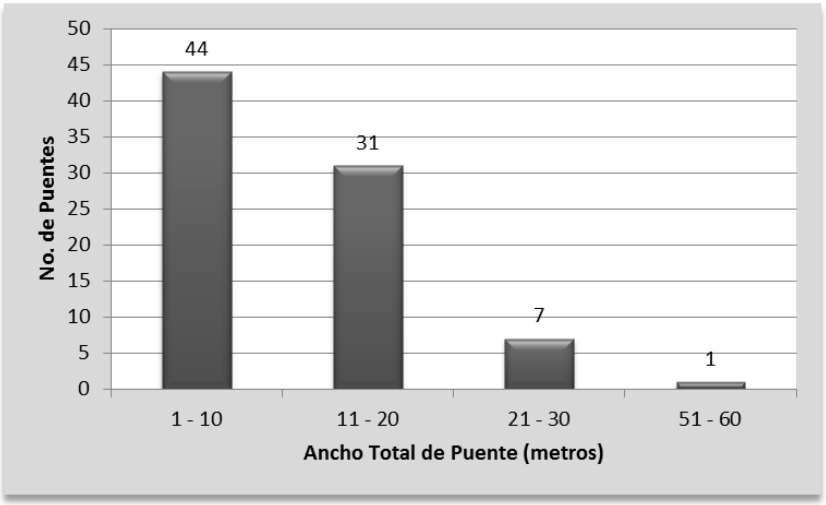


Figura 2. 84 Ancho total de los puentes de Colima.

De la figura anterior, se observa que cuarenta y cuatro puentes tienen un ancho total entre 1 y 10 metros, treinta y un puentes tienen un ancho total entre 11 y 20 metros, siete puentes tienen un ancho total entre 21 y 30 metros y un puente tiene un ancho total de puente entre 51 y 60 metros.

Algunos puentes se encuentran en curva, estos se pueden observar en la Figura 2. 85.

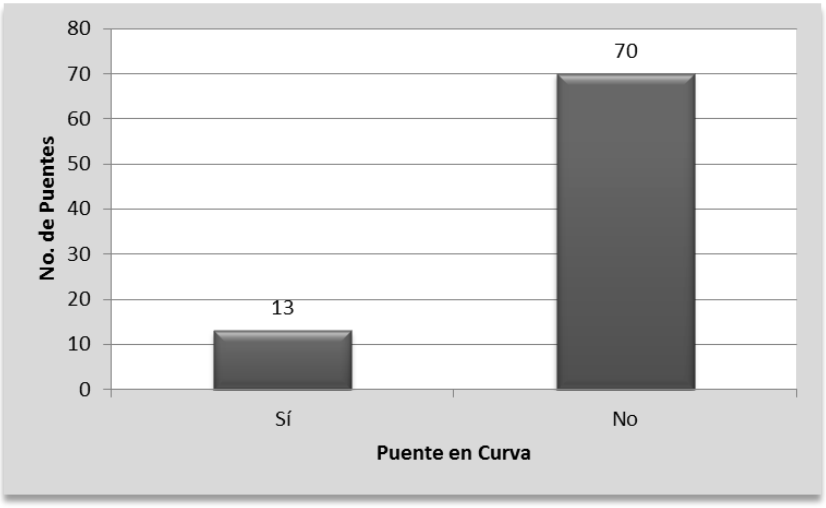


Figura 2. 85 Puentes en curva de Colima.

Se observa que trece puentes se encuentran en curva, mientras que setenta puentes no están en curva.

Por el trazo que tienen algunas carreteras, es necesario que algunos de los puentes se encuentren esviajados, como se observa en la Figura 2. 86.

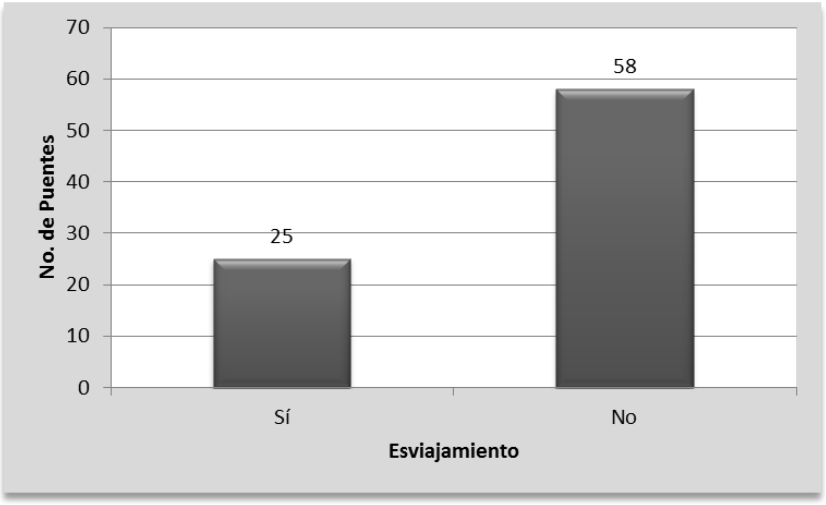


Figura 2. 86 Puentes esviajados de Colima.

De lo anterior, veinticinco puentes tienen esviajamiento y cincuenta y ocho puentes no presentan esviajamiento. De los veinticinco puentes que presentan esviajamiento, en la Figura 2. 87 se muestra el grado de esviajamiento que tienen.

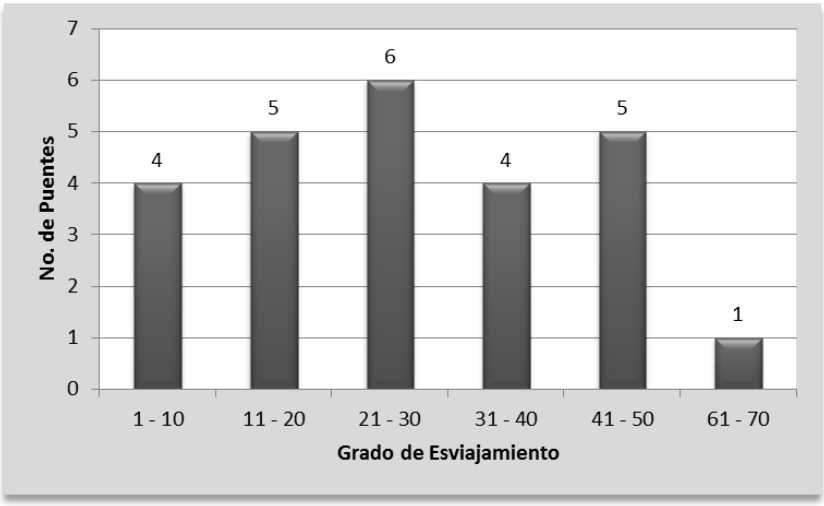


Figura 2. 87 Grado de esviajamiento de los puentes de Colima.

De la figura anterior, cuatro puentes presentan un esviajamiento de 1 a 10 grados, cinco puentes tienen un esviajamiento entre 11 y 20 grados, seis puentes tienen un esviajamiento entre 21 y 30 grados, cuatro puentes tienen un esviajamiento entre 31 y 40 metros, cinco puentes tienen un esviajamiento entre 41 y 50 metros y un puente tiene un esviajamiento entre 61 y 70 grados.

La superestructura de los puentes es una de las partes importantes de estas estructuras. En el inventario de puentes, se mencionan tres características de este elemento, una de ellas es el diseño de la sección transversal, como se observa en la Figura 2. 88.

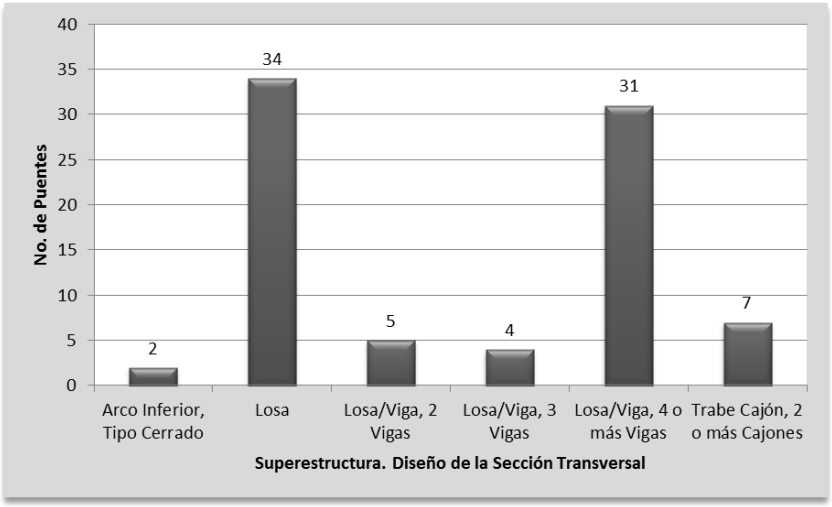


Figura 2. 88 Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes de Colima.

En la figura anterior se observa que dos puentes son en forma de arco inferior tipo cerrado, treinta y cuatro puentes tienen losa, cinco puentes son con losa y 2 vigas, cuatro puentes son con losa y 3 vigas, treinta y un puentes son con losa y 4 o más vigas y siete puentes son con 2 o más trabes cajón.

El diseño de la elevación de la superestructura se observa en la Figura 2. 89.

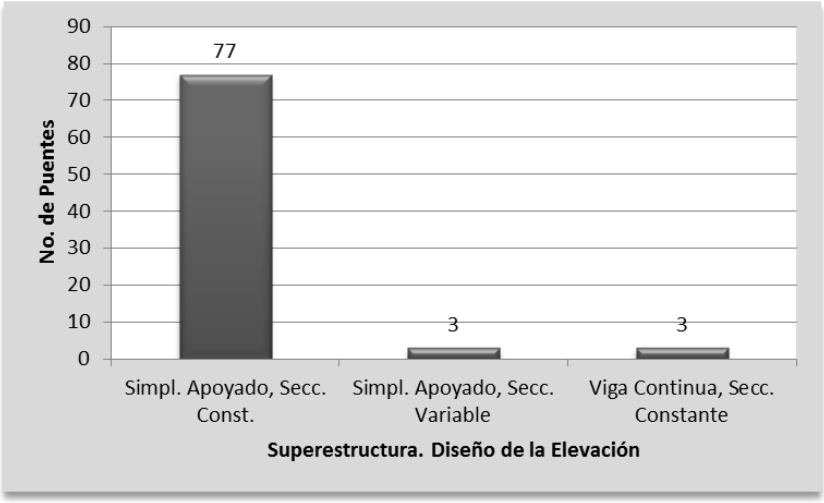


Figura 2. 89 Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes de Colima.

Se observa que setenta y siete puentes están simplemente apoyados con sección constante, tres puentes están simplemente apoyados con sección variable y tres puentes están sobre una viga continua con sección constante.

El material con el cual fueron construidos la superestructura de los puentes se menciona en la Figura 2. 90.

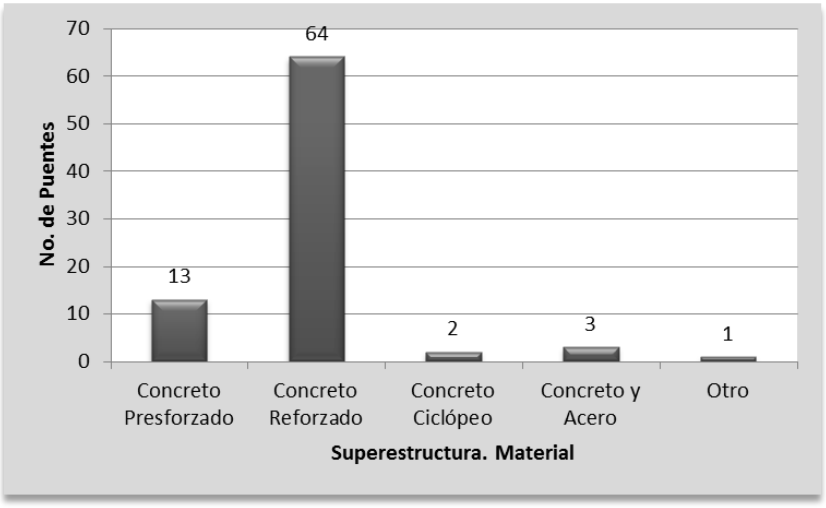


Figura 2. 90 Materiales de la superestructura de los puentes de Colima.

En la figura anterior se observa que trece puentes son de concreto presforzado, sesenta y cuatro puentes son de concreto reforzado, dos puentes son de concreto ciclópeo, tres puentes son de concreto y acero y un puente es de otro material.

Otra de las partes importantes de los puentes es la subestructura. En el caso de los puentes que tienen estribos, en la Figura 2. 91 se mencionan el tipo de estribos.

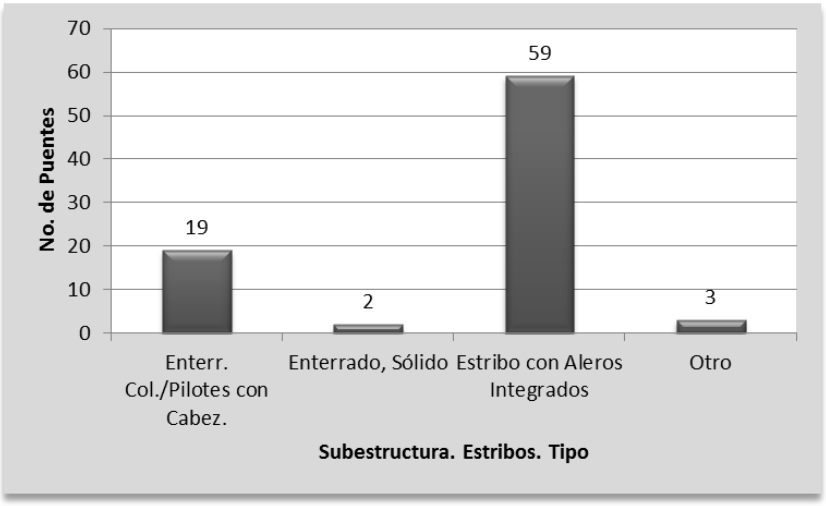


Figura 2. 91 Tipo de estribos de los puentes de Colima.

Se observa que diecinueve puentes los estribos son enterrada la columna con pilotes con cabezal, dos puentes los estribos son enterrados sólidos, cincuenta y nueve puentes están sobre estribos con aleros integrados y tres puentes tienen otro tipo de estribo.

El material de los estribos se menciona en la Figura 2. 92.

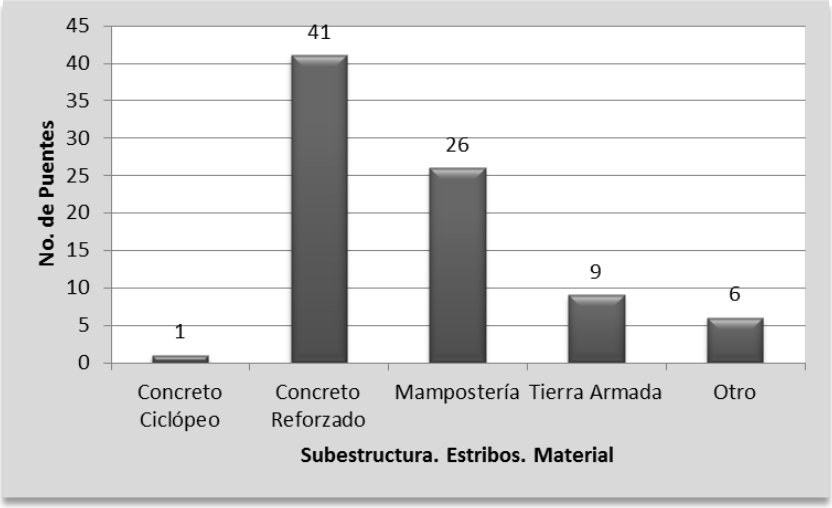


Figura 2. 92 Materiales de los estribos de los puentes de Colima.

Se observa que un puente el estribo es de concreto ciclópeo, cuarenta y un puentes son de concreto reforzado, veintiséis puentes son de mampostería, nueve son de tierra armada y seis puentes son de otro material.

El tipo de cimentación de los estribos se menciona en la Figura 2. 93.

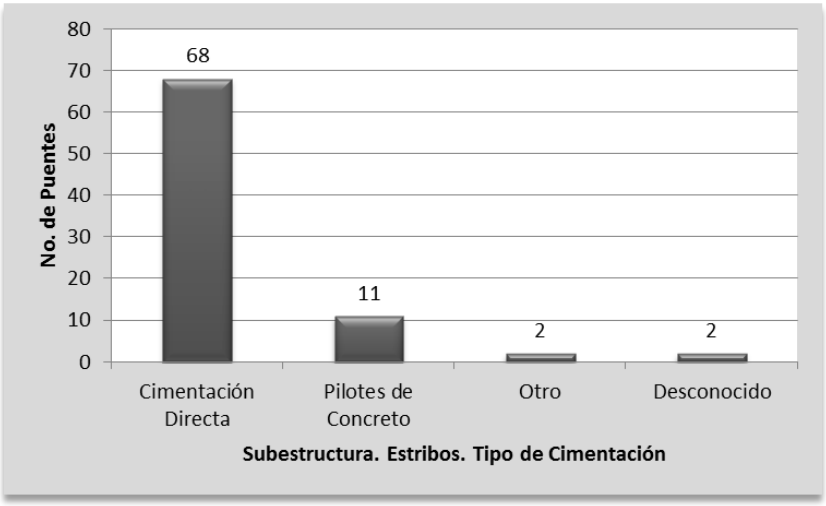


Figura 2. 93 Tipo de cimentación de los estribos de los puentes de Colima.

Se observa que sesenta y ocho puentes tienen una cimentación directa, once puentes tienen pilotes de concreto, dos puentes tienen otro tipo de cimentación y dos puentes se desconoce el tipo de cimentación.

En la subestructura donde aplican las pilas, el tipo pilas se observa en la Figura 2. 94.

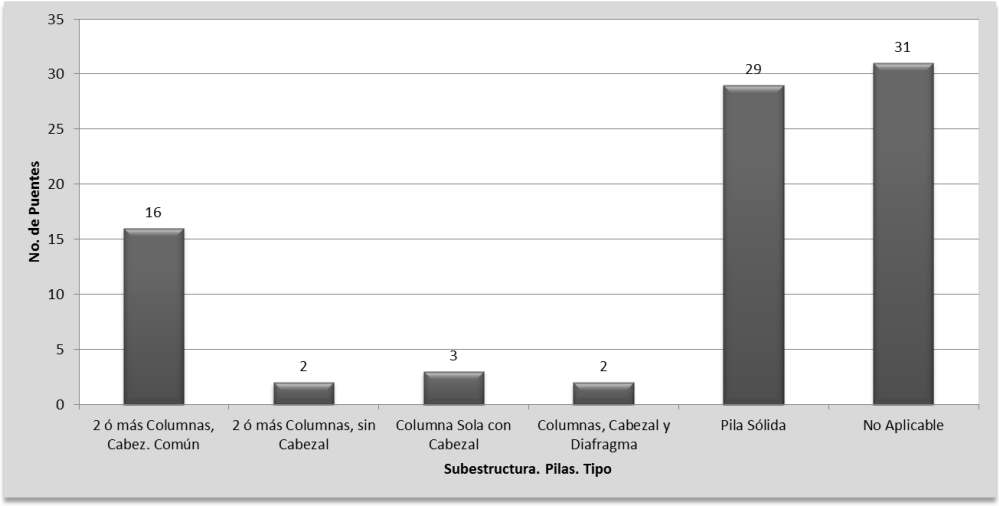


Figura 2. 94 Tipo de pilas de los puentes de Colima.

De acuerdo a lo anterior, dieciséis puentes tienen 2 o más columnas con cabezal común, dos puente es de 2 o más columnas sin cabezal, tres puentes tienen columna sola

con cabezal, dos puentes tienen columnas, cabezal y diafragma, veintinueve puentes tienen pila sólida y treinta y un puentes no tienen pilas como subestructura.

El material de las pilas se menciona en la Figura 2. 95.

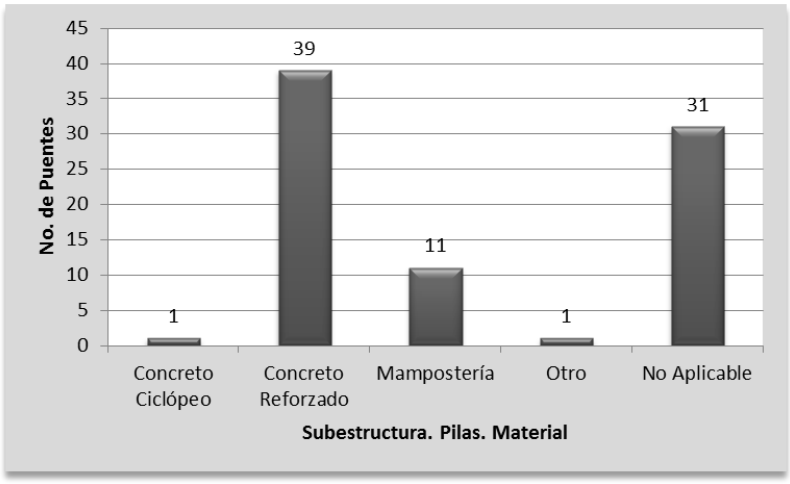


Figura 2. 95 Material de las pilas de los puentes de Colima.

Se observa que un puente es de concreto ciclópeo, treinta y nueve puentes son de concreto reforzado, once puentes son de mampostería, un puente es de otro material y treinta y un puentes no presentan pilas como subestructura.

El tipo de cimentación de las pilas se menciona en la Figura 2. 96.

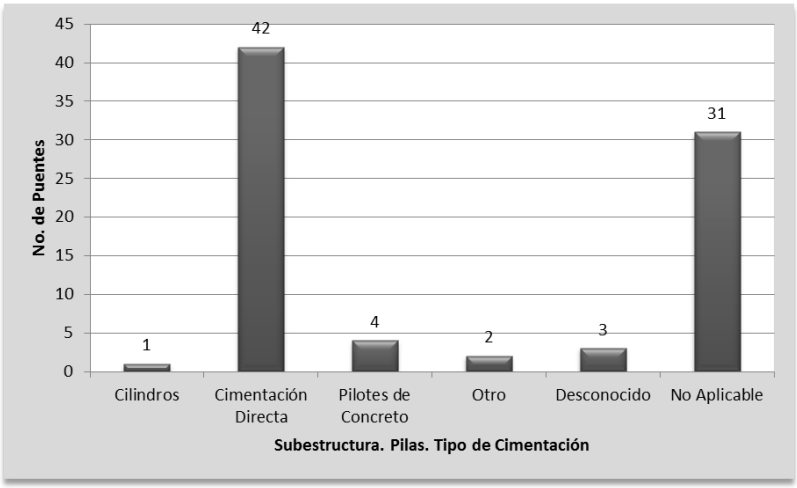


Figura 2. 96 Tipo de cimentación de las pilas de los puentes de Colima.

Se observa que un puente está sobre cilindros, cuarenta y dos puentes tienen una cimentación directa, cuatro puentes están sobre pilotes de concreto, dos puentes están sobre otro tipo de cimentación, tres puentes se desconoce el tipo de cimentación y treinta y un puentes no tienen pilas como subestructura.

En el inventario de SIPUMEX, en el apartado de los detalles, se tomaron algunos parámetros. Uno de ellos es el tipo de superficie de desgaste como se observa en la Figura 2. 97.

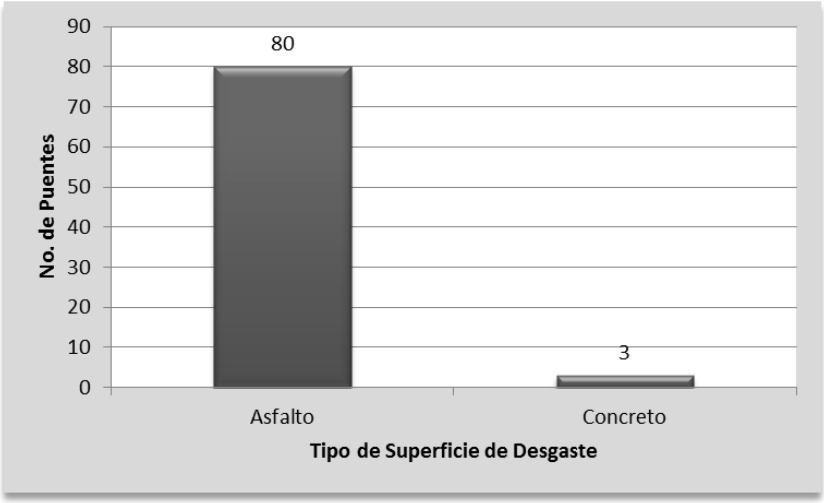


Figura 2. 97 Tipo de superficie de desgaste de los puentes de Colima.

Se observa que ochenta puentes su superficie es de asfalto y tres puentes la superficie es de concreto.

Otro importante concepto es el tipo de apoyo fijo sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 98.

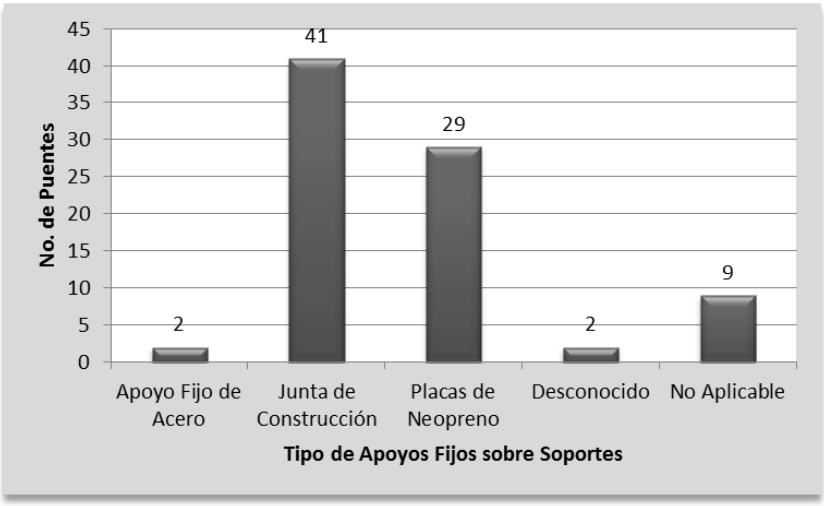


Figura 2. 98 Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes de Colima.

En base a lo anterior, dos puentes tienen apoyo fijo de acero, cuarenta y uno puentes tienen junta de construcción, veintinueve puentes tienen placas de neopreno, dos puentes se desconoce el tipo de apoyo fijo y nueve puentes no aplican este tipo de apoyo.

En los puentes también se tienen apoyos móviles sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 99.

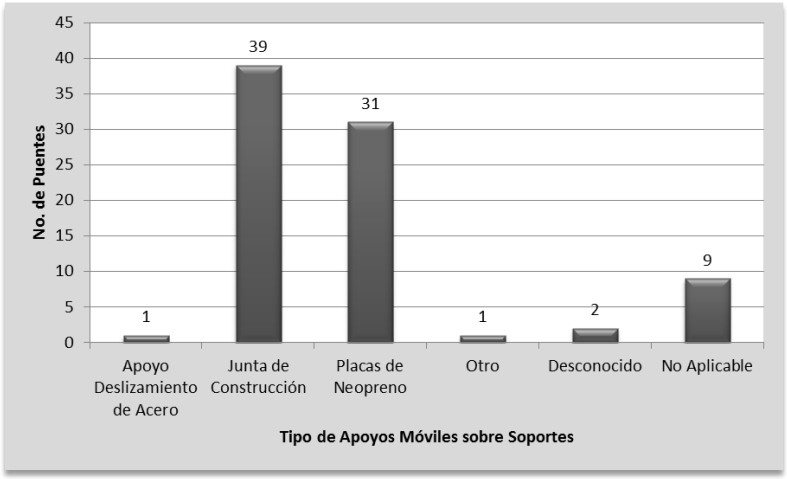


Figura 2. 99 Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes de Colima.

En la figura anterior se observa que un puente tiene apoyo deslizamiento de acero, treinta y nueve puentes tienen junta de construcción, treinta y un puentes tienen placas de

neopreno, un puente tiene otro tipo de apoyo móvil, dos puentes se desconoce el tipo de apoyo móvil y nueve puentes no aplican este tipo de apoyo.

Un dato muy importante en los puentes es la carga con la cual fueron diseñados los puentes, estas cargas se muestran en la Figura 2. 100.

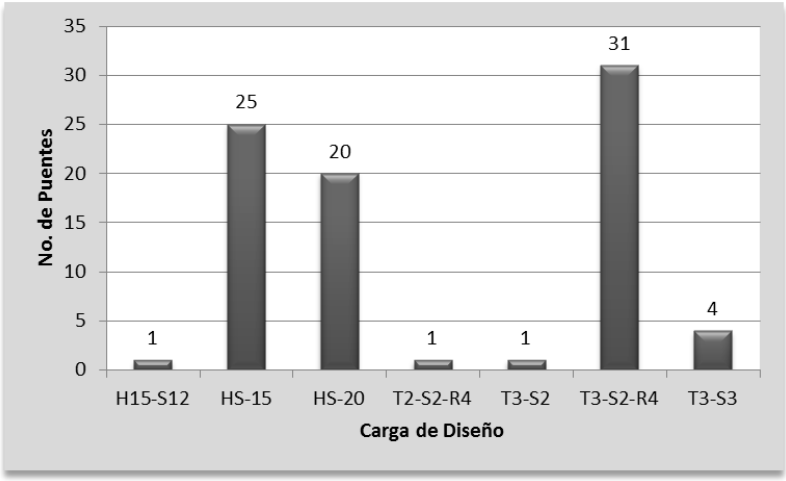


Figura 2. 100 Carga de diseño de los puentes de Colima.

Se observa que un puente fue diseñado con carga H15-S12, veinticinco puentes fueron diseñado para una carga HS-15, veinte puentes fueron diseñados con una carga HS-20, un puente fue diseñado para una carga T2-S2-R4 y T3-S2, treinta y uno puentes fueron diseñados para una carga T3-S2-R4 y cuatro puentes fueron diseñados para una carga T3-S3.

Una de las funciones de los puentes es cruzar obstáculos. Estos obstáculos se mencionan en la Figura 2. 101.

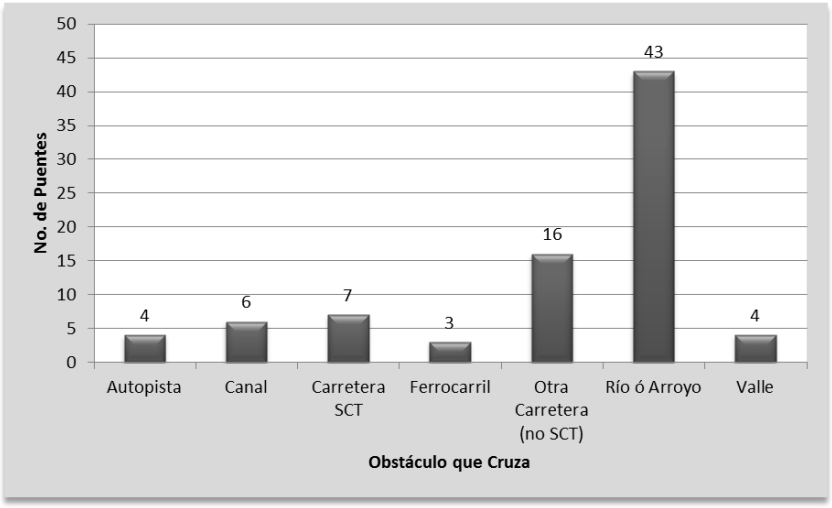


Figura 2. 101 Obstáculos que cruzan los puentes de Colima.

Se observa que cuatro puentes cruzan una autopista, seis puentes cruzan un canal, siete puentes cruzan una carretera de la SCT, tres puentes cruzan una vía férrea, dieciséis puentes cruzan una carretera que no es de la SCT, cuarenta y tres puentes cruzan un río o arroyo y cuatro puentes cruzan un valle.

Algunos de los propietarios de estos puentes se mencionan en la Figura 2. 102.

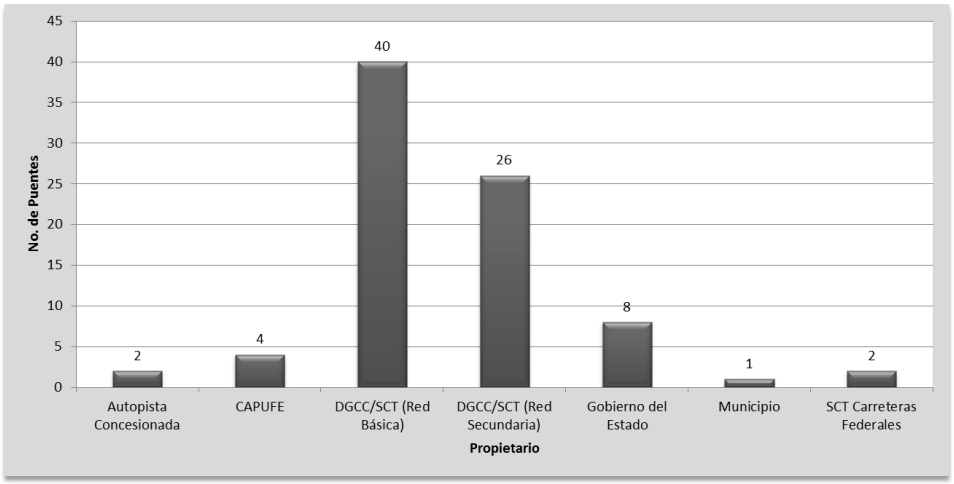


Figura 2. 102 Propietarios de los puentes de Colima.

En la figura anterior se observa que dos puentes están a cargo una autopista concesionada, cuatro puentes están a cargo de CAPUFE, cuarenta puentes están a cargo de la Dirección General de Conservación de Carreteras en lo que pertenece a la red básica,

veintiséis puentes pertenecen a la red secundaria, ocho puentes están a cargo el gobierno estatal, un puente está a cargo del gobierno de algún municipio de Colima y dos puentes están a cargo de SCT carreteras federales.

Como se mencionó en el capítulo anterior, es muy importante el Transito Promedio Diario Anual, por lo que estos puentes se ubican en sitios donde se presentan los siguiente TPDA de acuerdo a la Figura 2. 103.

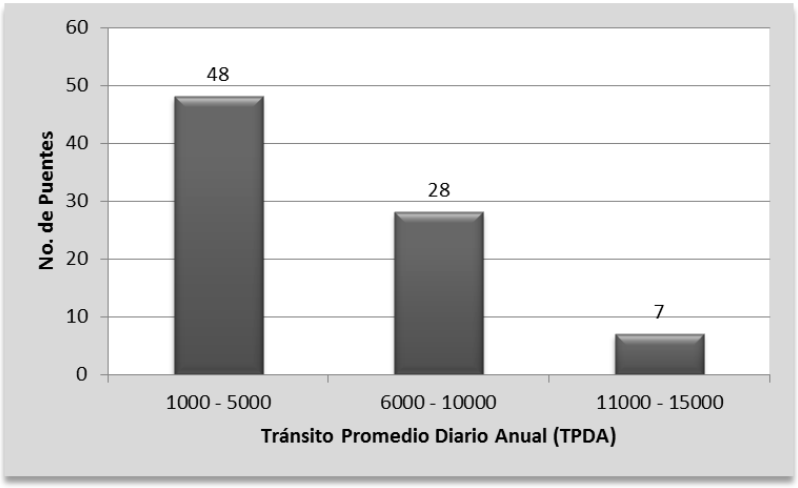


Figura 2. 103 TPDA registrado en los puentes de Colima.

Con lo anterior se observa que cuarenta y ocho puentes tienen un registro de un TPDA entre 1,000 y 5,000, veintiocho puentes tienen un TPDA entre 6,000 y 10,000 y siete puentes tienen un TPDA entre 11,000 y 15,000.

Una de las finalidades del inventario de SIPUMEX es conocer los daños que presentan los puentes en general. A continuación se muestra en la Figura 2. 104 la calificación de los puentes en general, de acuerdo a la Tabla 2. 3.

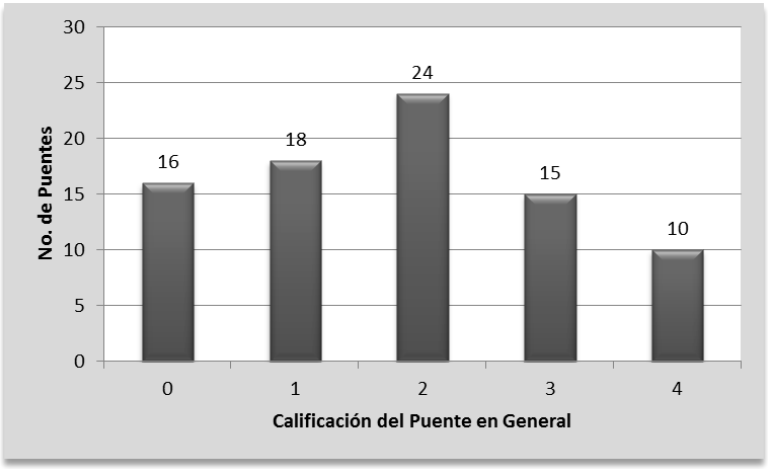


Figura 2. 104 Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes de Colima.

Se observa que en Colima, dieciséis puentes tienen una calificación de "0", dieciocho puentes tienen una calificación de "1", veinticuatro puentes tienen una calificación de "2", quince puentes tienen una calificación de "3" y diez puentes tienen una calificación de "4", de acuerdo con la calificación de SIPUMEX.

2.4.3 MICHOACÁN

De acuerdo con el inventario (SIPUMEX, 2011), el Estado de Michoacán cuenta con quinientos once puentes, de los cuales se dividen en puentes carreteros y puentes peatonales, como se muestra en la Figura 2. 105.

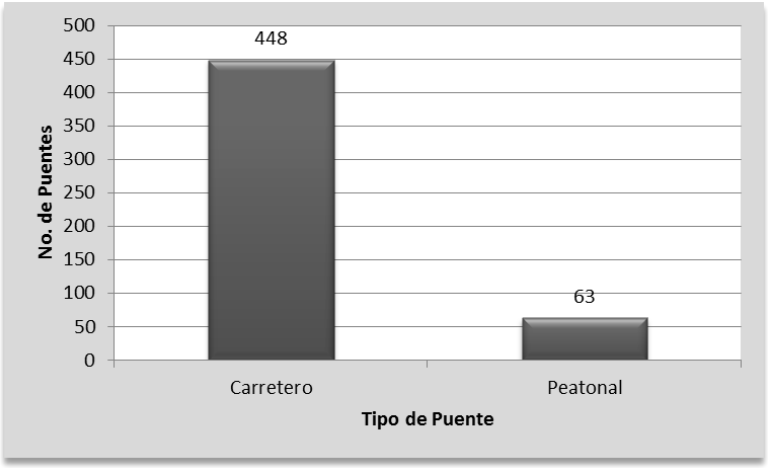


Figura 2. 105 Tipo de puentes de Michoacán.

De acuerdo a lo anterior, se observa que de los quinientos once puentes que se tienen registrados en el inventario, cuatrocientos cuarenta y ocho puentes son carreteros y sesenta y tres son puentes peatonales. En este caso, solo se estudiarán los puentes carreteros.

Los cuatrocientos cuarenta y ocho puentes en estudio se ubican en diferentes rutas carreteras, como se muestra en la Figura 2. 106.

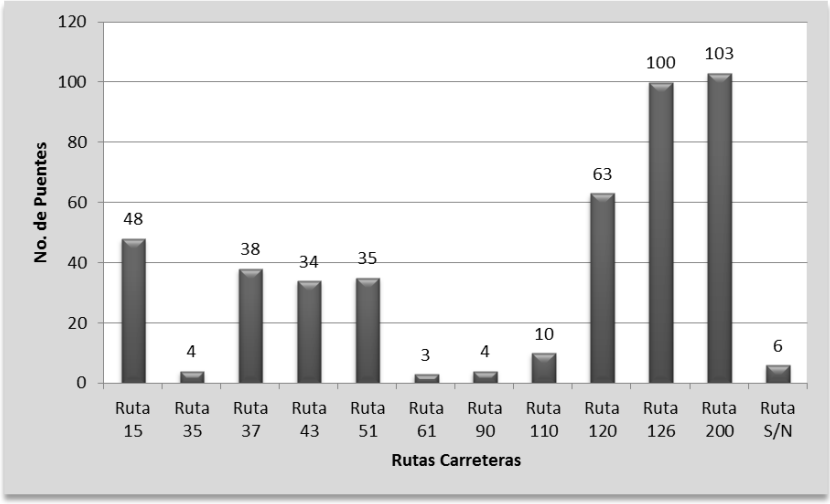


Figura 2. 106 Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras de Michoacán.

Se observa que cuarenta y ocho puentes se ubican sobre la ruta 15, cuatro puentes se ubican sobre la ruta 35, treinta y ocho se ubican sobre la ruta 37, treinta y cuatro se ubican sobre la ruta 43, treinta y cinco se ubican sobre la ruta 51, tres puentes se ubican sobre la ruta 61, cuatro puentes se ubican sobre la ruta 90, diez se ubican sobre la ruta 110, sesenta y tres se ubican sobre la ruta 120, cien puentes se ubican sobre la ruta 126, ciento tres puentes se ubican sobre la ruta 200 y seis puentes se ubican sobre una ruta sin número.

Una característica importante de estos puentes es el periodo de construcción, esto se observa en la Figura 2. 107.

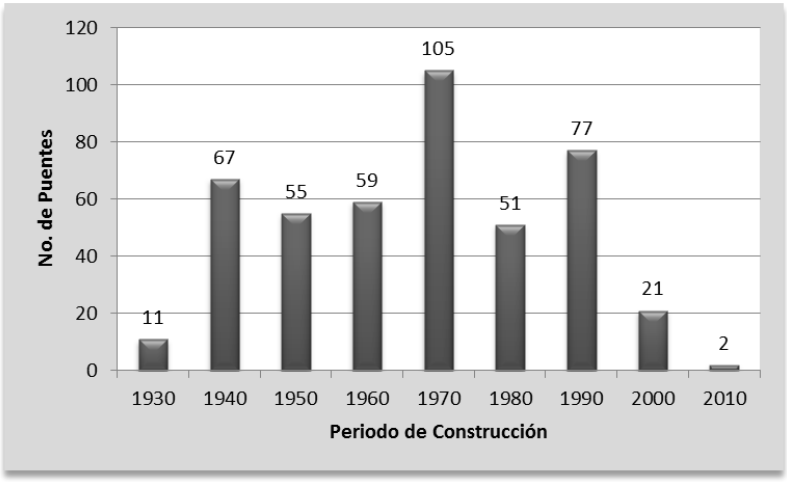


Figura 2. 107 Periodos de construcción de los puentes de Michoacán.

Se observa que once puentes se construyeron en la década de los 30's, sesenta y siete puentes se construyeron en la década de los 40's, cincuenta y cinco puentes se construyeron en la década de los 50's, cincuenta y nueve puentes se construyeron en la década de los 60's, ciento cinco puentes se construyeron en la década de los años 70's, cincuenta y uno puentes se construyeron en la década de los años 80's, setenta y siete puentes se construyeron en la década de los años 90's, veintiuno puentes se construyeron en la década del 2000 y dos puentes se construyeron la década del 2010.

Algunos de los puentes en estudio han sido reconstruidos, esto se observa en la Figura 2. 108.

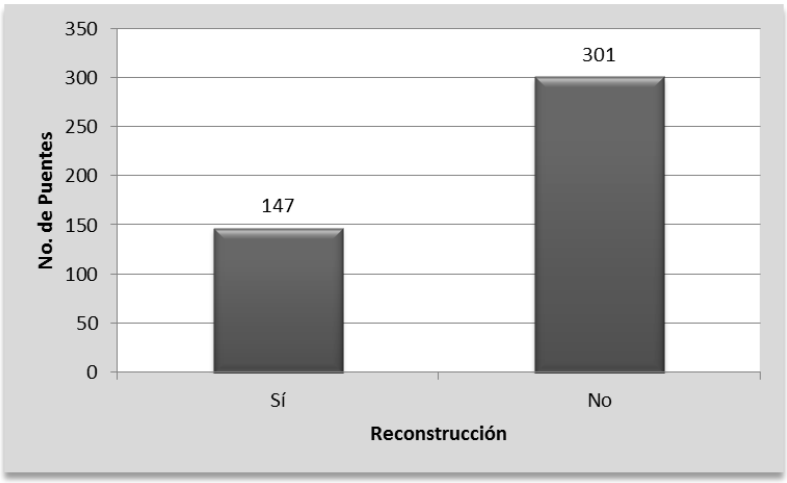


Figura 2. 108 Puentes reconstruidos de Michoacán.

Se observa que ciento cuarenta y siete puentes ya han sido reconstruidos y trescientos uno puentes no han requerido de su reconstrucción.

Otra característica importante es el tipo de paso, como se observa en la Figura 2. 109.

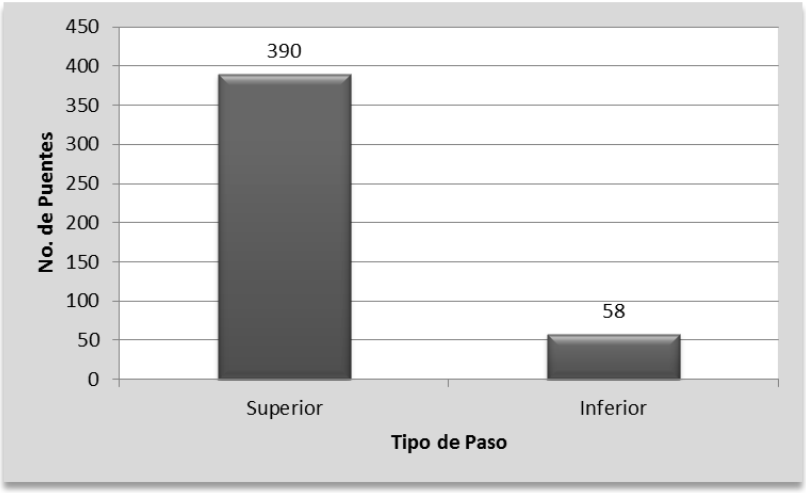


Figura 2. 109 Tipo de paso de los puentes de Michoacán.

En la figura anterior se observa que trescientos noventa puentes son pasos superiores y cincuenta y ocho puentes son pasos inferiores.

Dentro de la geometría de los puentes, se tiene el número de claros que tienen los puentes en estudio, como se observa en la Figura 2. 110.

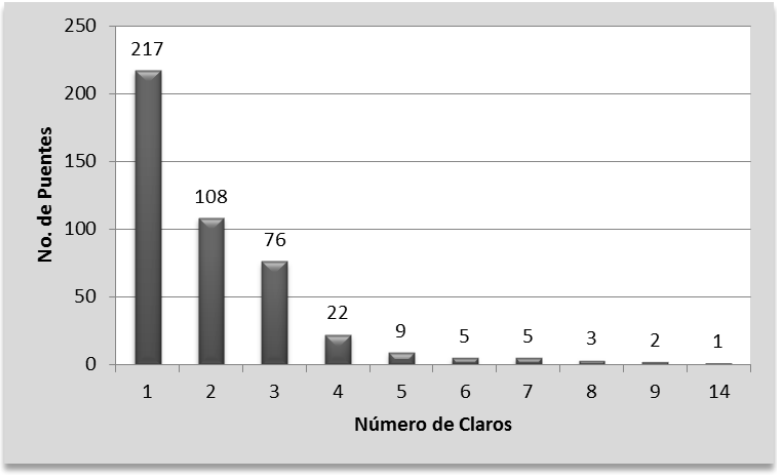


Figura 2. 110 Número de claros de los puentes de Michoacán.

De acuerdo a la figura, doscientos diecisiete puentes son de un claro, ciento ocho puentes son de dos claros, setenta y seis puentes son de tres claros, veintidós puentes son de cuatro claros, nueve puentes son de cinco claros, cinco puentes son de seis y siete claros, tres puentes son de ocho claros, dos puentes son de nueve claros y un puente es de catorce claros.

En el inventario de puentes, se mencionan las longitudes mínima y máxima de claro, como se observa en la Figura 2. 111 y Figura 2. 112.

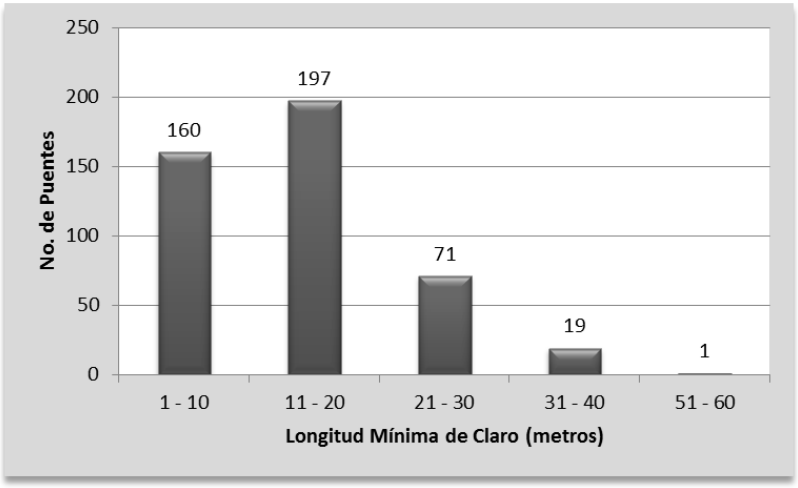


Figura 2. 111 Longitud mínima de claro de los puentes de Michoacán.

Se observa que ciento sesenta puentes tienen la longitud mínima de claro entre 1 y 10 metros, ciento noventa y siete puentes tienen la longitud mínima de claro entre 11 y 20 metros, setenta y uno puentes tienen una longitud mínima entre 21 y 30 metros, diecinueve puentes tienen una longitud mínima entre 31 y 40 metros y un puente tiene una longitud mínima de claro entre 51 y 60 metros.

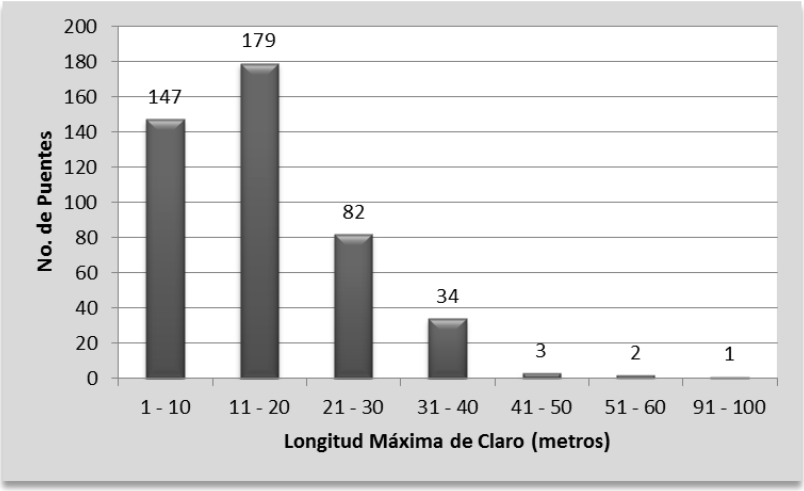


Figura 2. 112 Longitud máxima de claro de los puentes de Michoacán.

Se observa que ciento cuarenta y siete puentes tienen la longitud máxima de claro entre 1 y 10 metros, ciento setenta y nueve puentes tienen la longitud máxima de claro entre 11 y 20 metros, ochenta y dos puentes tienen una longitud máxima entre 21 y 30 metros, treinta y cuatro puentes tienen una longitud máxima entre 31 y 40 metros, tres puentes tienen una longitud máxima entre 41 y 50 metros, dos puentes tienen una longitud máxima entre 51 y 60 metros y un puente tiene una longitud máxima de claro entre 91 y 100 metros.

Una de las características de la geometría de los puentes es la longitud total de los puentes, que se mencionan en la Figura 2. 113.

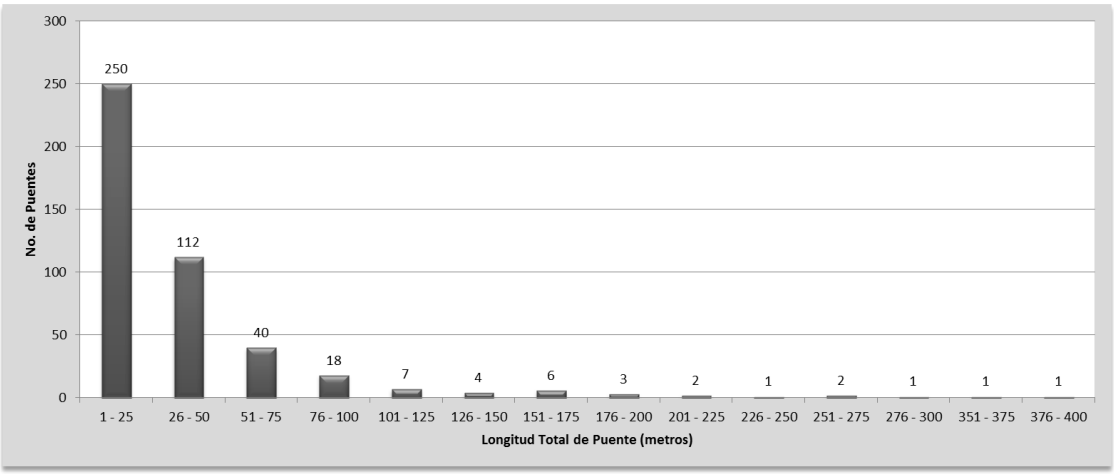


Figura 2. 113 Longitud total de puentes de Michoacán.

Se observa que doscientos cincuenta puentes tienen una longitud total entre 1 y 25 metros, ciento doce puentes tienen una longitud total entre 26 y 50 metros, cuarenta puentes tienen una longitud total entre 51 y 75 metros, dieciocho puentes tienen una longitud total entre 76 y 100 metros, siete puentes tienen una longitud total entre 101 y 125 metros, cuatro puentes tienen una longitud total entre 126 y 150 metros, seis puentes tienen una longitud total entre 151 y 175 metros, tres puentes tienen una longitud total entre 176 y 200 metros, dos puentes tienen una longitud total entre 201 y 225 metros, un puente tiene una longitud total entre 226 y 250 metros, dos puentes tienen una longitud total entre 251 y 275 metros y un puente tiene una longitud total entre 276 y 300 metros, así como 351 y 375 metros y entre 376 y 400 metros respectivamente.

Otra característica que se requiere de los puentes es el ancho total del puente, los cuales se observan en la Figura 2. 114.

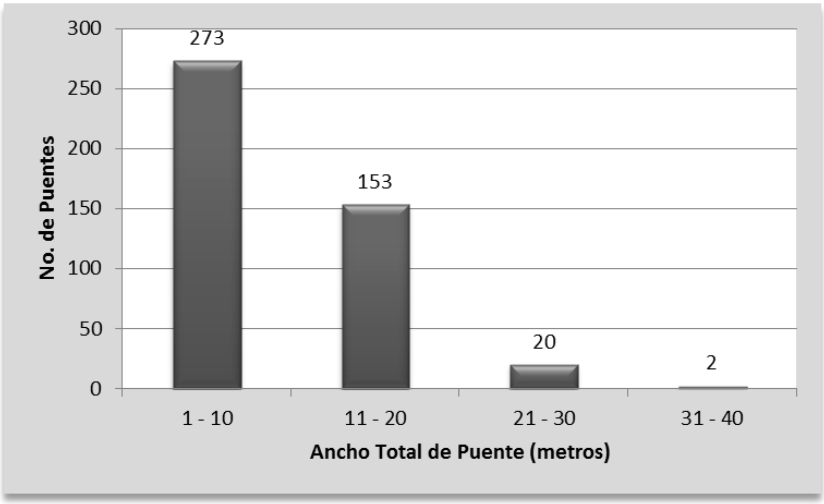


Figura 2. 114 Ancho total de los puentes de Michoacán.

De la figura anterior, se observa que doscientos setenta y tres puentes tienen un ancho total entre 1 y 10 metros, ciento cincuenta y tres puentes tienen un ancho total entre 11 y 20 metros, veinte puentes tienen un ancho total entre 21 y 30 metros y dos puentes tienen un ancho total de puente entre 31 y 40 metros.

Algunos puentes se encuentran en curva, estos se pueden observar en la Figura 2. 115.

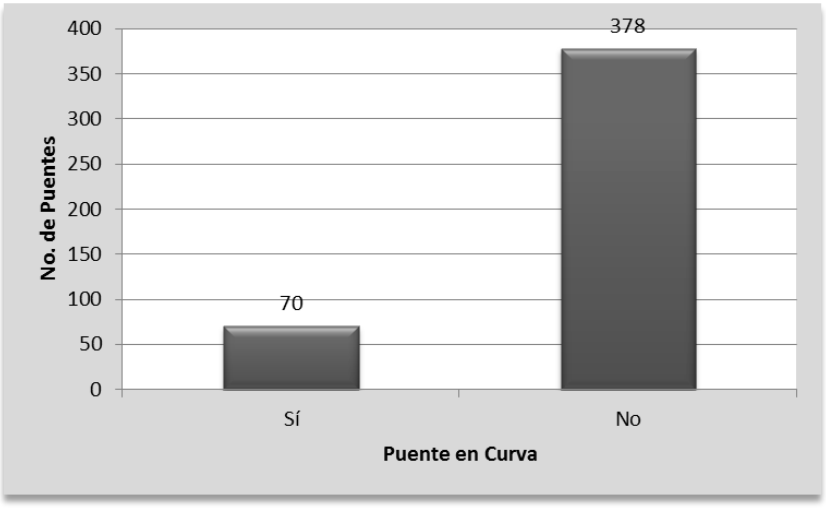


Figura 2. 115 Puentes en curva de Michoacán.

Se observa que setenta puentes se encuentran en curva, mientras que trescientos setenta y ocho puentes no están en curva.

Por el trazo que tienen algunas carreteras, es necesario que algunos de los puentes se encuentren esviajados, estos se mencionan en la Figura 2. 116.

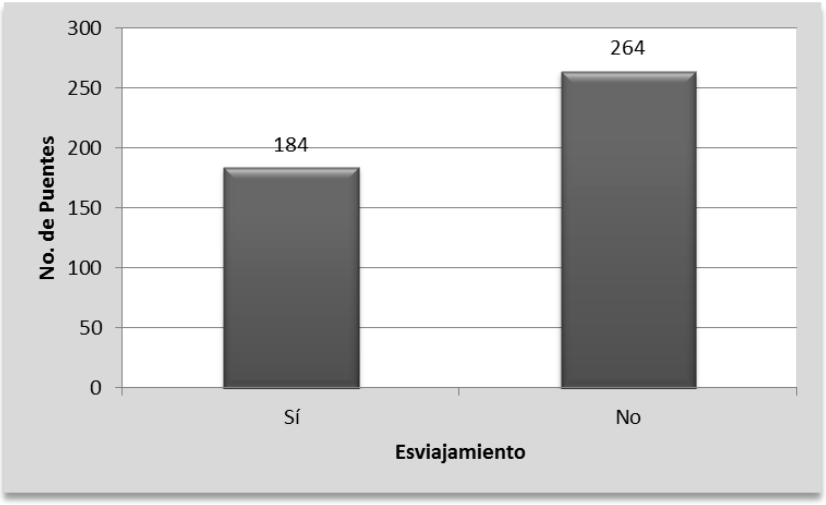


Figura 2. 116 Puentes esviajados de Michoacán.

De lo anterior, ciento ochenta y cuatro puentes tienen esviajamiento y doscientos sesenta y cuatro puentes no presentan esviajamiento. De los ciento ochenta y cuatro

puentes que presentan esviajamiento, en la Figura 2. 117 se muestra el grado de esviajamiento que tienen.

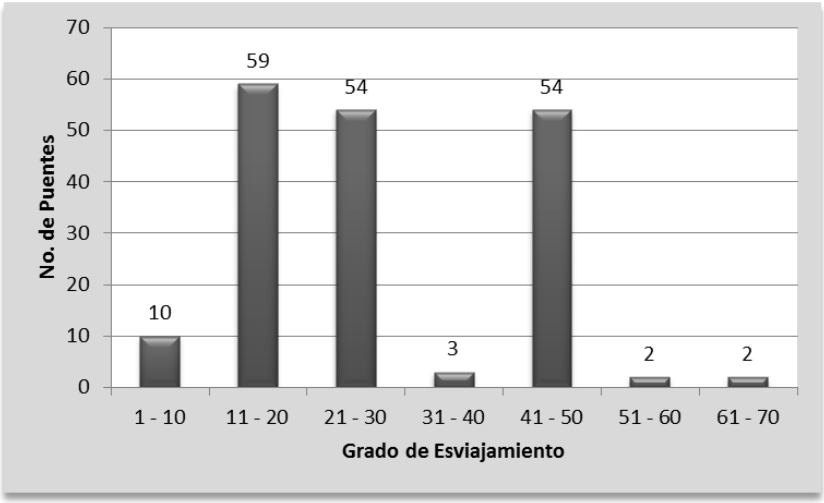


Figura 2. 117 Grado de esviajamiento de los puentes de Michoacán.

De la figura anterior, diez puentes presentan un esviajamiento de 1 a 10 grados, cincuenta y nueve puentes tienen un esviajamiento entre 11 y 20 grados, cincuenta y cuatro puentes tienen un esviajamiento entre 21 y 30 grados, tres puentes tienen un esviajamiento entre 31 y 40 metros, cincuenta y cuatro puentes tienen un esviajamiento entre 41 y 50 metros y dos puente tiene un esviajamiento entre 51 y 60 grados y entre 61 y 70 grados.

La superestructura de los puentes es una de las partes importantes de estas estructuras. En el inventario de puentes, se mencionan tres características de este elemento, una de ellas es el diseño de la sección transversal, como se observa en la Figura 2. 118.

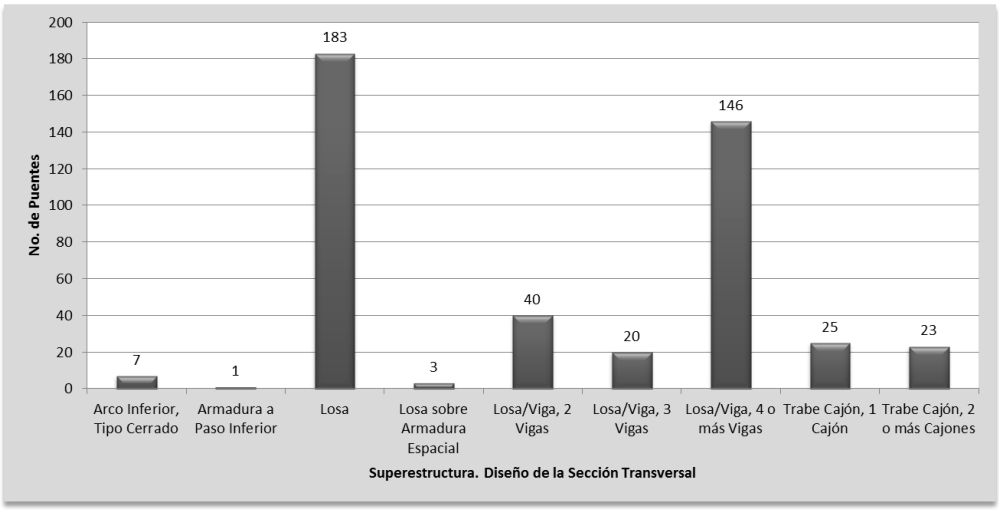


Figura 2. 118 Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes de Michoacán.

En la figura anterior se observa que siete puentes son en forma de arco inferior tipo cerrado, un puente tiene forma de armadura a paso inferior, ciento ochenta y tres puentes tienen son de losa, tres puentes son de losa sobre armadura espacial, cuarenta puentes son con losa y 2 vigas, veinte puentes son con losa y 3 vigas, ciento cuarenta y seis puentes son con losa y 4 o más vigas, veinticinco puentes son con una trabe cajón y veintitrés puentes son con 2 o más trabes cajón.

El diseño de la elevación de la superestructura se observa en la Figura 2. 119.

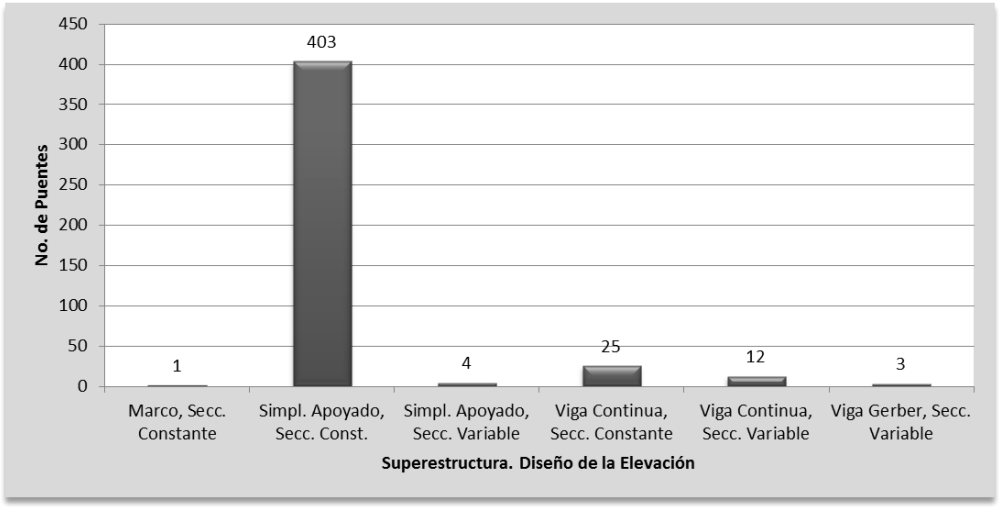


Figura 2. 119 Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes de Michoacán.

Se observa que un puente está apoyados sobre un marco con sección constante, cuatrocientos tres puentes están simplemente apoyados con sección constante, cuatro puentes están simplemente apoyados con sección variable, veinticinco puentes están sobre una viga continua con sección constante, doce puentes están sobre una viga continua con sección variable y tres puentes están sobre una viga Gerber con sección variable.

El material con el cual fueron construidos la superestructura de los puentes se menciona en la Figura 2. 120.

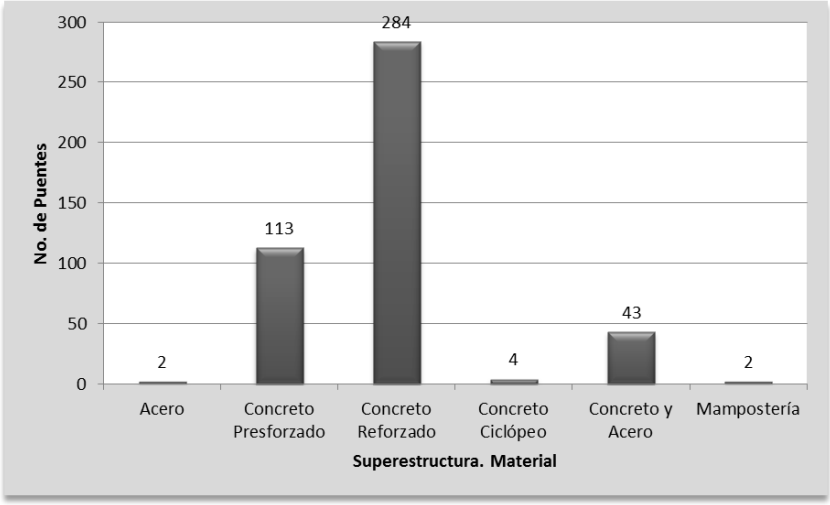


Figura 2. 120 Material de la superestructura de los puentes de Michoacán.

En la figura anterior se observa que dos puentes la superestructura es de acero, ciento trece puentes son de concreto presforzado, doscientos ochenta y cuatro puentes son de concreto reforzado, cuatro puentes son de concreto ciclópeo, cuarenta y tres puentes son de concreto y acero y dos puentes son de mampostería.

Otra de las partes importantes de los puentes es la subestructura. En el caso de los puentes que tienen estribos, en la Figura 2. 121 se mencionan el tipo de estribos.

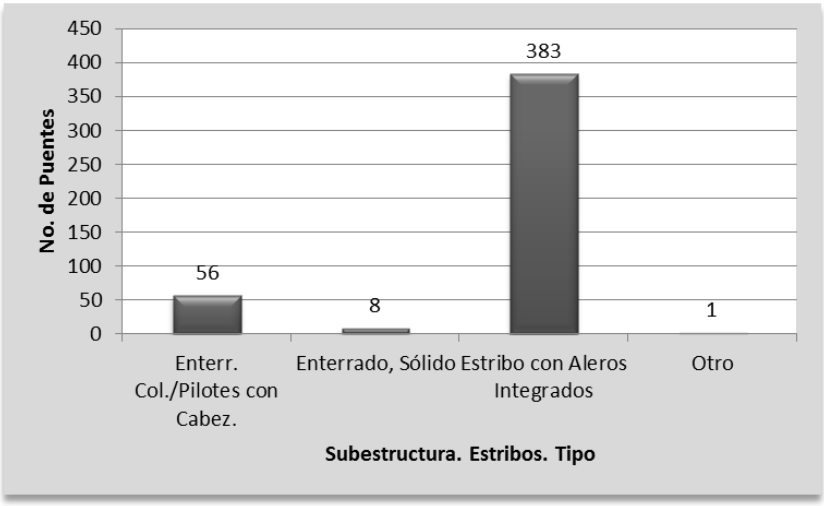


Figura 2. 121 Tipo de estribos de los puentes de Michoacán.

Se observa que cincuenta y seis puentes los estribos son enterrada la columna con pilotes con cabezal, ocho puentes los estribos son enterrados sólidos, trescientos ochenta y tres puentes están sobre estribos con aleros integrados y un puente tiene otro tipo de estribo.

El material de los estribos se menciona en la Figura 2. 122.

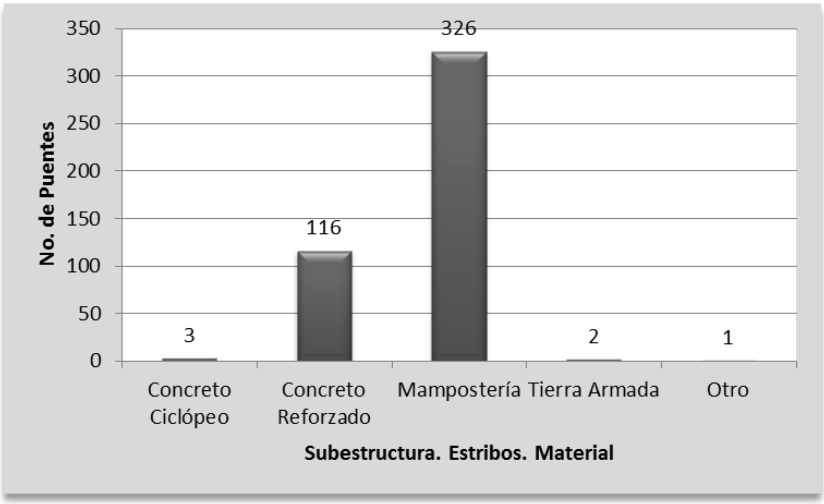


Figura 2. 122 Materiales de los estribos de los puentes de Michoacán.

Se observa que tres puentes son de concreto ciclópeo, ciento dieciséis puentes son de concreto reforzado, trescientos veintiséis puentes son de mampostería, dos son de tierra armada y un puente es de otro material.

El tipo de cimentación de los estribos se menciona en la Figura 2. 123.

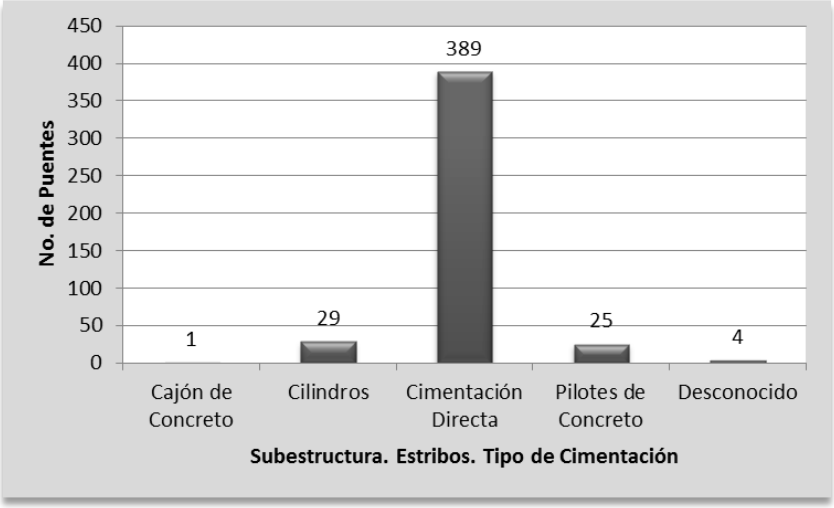


Figura 2. 123 Tipo de cimentación de los estribos de los puentes de Michoacán.

Se observa que un puente está sobre un cajón de concreto, veintinueve puentes están sobre cilindros, trecientos ochenta y nueve puentes tienen una cimentación directa, veinticinco puentes tienen pilotes de concreto y cuatro puentes se desconoce el tipo de cimentación de los estribos.

En la subestructura donde aplican las pilas, el tipo de pilas se observa en la Figura 2. 124.

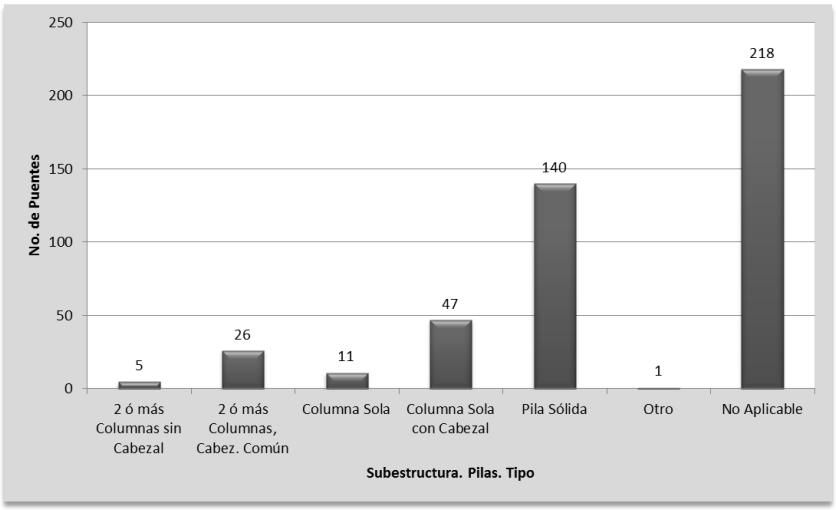


Figura 2. 124 Tipo de pilas de los puentes de Michoacán.

De acuerdo a lo anterior, cinco puentes tienen 2 o más columnas sin cabezal, veintiséis puentes tienen 2 o más columnas con cabezal común, once puentes son con columna sola, cuarenta y siete puentes tienen columna sola con cabezal, ciento cuarenta puentes tienen pila sólida, un puente tiene otro tipo de pila y doscientos dieciocho puentes no tienen pilas como subestructura.

El material de las pilas se menciona en la Figura 2. 125.

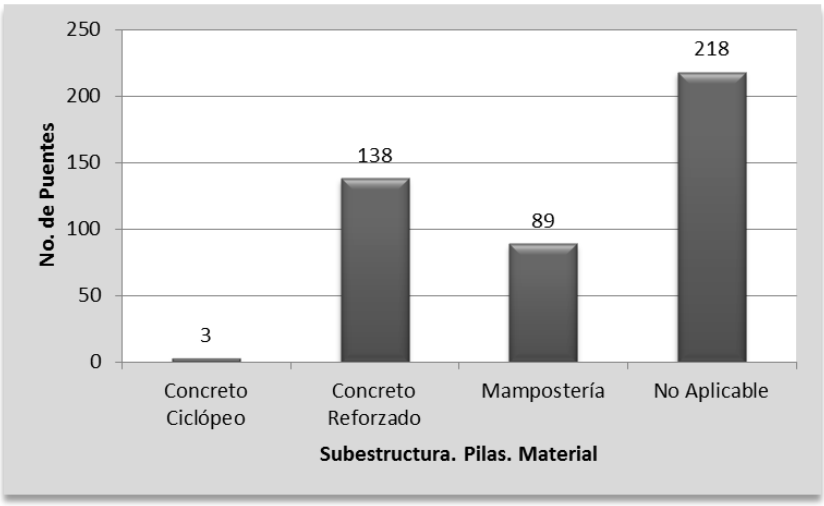


Figura 2. 125 Material de la pilas de los puentes de Michoacán.

Se observa que tres puentes son de concreto ciclópeo, ciento treinta y ocho puentes son de concreto reforzado, ochenta y nueve puentes son de mampostería y doscientos dieciocho puentes no presentan pilas como subestructura.

El tipo de cimentación de las pilas se menciona en la Figura 2. 126.

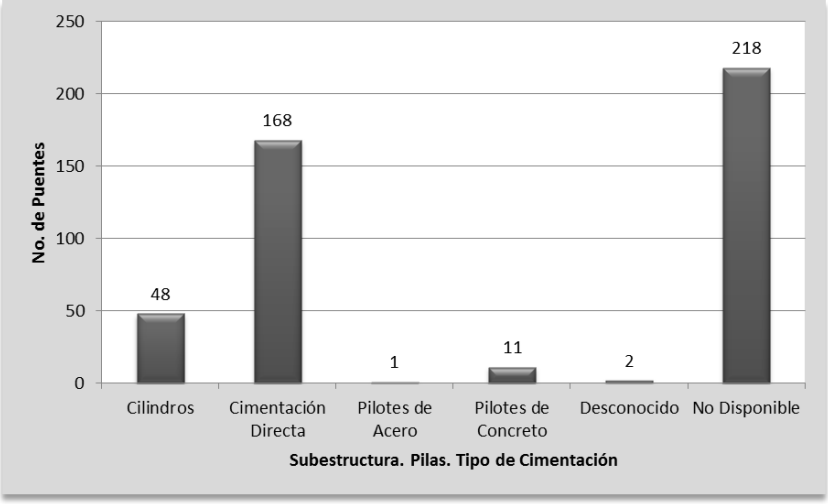


Figura 2. 126 Tipo de cimentación de la pilas de los puentes de Michoacán.

Se observa que cuarenta y ocho puentes están sobre cilindros, ciento sesenta y ocho puentes tienen una cimentación directa, un puente está sobre pilotes de acero, once puentes están sobre pilotes de concreto, dos puentes se desconoce el tipo de cimentación y doscientos dieciocho puentes no tienen pilas como subestructura.

En el inventario de SIPUMEX, en el apartado de los detalles, se tomaron algunos parámetros. Uno de ellos es el tipo de superficie de desgaste como se observa en la Figura 2. 127.

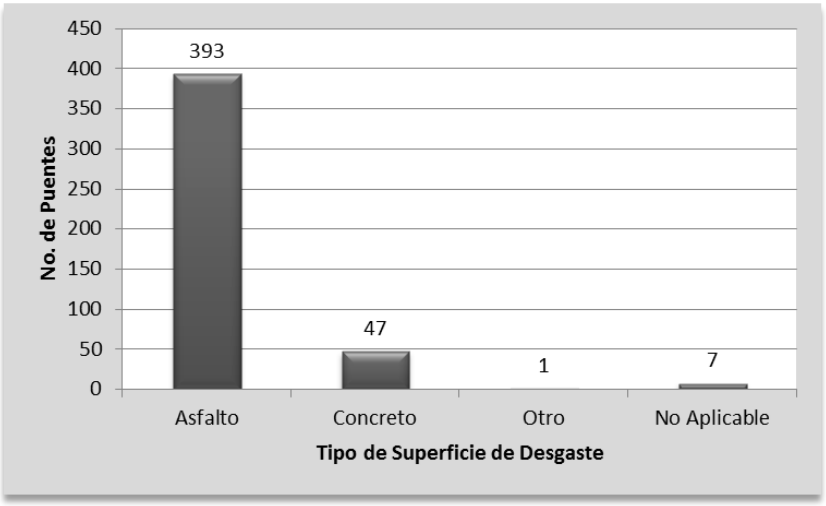


Figura 2. 127 Tipo de superficie de desgaste de los puentes de Michoacán.

Se observa que trescientos noventa y tres puentes su superficie es de asfalto, cuarenta y siete puentes la superficie es de concreto, un puente es de otro material y siete puentes no aplica superficie de desgaste.

Otro importante concepto es el tipo de apoyo fijo sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 128.

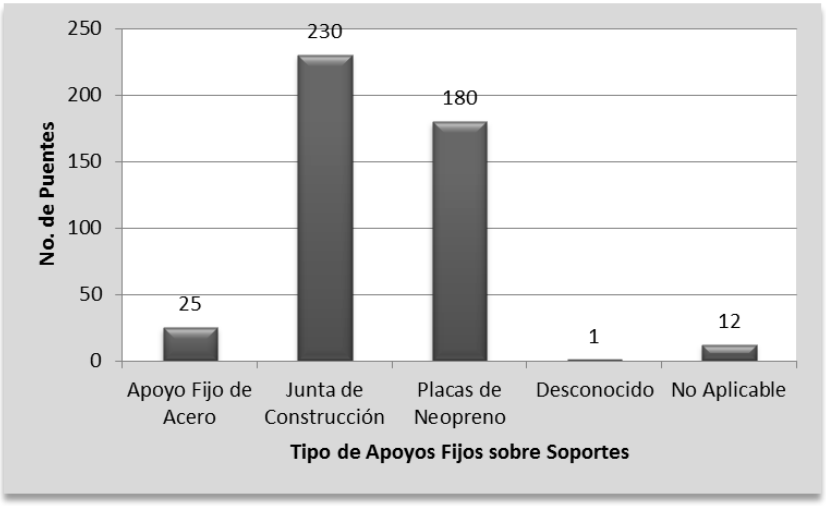


Figura 2. 128 Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes de Michoacán.

En base a lo anterior, veintisiete puentes tienen apoyo fijo de acero, doscientos treinta puentes tienen junta de construcción, ciento ochenta puentes tienen placas de neopreno, un puente se desconoce el tipo de apoyo fijo y doce puentes no aplican este tipo de apoyo.

En los puentes también se tienen apoyos móviles sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 129.

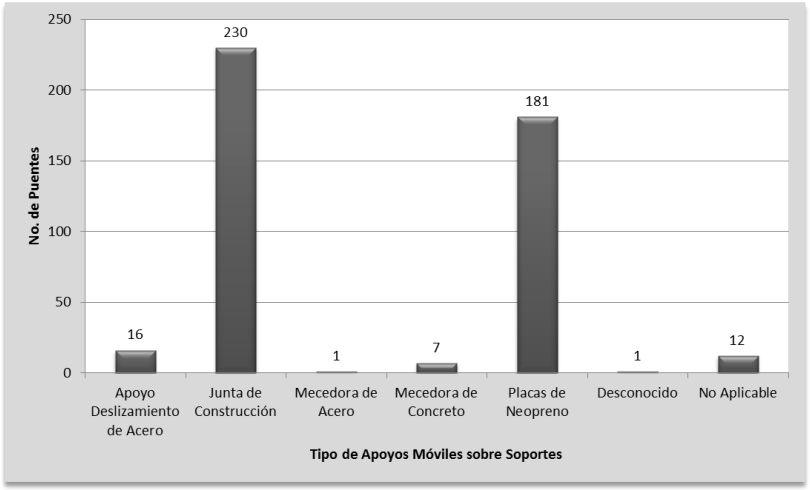


Figura 2. 129 Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes de Michoacán.

En la figura anterior se observan dieciséis puentes tienen apoyo deslizamiento de acero, doscientos treinta puentes tienen junta de construcción, un puente tiene mecedora de acero, siete puentes tienen mecedora de concreto, ciento ochenta y uno puentes tienen placas de neopreno, un puente se desconoce el tipo de apoyo móvil y doce puentes no aplican este tipo de apoyo.

Un dato muy importante en los puentes es la carga con la cual fueron diseñados los puentes, estas cargas se muestran en la Figura 2. 130.

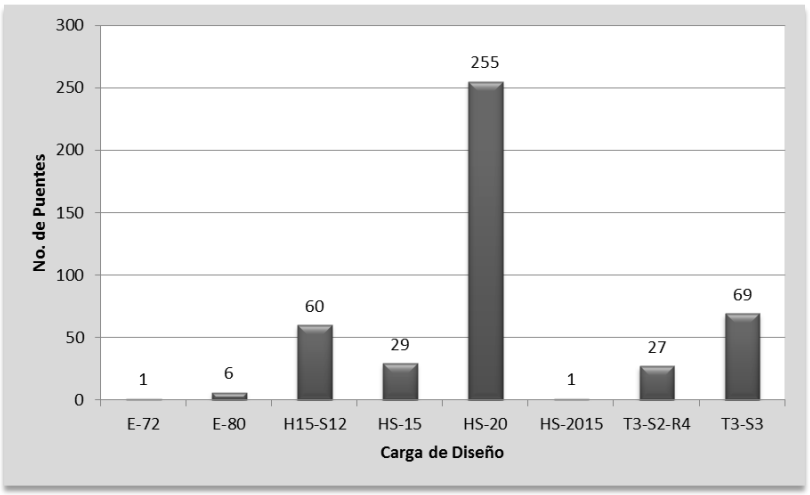


Figura 2. 130 Carga de diseño de los puentes de Michoacán.

Se observa que un puente fue diseñado con carga E-72, seis puentes fueron diseñados para una carga E-80, sesenta puentes fueron diseñados para una carga H15-S12, veintinueve puentes fueron diseñado para una carga HS-15, doscientos cincuenta y cinco puentes fueron diseñados con una carga HS-20, un puente fue diseñado para una carga HS-2015, veintisiete puentes fueron diseñados para una carga T3-S2-R4 y siete puentes fueron diseñados para una carga T3-S3.

Una de las funciones de los puentes es cruzar obstáculos. Estos obstáculos se mencionan en la Figura 2. 131.

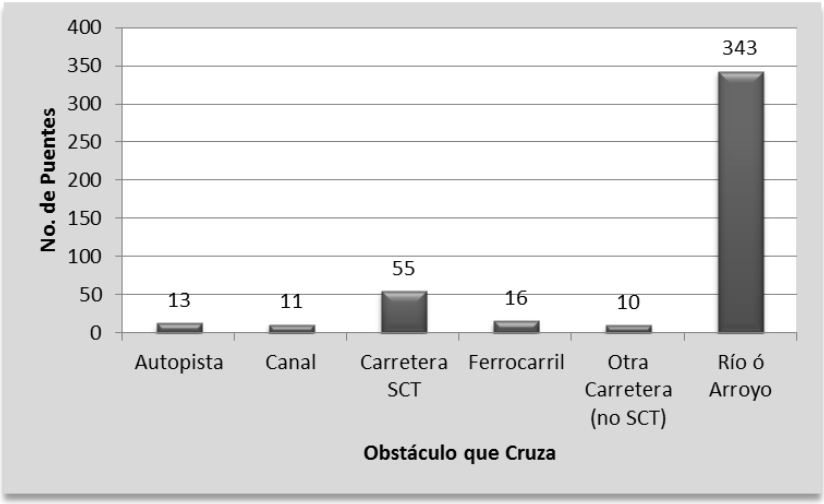


Figura 2. 131 Obstáculos que cruzan los puentes de Michoacán.

Se observa trece puentes cruzan una autopista, once puentes cruzan un canal, cincuenta y cinco puentes cruzan una carretera de la SCT, dieciséis puentes cruzan una vía férrea, diez puentes cruzan una carretera que no es de la SCT y trescientos cuarenta y tres puentes cruzan un río o arroyo.

Algunos de los propietarios de estos puentes se mencionan en la Figura 2. 132.

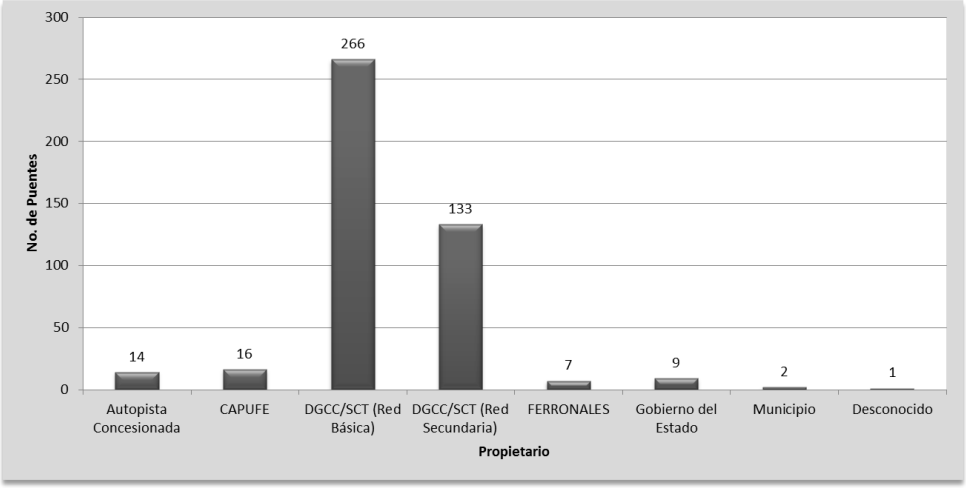


Figura 2. 132 Propietarios de los puentes de Michoacán.

En la figura anterior se observa que catorce puentes están a cargo de una autopista concesionada, dieciséis puentes están a cargo de CAPUFE, doscientos sesenta y seis puentes están a cargo de la Dirección General de Conservación de Carreteras en lo que pertenece a la red básica, ciento treinta y tres puentes pertenecen a la red secundaria, siete puentes están a cargo de Ferrocarriles Nacionales, nueve puentes están a cargo del gobierno del estado, dos puentes están a cargo del gobierno de algún municipio de Michoacán y un puente se desconoce su propietario.

Como se mencionó en el capítulo anterior, es muy importante el Transito Promedio Diario Anual, por lo que estos puentes se ubican en sitios donde se presentan los siguiente TPDA de acuerdo a la Figura 2. 133.

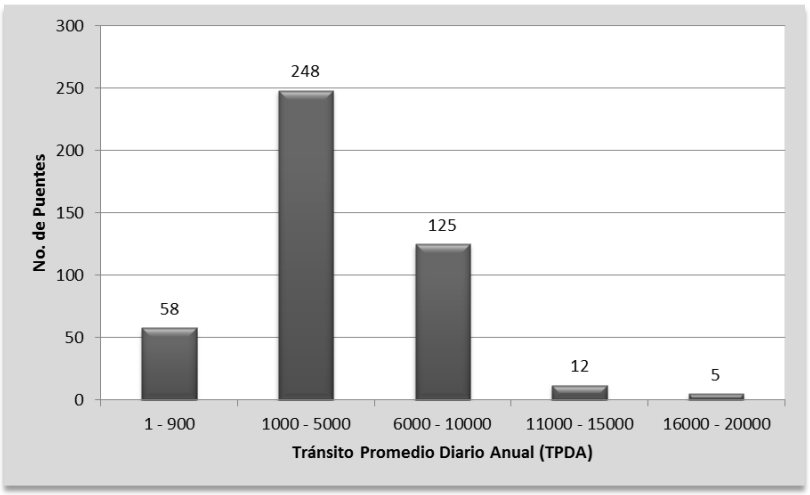


Figura 2. 133 TPDA registrado en los puentes de Michoacán.

Con lo anterior se observa que cincuenta y ocho puentes tienen un registro de un TPDA entre 1 y 900, doscientos cuarenta y ocho puentes tienen un registro de un TPDA entre 1,000 y 5,000, ciento veinticinco puentes tienen un TPDA entre 6,000 y 10,000, doce puentes tienen un TPDA entre 11,000 y 15,000 y cinco puentes tienen un TPDA entre 16,000 y 20,000.

Una de las finalidades del inventario de SIPUMEX es conocer los daños que presentan los puentes en general. A continuación se muestra en la Figura 2. 134 la calificación de los puentes en general, de acuerdo a la Tabla 2. 3.

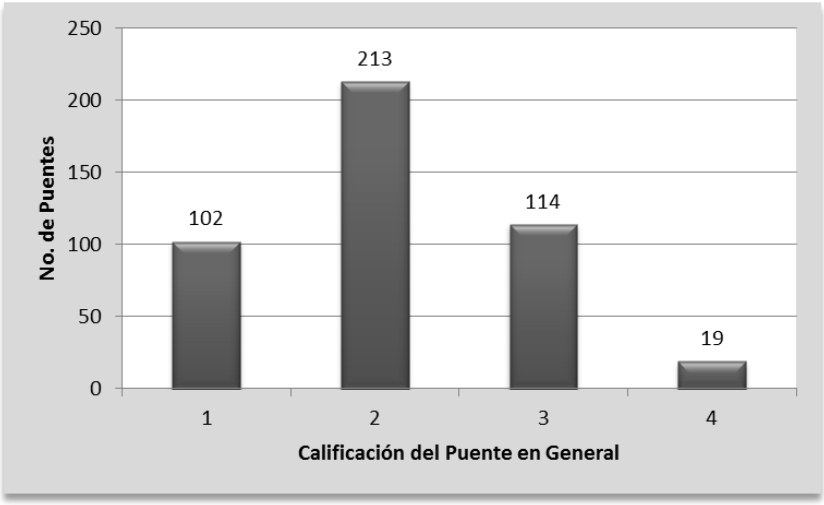


Figura 2. 134 Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes de Michoacán.

Se observa que en Michoacán, ciento dos puentes tienen una calificación de "1", doscientos trece puentes tienen una calificación de "2", ciento catorce puentes tienen una calificación de "3" y diecinueve puentes tienen una calificación de "4", de acuerdo con la calificación de SIPUMEX.

2.4.4 GUERRERO

De acuerdo con el inventario (SIPUMEX, 2011), el Estado de Guerrero cuenta con cuatrocientos dieciséis puentes, de los cuales se dividen en puentes carreteros y puentes peatonales, como se muestra en la Figura 2. 135.

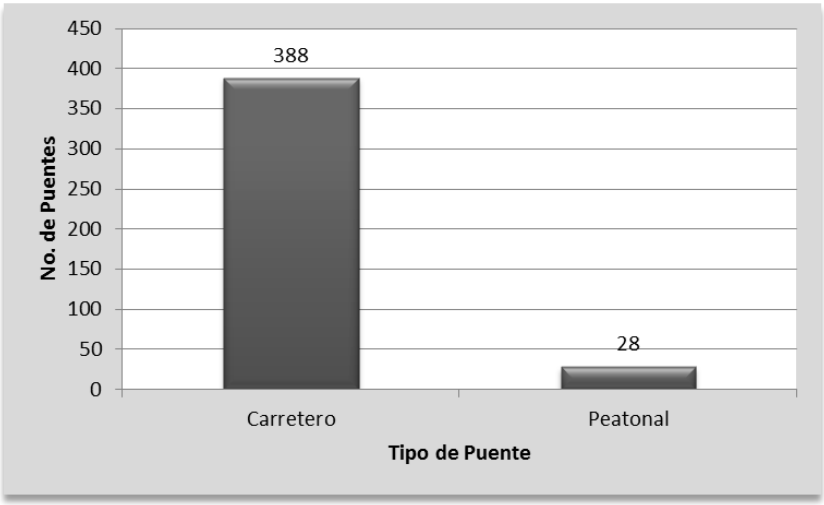


Figura 2. 135 Tipo de puentes de Guerrero.

De acuerdo a lo anterior, se observa que de los cuatrocientos dieciséis puentes que se tienen registrados en el inventario, trescientos ochenta y ocho puentes son carreteros y veintiocho son puentes peatonales. En este caso, solo se estudiarán los puentes carreteros.

Los trescientos ochenta y ocho puentes en estudio se ubican en diferentes rutas carreteras, como se muestra en la Figura 2. 136.

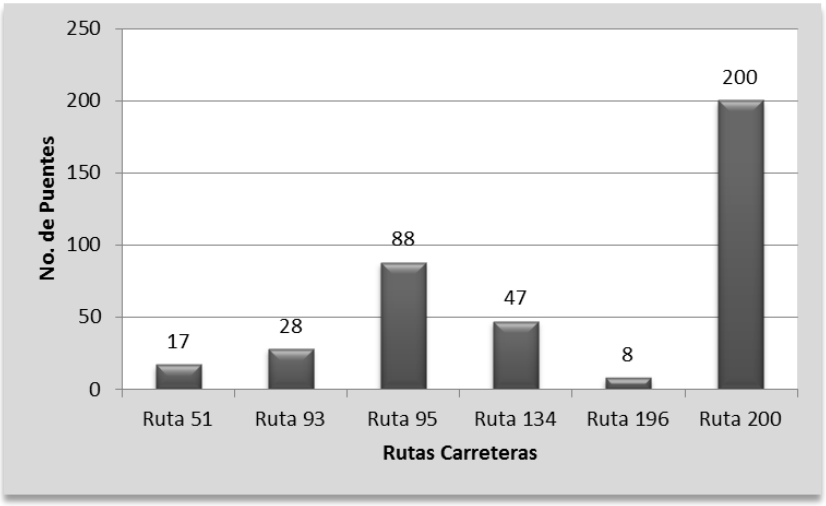


Figura 2. 136 Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras de Guerrero.

Se observa que diecisiete puentes se ubican sobre la ruta 51, veintiocho puentes se ubican sobre la ruta 93, ochenta y ocho se ubican sobre la ruta 95, cuarenta y siete se ubican sobre la ruta 134, ocho se ubican sobre la ruta 196 y doscientos puentes se ubican sobre la ruta 200.

Una característica importante de estos puentes es el periodo de construcción, esto se observa en la Figura 2. 137.

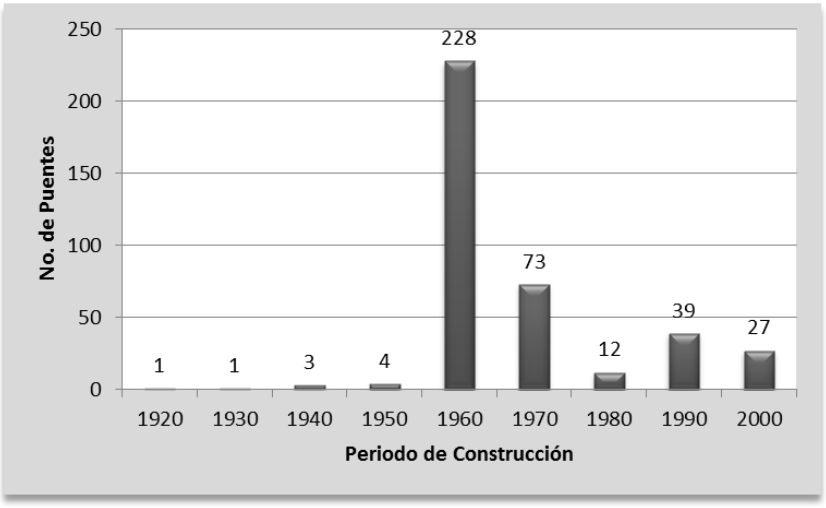


Figura 2. 137 Periodos de construcción de los puentes de Guerrero.

Se observa que un puente se construyó en la década de los 20's y otro en la década de los 30's, tres puentes se construyeron en la década de los 40's, cuatro puentes se construyeron en la década de los 50's, doscientos veintiocho puentes se construyeron en la década de los 60's, setenta y tres puentes se construyeron en la década de los años 70's, doce puentes se construyeron en la década de los años 80's, treinta y nueve puentes se construyeron en la década de los años 90's y veintisiete puentes se construyeron la década del 2000.

Algunos de los puentes en estudio han sido reconstruidos, esto se observa en la Figura 2. 138.

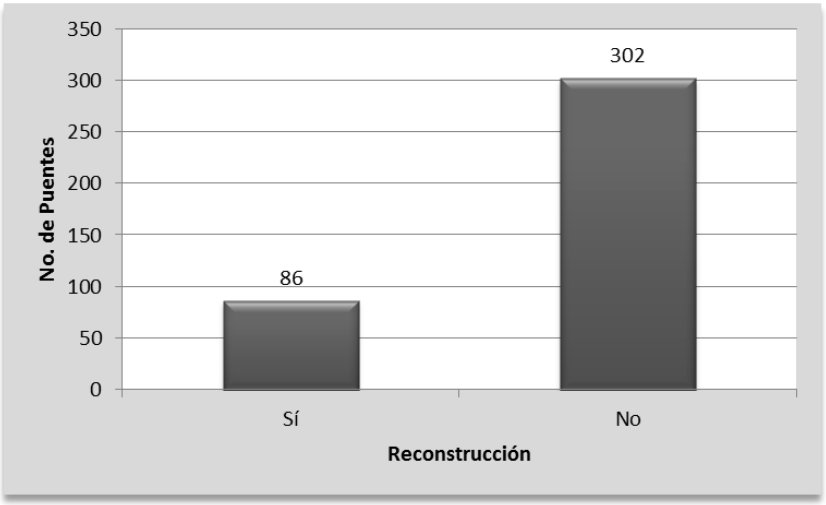


Figura 2. 138 Puentes reconstruidos de Guerrero.

Se observa que ochenta y seis puentes ya han sido reconstruidos y trescientos dos puentes no han requerido de su reconstrucción.

Otra característica importante es el tipo de paso, como se observa en la Figura 2. 139.

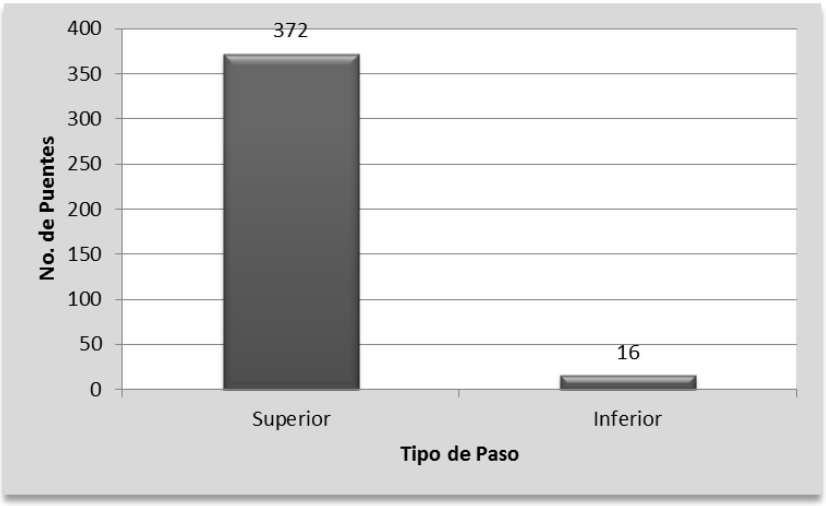


Figura 2. 139 Tipo de paso de los puentes de Guerrero.

En la figura anterior se observa que trescientos setenta y dos puentes son pasos superiores y dieciséis puentes son pasos inferiores.

Dentro de la geometría de los puentes, se tiene el número de claros que tienen los puentes en estudio, como se observa en la Figura 2. 140.

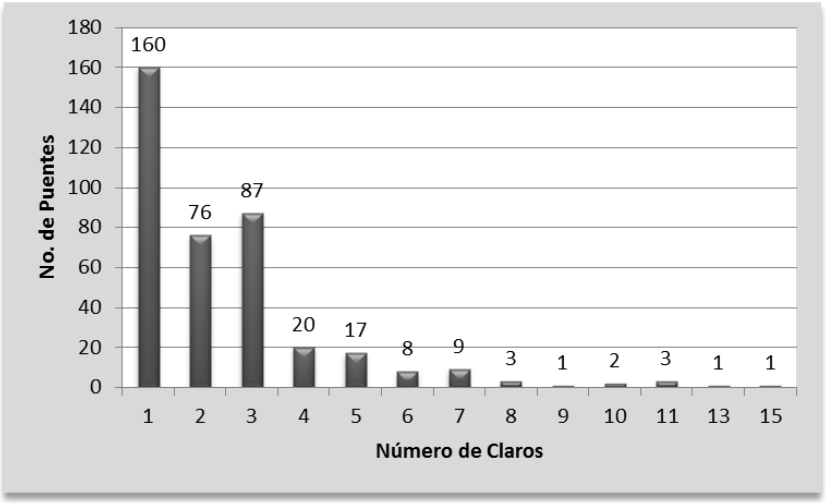


Figura 2. 140 Número de claros de los puentes de Guerrero.

De acuerdo a la figura, ciento sesenta puentes son de un claro, setenta y seis puentes son de dos claros, ochenta y siete puentes son de tres claros, veinte puentes son de cuatro claros, diecisiete puentes son de cinco claros, ocho puentes son de seis claros, nueve

puentes son de siete claros, tres puentes son de ocho claros, un puente es de nueve claros, dos puentes son de diez claros, tres puentes son de once claros y un puente es de trece y quince claros.

En el inventario de puentes, se mencionan las longitudes mínima y máxima de claro, como se observa en la Figura 2. 141 y Figura 2. 142.

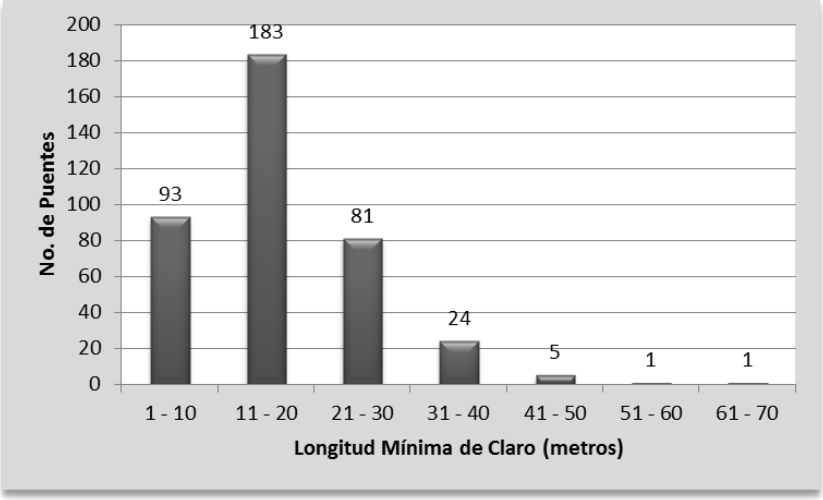


Figura 2. 141 Longitud mínima de claro de los puentes de Guerrero.

Se observa que noventa y tres puentes tienen la longitud mínima de claro entre 1 y 10 metros, ciento ochenta y tres puentes tienen la longitud mínima de claro entre 11 y 20 metros, ochenta y uno puentes tienen una longitud mínima entre 21 y 30 metros, veinticuatro puentes tienen una longitud mínima entre 31 y 40 metros, cinco puentes tienen una longitud mínima de claro entre 41 y 50 metros y un puente tiene una longitud mínima de claro entre 51 y 60 metros, así como entre 61 y 10 metros respectivamente.

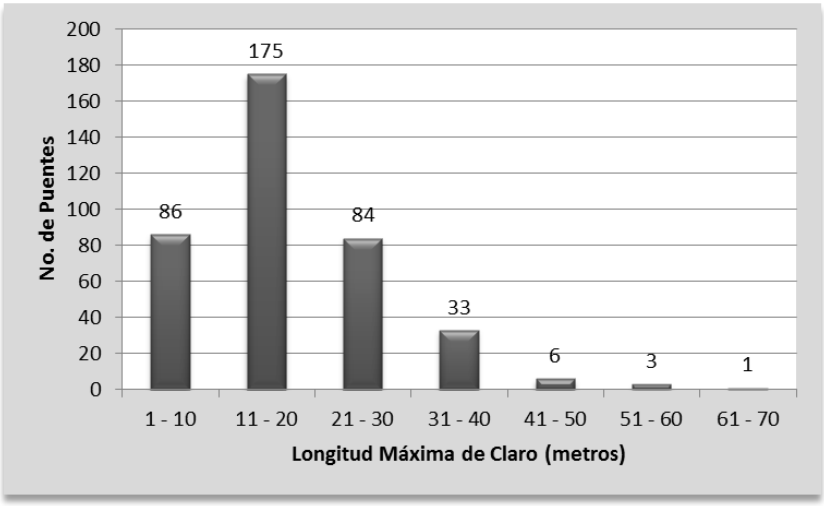


Figura 2. 142 Longitud máxima de claro de los puentes de Guerrero.

Se observa que ochenta y seis puentes tienen la longitud máxima de claro entre 1 y 10 metros, ciento setenta y cinco puentes tienen la longitud máxima de claro entre 11 y 20 metros, ochenta y cuatro puentes tienen una longitud máxima entre 21 y 30 metros, treinta y tres puentes tienen una longitud máxima entre 31 y 40 metros, seis puentes tienen una longitud máxima entre 41 y 50 metros, tres puentes tienen una longitud máxima entre 51 y 60 metros y un puente tiene una longitud máxima de claro entre 61 y 70 metros.

Una de las características de la geometría de los puentes es la longitud total de los puentes, que se mencionan en la Figura 2. 143.

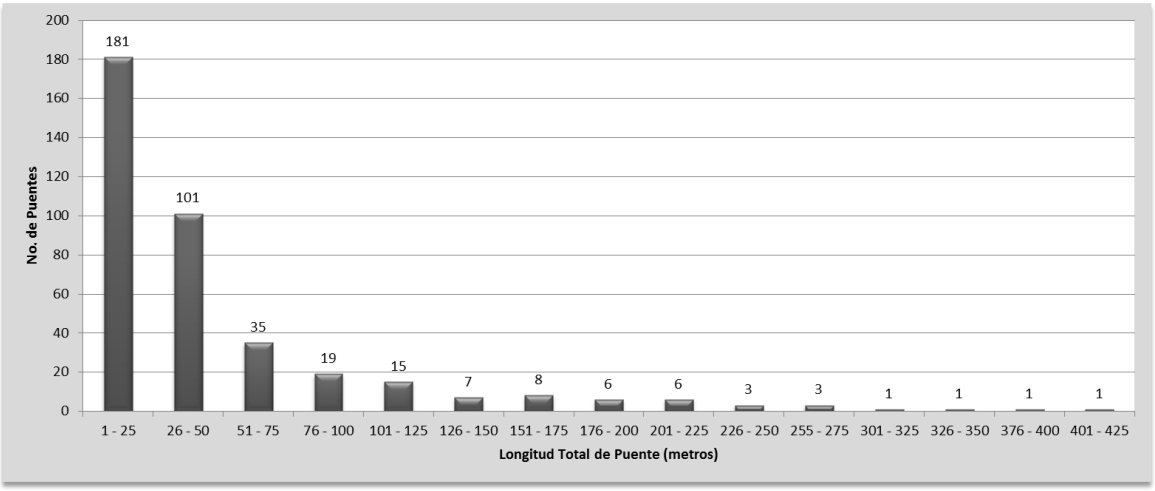


Figura 2. 143 Longitud total de puentes de Guerrero.

Se observa que ciento ochenta y uno puentes tienen una longitud total entre 1 y 25 metros, ciento uno puentes tienen una longitud total entre 26 y 50 metros, treinta y cinco puentes tienen una longitud total entre 51 y 75 metros, diecinueve puentes tienen una longitud total entre 76 y 100 metros, quince puentes tienen una longitud total entre 101 y 125 metros, siete puentes tienen una longitud total entre 126 y 150 metros, ocho puentes tienen una longitud total entre 151 y 175 metros, seis puentes tienen una longitud total entre 176 y 200 metros y entre 201 y 225 metros, tres puentes tienen una longitud total entre 226 y 250 y entre 251 y 275 y un puente tiene una longitud total entre 301 y 325 metros, 326 y 350 metros, así como entre 376 y 400 metros y entre 401 y 425 respectivamente.

Otra característica que se requiere de los puentes es el ancho total del puente, los cuales se observan en la Figura 2. 144.

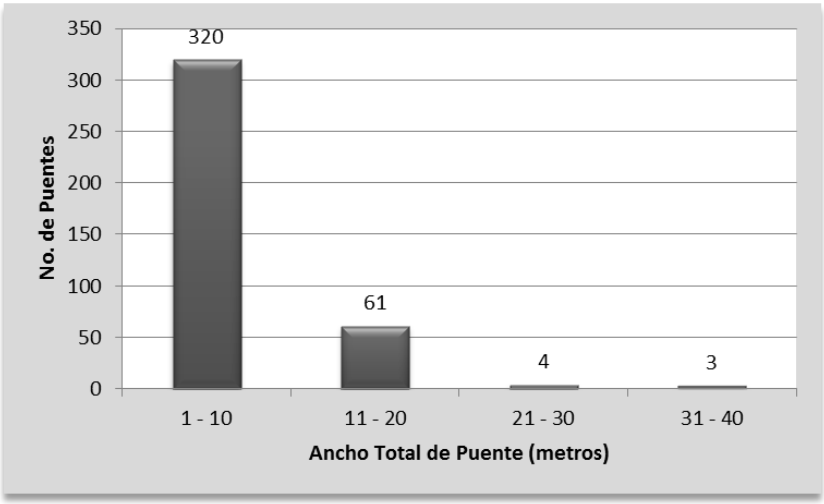


Figura 2. 144 Ancho total de los puentes de Guerrero.

De la figura anterior, se observa que trescientos veinte puentes tienen un ancho total entre 1 y 10 metros, sesenta y uno puentes tienen un ancho total entre 11 y 20 metros, cuatro puentes tienen un ancho total entre 21 y 30 metros y tres puentes tienen un ancho total de puente entre 31 y 40 metros.

Algunos puentes se encuentran en curva, estos se pueden observar en la Figura 2. 145.

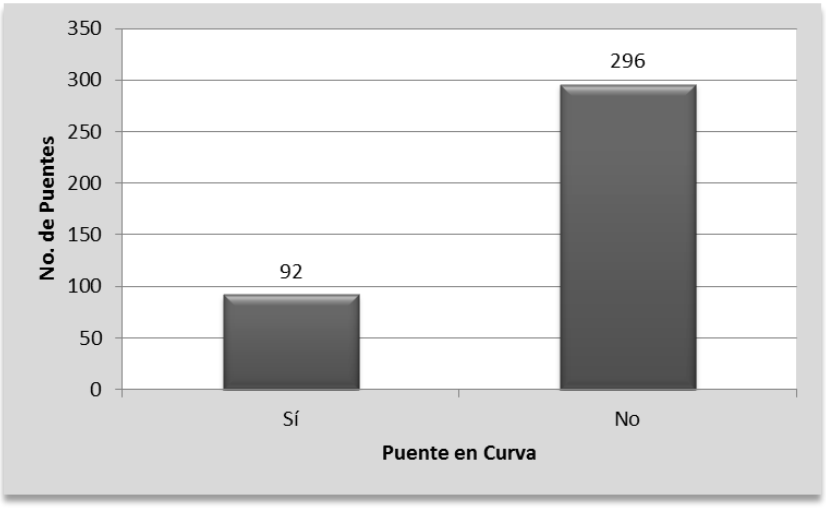


Figura 2. 145 Puentes en curva de Guerrero.

Se observa que noventa y dos puentes se encuentran en curva, mientras que doscientos noventa y seis puentes no están en curva.

Por el trazo que tienen algunas carreteras, es necesario que algunos de los puentes se encuentren esviajados, estos se mencionan en la Figura 2. 146.

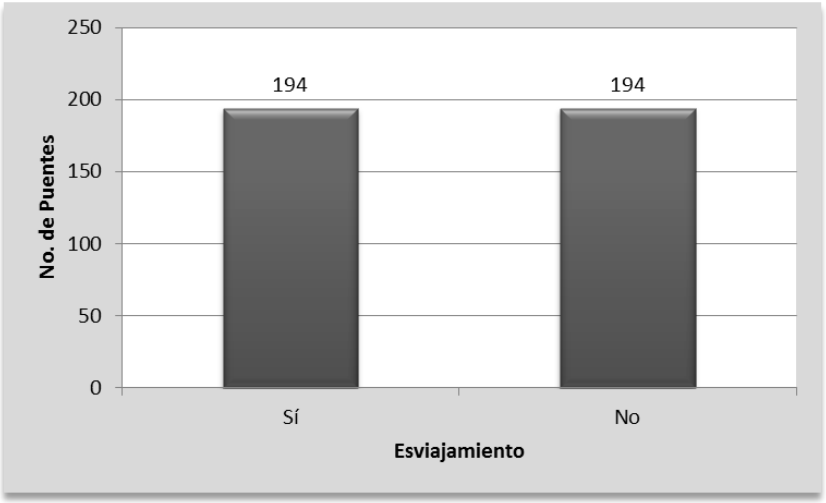


Figura 2. 146 Puentes esviajados de Guerrero.

De lo anterior, ciento noventa y cuatro puentes tienen esviajamiento y ciento noventa y cuatro puentes no presentan esviajamiento. De los ciento noventa y cuatro puentes que

presentan esviajamiento, en la Figura 2. 147 se muestra el grado de esviajamiento que tienen.

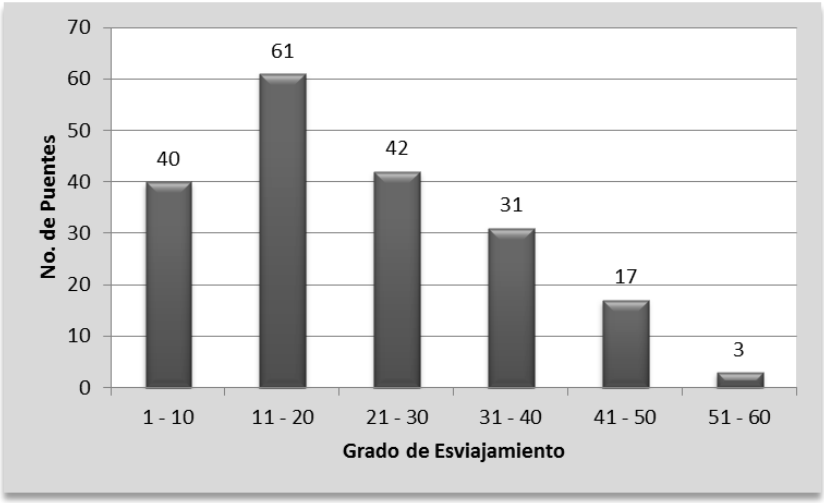


Figura 2. 147 Grado de esviajamiento de los puentes de Guerrero.

De la figura anterior, cuarenta puentes presentan un esviajamiento de 1 a 10 grados, sesenta y uno puentes tienen un esviajamiento entre 11 y 20 grados, cuarenta y dos puentes tienen un esviajamiento entre 21 y 30 grados, treinta y uno puentes tienen un esviajamiento entre 31 y 40 metros, diecisiete puentes tienen un esviajamiento entre 41 y 50 metros y tres puentes tienen un esviajamiento entre 51 y 60 grados.

La superestructura de los puentes es una de las partes importantes de estas estructuras. En el inventario de puentes, se mencionan tres características de este elemento, una de ellas es el diseño de la sección transversal, como se observa en la Figura 2. 148.

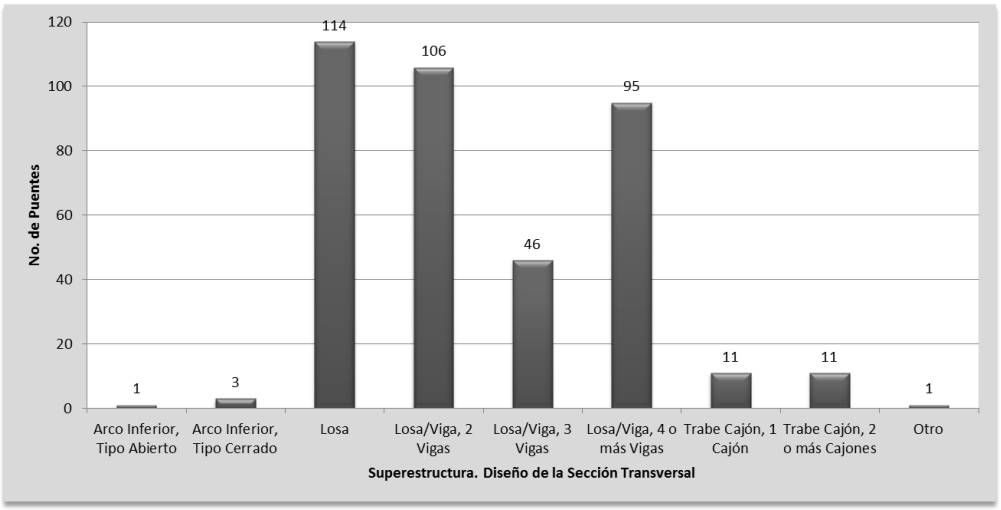


Figura 2. 148 Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes de Guerrero.

En la figura anterior se observa que un puente está en forma de arco inferior tipo abierto, tres puentes son en forma de arco inferior tipo cerrado, ciento catorce puentes son losas, ciento seis puentes son con losa y 2 vigas, cuarenta y seis puentes son con losa y 3 vigas, noventa y cinco puentes son con losa y 4 o más vigas, once puentes son con una trabe cajón y con 2 o más trabes cajón y un puente es con otra sección transversal.

El diseño de la elevación de la superestructura se observa en la Figura 2. 149.

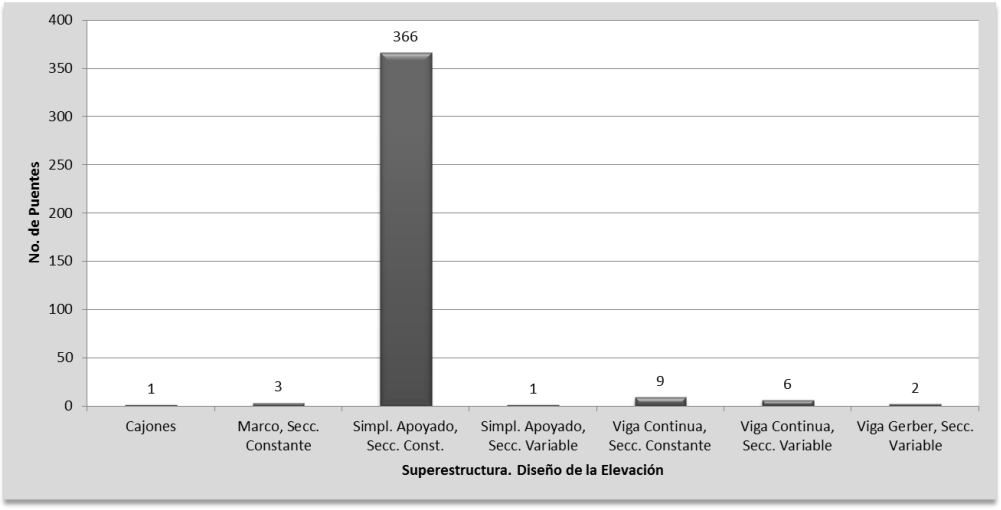


Figura 2. 149 Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes de Guerrero.

Se observa que un puente está apoyado sobre cajones, tres puentes están sobre un marco con sección constante, trescientos sesenta y seis puentes están simplemente apoyados con sección constante, un puente está simplemente apoyados con sección variable, nueve puentes están sobre una viga continua con sección constante, seis puentes están sobre una viga continua con sección variable y dos puentes están sobre una viga Gerber con sección variable.

El material con el cual fueron construidos la superestructura de los puentes se menciona en la Figura 2. 150.

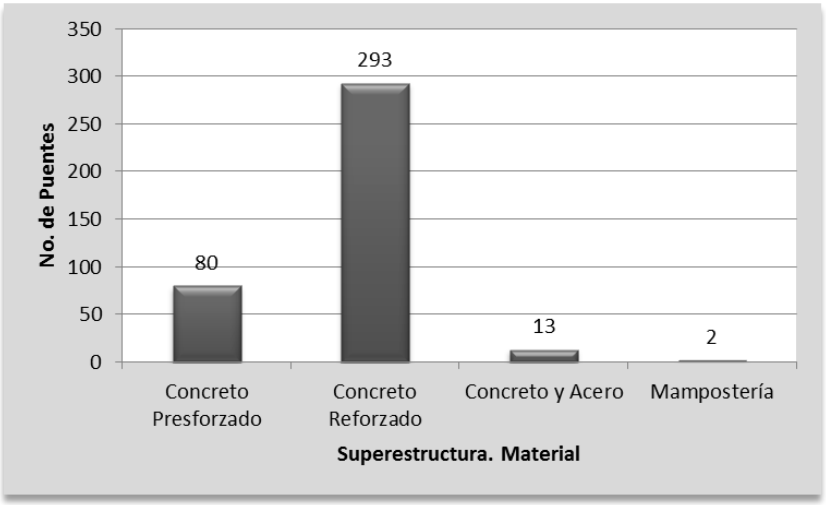


Figura 2. 150 Material de la superestructura de los puentes de Guerrero.

En la figura anterior se observa que ochenta de los puentes, la superestructura es de concreto presforzado, doscientos noventa y tres puentes son de concreto reforzado, trece puentes son de concreto y acero y dos puentes son de mampostería.

Otra de las partes importantes de los puentes es la subestructura. En el caso de los puentes que tienen estribos, en la Figura 2. 151 se mencionan el tipo de estribos.

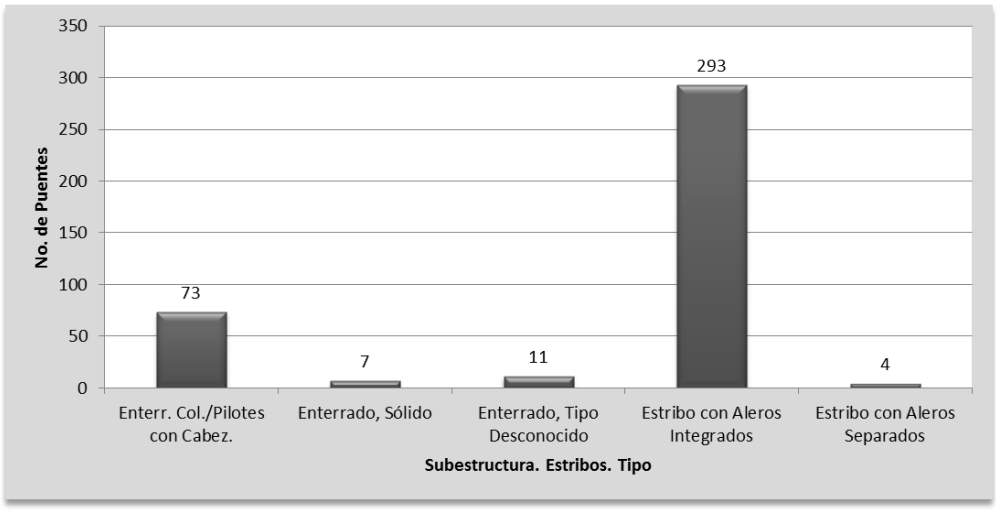


Figura 2. 151 Tipo de estribos de los puentes de Guerrero.

Se observa que setenta y tres puentes los estribos son enterrada la columna con pilotes con cabezal, siete puentes los estribos son enterrados sólidos, once puentes los estribos son enterrados tipo desconocido, doscientos noventa y tres puentes están sobre estribos con aleros integrados y cuatro puentes tienen estribos con aleros separados.

El material de los estribos se menciona en la Figura 2. 152.

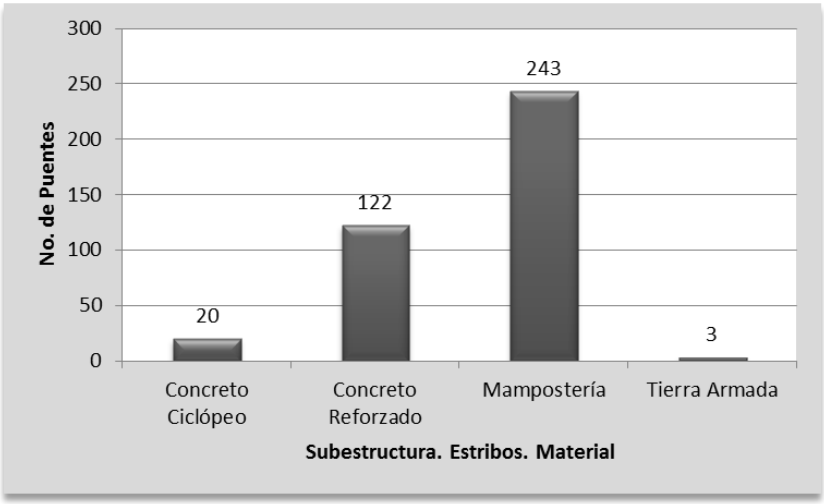


Figura 2. 152 Materiales de los estribos de los puentes de Guerrero.

Se observa que veinte puentes son de concreto ciclópeo, ciento veintidós puentes son de concreto reforzado, doscientos cuarenta y tres puentes son de mampostería y tres puentes son de tierra armada.

El tipo de cimentación de los estribos se menciona en la Figura 2. 153.

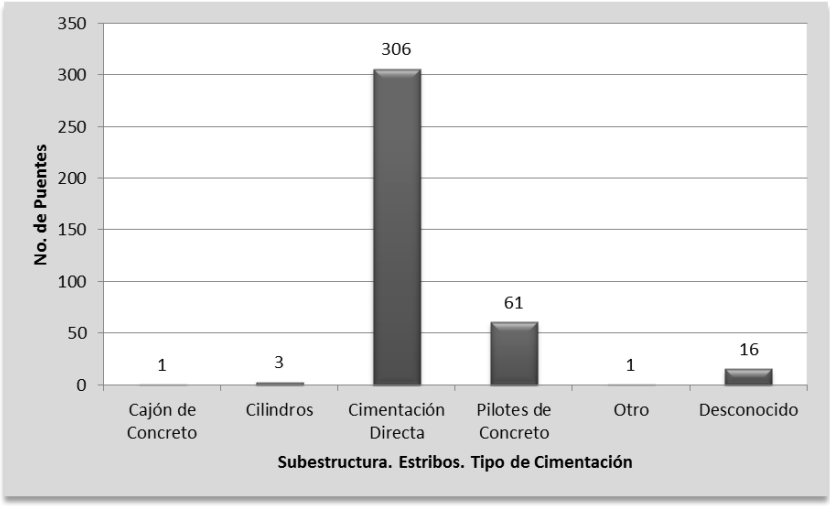


Figura 2. 153 Tipo de cimentación de los estribos de los puentes de Guerrero.

Se observa que un puente está sobre un cajón de concreto, tres puentes están sobre cilindros, trescientos seis puentes tienen una cimentación directa, sesenta y uno puentes tienen pilotes de concreto, un puente tiene otro tipo de cimentación y dieciséis puentes se desconoce el tipo de cimentación.

En la subestructura donde aplican las pilas, el tipo de pilas se observa en la Figura 2. 154.

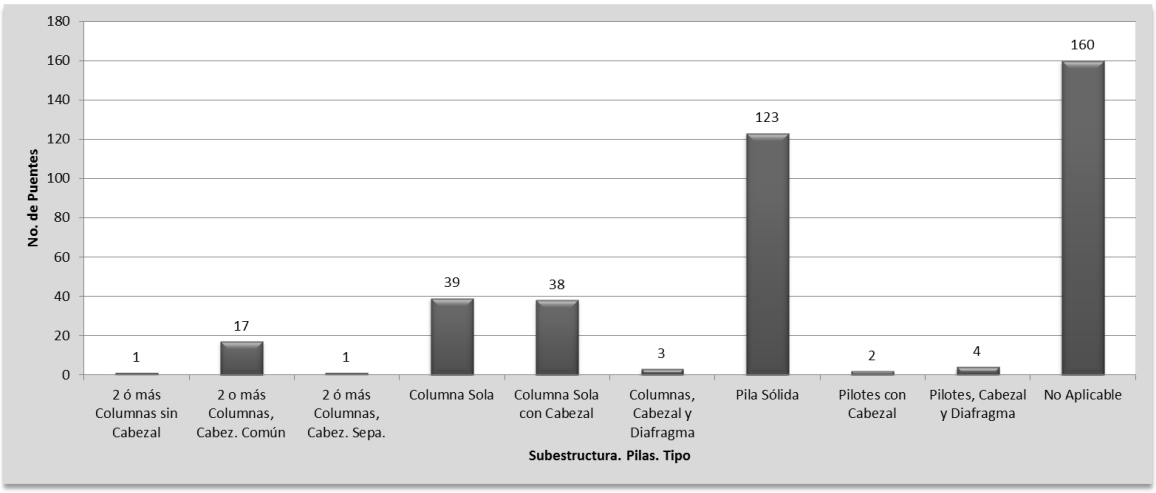


Figura 2. 154 Tipo de pilas de los puentes de Guerrero.

De acuerdo a lo anterior, un puente tiene 2 o más columnas sin cabezal, diecisiete puentes tienen 2 o más columnas con cabezal común, un puente es de 2 o más columnas con cabezal separado, treinta y nueve puentes tienen una columna sola, treinta y ocho puentes tienen columna sola con cabezal, tres puentes tienen columnas, cabezal y diafragma, ciento veintitrés puentes tienen pila sólida, dos puentes tienen pilotes con cabezal, cuatro puentes tienen pilotes, cabezal y diafragma y ciento sesenta puentes no tienen pilas como subestructura.

El material de las pilas se menciona en la Figura 2. 155.

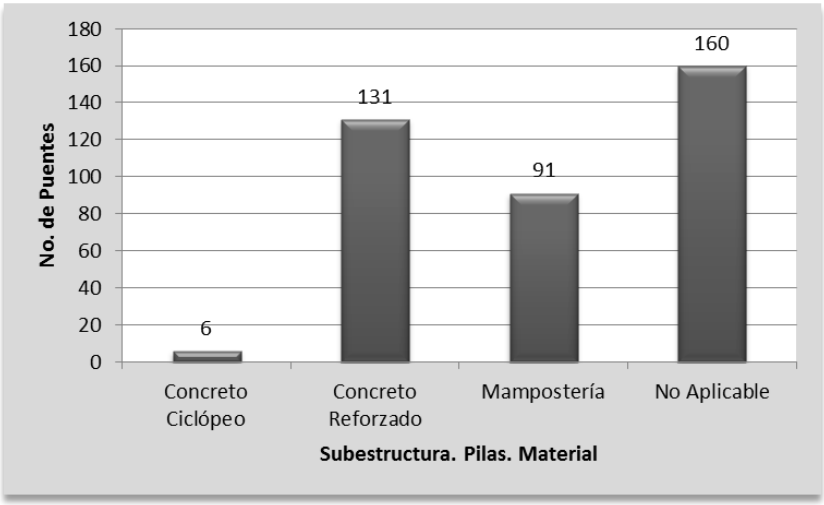


Figura 2. 155 Material de la pilas de los puentes de Guerrero.

Se observa que seis puentes son de concreto ciclópeo, ciento treinta y uno puentes son de concreto reforzado, noventa y uno puentes son de mampostería y ciento sesenta puentes no presentan pilas como subestructura.

El tipo de cimentación de las pilas se menciona en la Figura 2. 156.

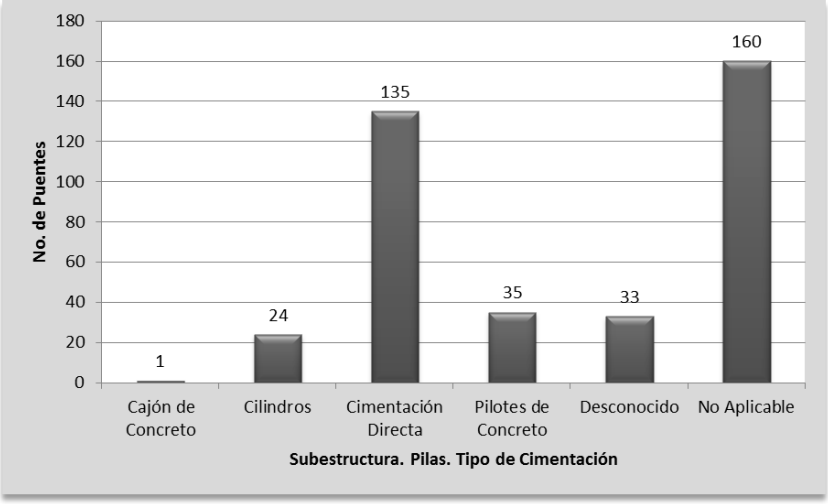


Figura 2. 156 Tipo de cimentación de la pilas de los puentes de Guerrero.

Se observa que un puente está sobre un cajón de concreto, veinticuatro puentes están sobre cilindros, ciento treinta y cinco puentes tienen una cimentación directa, treinta y cinco puentes están sobre pilotes de concreto, treinta y tres puentes se desconoce el tipo de cimentación y ciento sesenta puentes no tienen pilas como subestructura.

En el inventario de SIPUMEX, en el apartado de los detalles, se tomaron algunos parámetros. Uno de ellos es el tipo de superficie de desgaste como se observa en la Figura 2. 157.

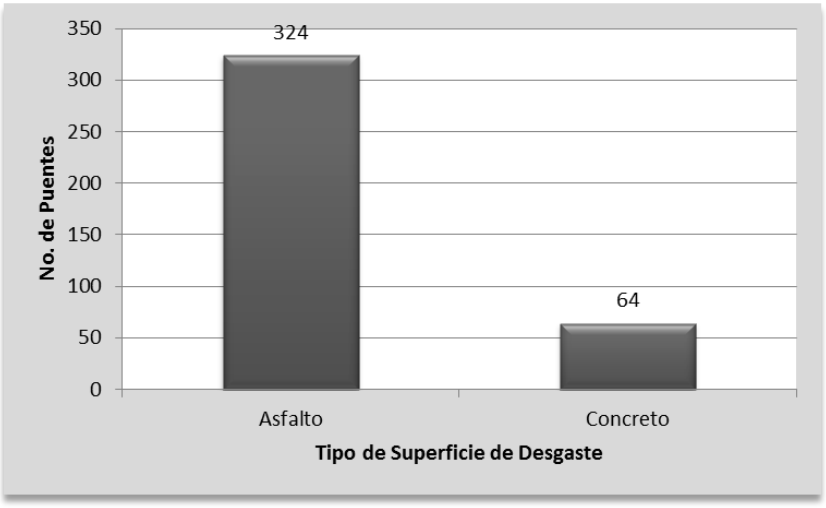


Figura 2. 157 Tipo de superficie de desgaste de los puentes de Guerrero.

Se observa que trescientos veinticuatro puentes su superficie es de asfalto y sesenta y cuatro puentes la superficie es de concreto.

Otro importante concepto es el tipo de apoyo fijo sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 158.

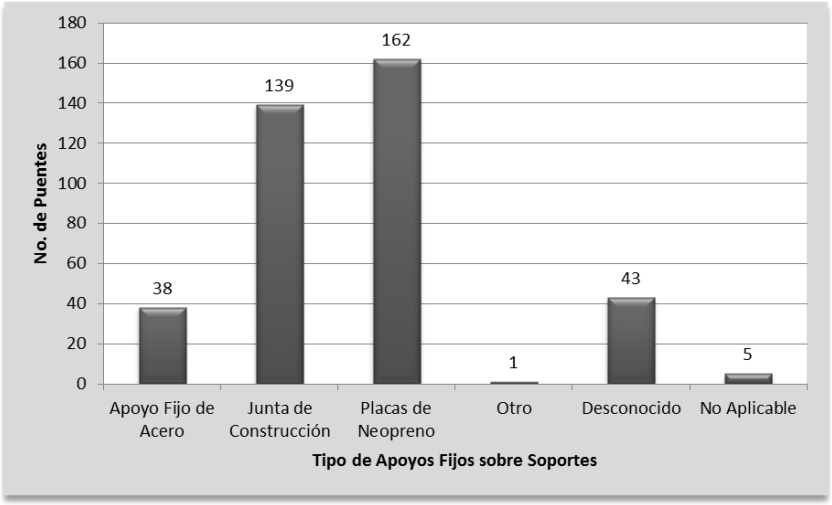


Figura 2. 158 Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes de Guerrero.

En base a lo anterior, treinta y ocho puentes tienen apoyo fijo de acero, ciento treinta y nueve puentes tienen junta de construcción, ciento sesenta y dos puentes tienen placas de

neopreno, un puente tiene otro tipo de apoyo fijo, cuarenta y tres puentes se desconoce el tipo de apoyo fijo y cinco puentes no aplican este tipo de apoyo.

En los puentes también se tienen apoyos móviles sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 159.

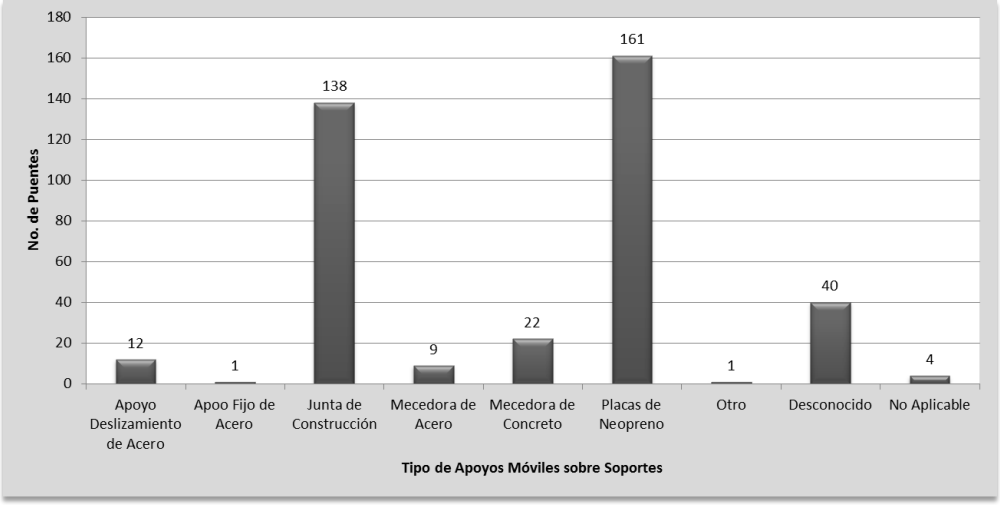


Figura 2. 159 Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes de Guerrero.

En la figura se observan doce puentes tienen apoyo deslizamiento de acero, un puente tiene apoyo fijo de acero, ciento treinta y ocho puentes tienen junta de construcción, nueve puentes tienen mecedora de acero, veintidós puentes tienen mecedora de concreto, ciento sesenta y uno puentes tienen placas de neopreno, un puente tienen otro tipo de apoyo móvil, cuarenta puentes se desconoce el tipo de apoyo móvil y cuatro puentes no aplican este tipo de apoyo.

Un dato muy importante en los puentes es la carga con la cual fueron diseñados los puentes, estas cargas se muestran en la Figura 2. 160.

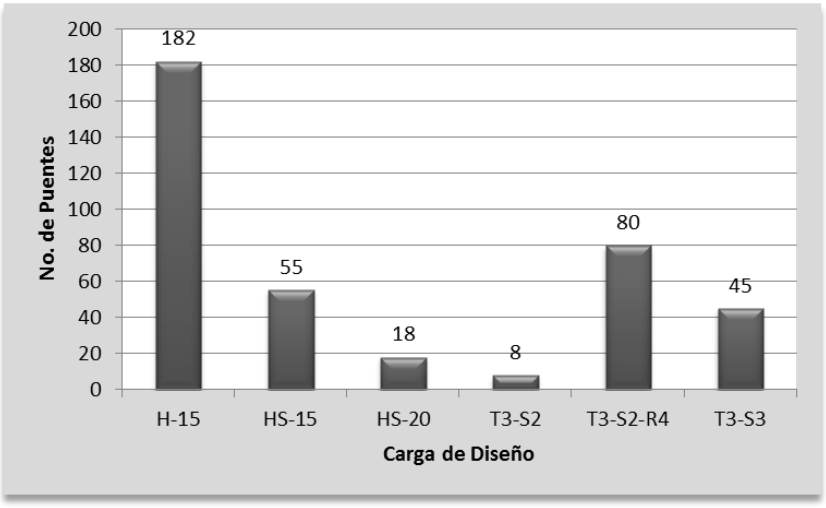


Figura 2. 160 Carga de diseño de los puentes de Guerrero.

Se observa que ciento ochenta y dos puentes fueron diseñados con carga H-15, ciento treinta y seis puentes, cincuenta y cinco puentes fueron diseñado para una carga HS-15, dieciocho puentes fueron diseñados con una carga HS-20, ocho puentes fueron diseñados para una carga T3-S2, ochenta puentes fueron diseñados para una carga T3-S2-R4 y cuarenta y cinco puentes fueron diseñados para una carga T3-S3.

Una de las funciones de los puentes es cruzar obstáculos. Estos obstáculos se mencionan en la Figura 2. 161.

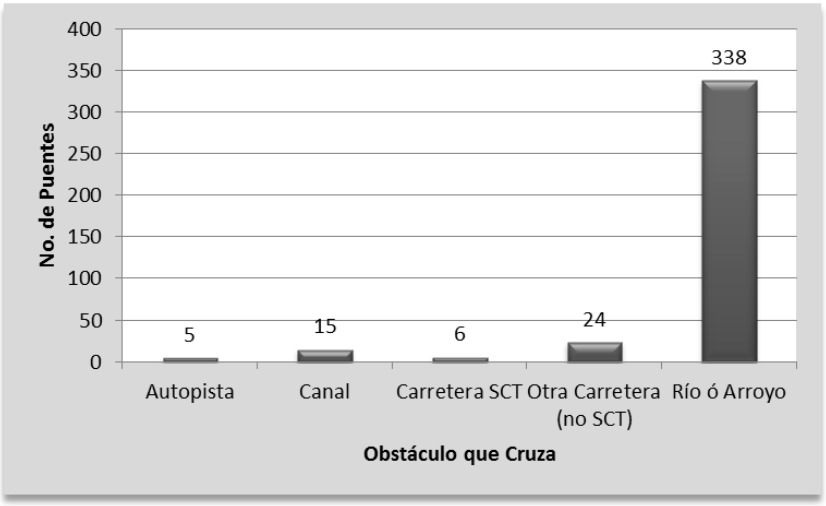


Figura 2. 161 Obstáculos que cruzan los puentes de Guerrero.

Se observa cinco puentes cruzan una autopista, quince puentes cruzan un canal, seis puentes cruzan una carretera de la SCT, veinticuatro puentes cruzan una carretera que no es de la SCT y trescientos treinta y ocho puentes cruzan un río o arroyo.

Algunos de los propietarios de estos puentes se mencionan en la Figura 2. 162.

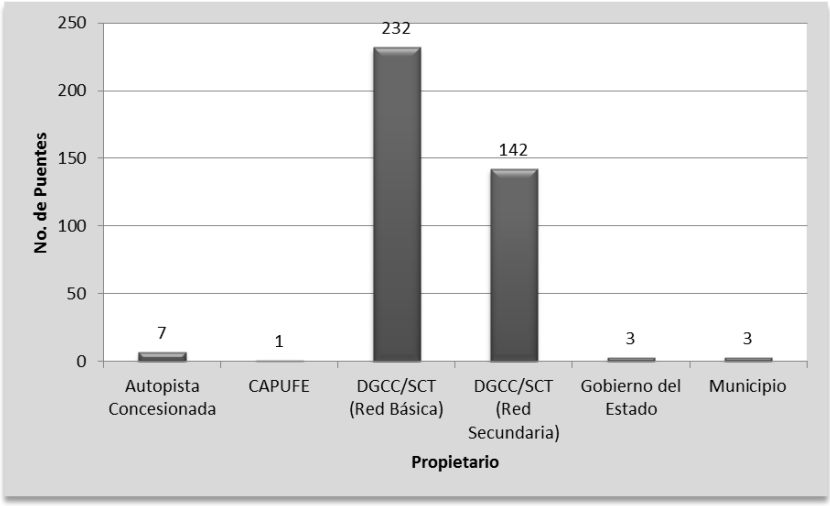


Figura 2. 162 Propietarios de los puentes de Guerrero.

En la figura anterior se observa que siete puentes están a cargo de alguna autopista concesionada, un puente está a cargo de CAPUFE, doscientos treinta y dos puentes están a cargo de la Dirección General de Conservación de Carreteras en lo que pertenece a la red básica, ciento cuarenta y dos puentes pertenecen a la red secundaria, tres puentes están a cargo del gobierno del estado y otros tres puentes están a cargo del gobierno de algún municipio de Guerrero.

Como se mencionó en el capítulo anterior, es muy importante el Transito Promedio Diario Anual, por lo que estos puentes se ubican en sitios donde se presentan los siguiente TPDA de acuerdo a la Figura 2. 163.

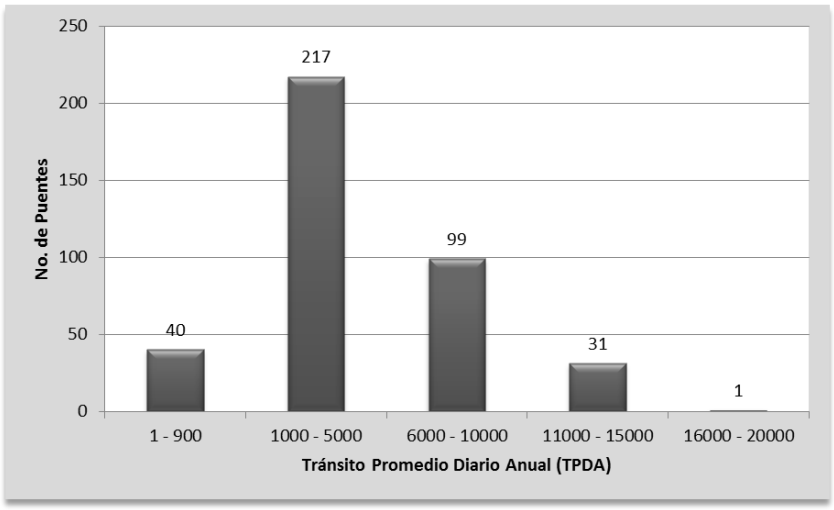


Figura 2. 163 TPDA registrado en los puentes de Guerrero.

Con lo anterior se observa que cuarenta puentes tienen un registro de un TPDA entre 1 y 900, doscientos diecisiete puentes tienen un registro de un TPDA entre 1,000 y 5,000, noventa y nueve puentes tienen un TPDA entre 6,000 y 10,000, treinta y uno puentes tienen un TPDA entre 11,000 y 15,000 y un puente tiene un TPDA entre 16,000 y 20,000.

Una de las finalidades del inventario de SIPUMEX es conocer los daños que presentan los puentes en general. A continuación se muestra en la Figura 2. 164 la calificación de los puentes en general, de acuerdo a la Tabla 2. 3.

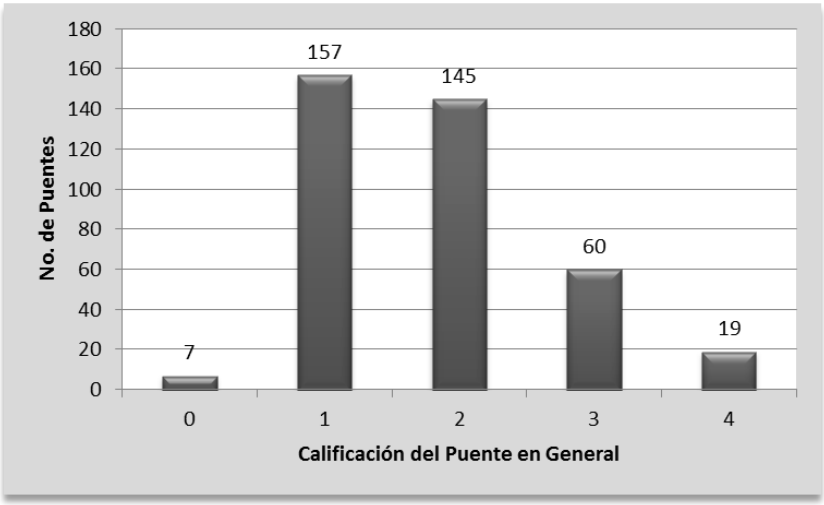


Figura 2. 164 Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes de Guerrero.

Se observa que en Guerrero, siete puentes tienen una calificación de "0", ciento cincuenta y siete puentes tienen una calificación de "1", ciento cuarenta y cinco puentes tienen una calificación de "2", sesenta puentes tienen una calificación de "3" y diecinueve puentes tienen una calificación de "4", de acuerdo con la calificación de SIPUMEX.

2.4.5 OAXACA

De acuerdo con el inventario (SIPUMEX, 2011), el Estado de Oaxaca cuenta con cuatrocientos sesenta puentes, de los cuales se dividen en puentes carreteros y puentes peatonales, como se muestra en la Figura 2. 165.

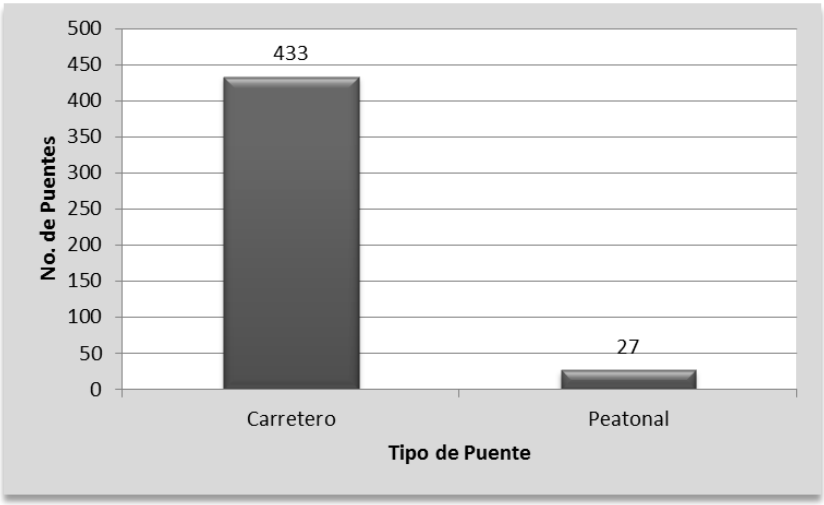


Figura 2. 165 Tipo de puentes de Oaxaca.

De acuerdo a lo anterior, se observa que de los cuatrocientos sesenta puentes que se tienen registrados en el inventario, cuatrocientos treinta y tres puentes son carreteros y veintisiete son puentes peatonales. En este caso, solo se estudiarán los puentes carreteros.

Los cuatrocientos treinta y tres puentes en estudio se ubican en diferentes rutas carreteras, como se muestra en la Figura 2. 166.

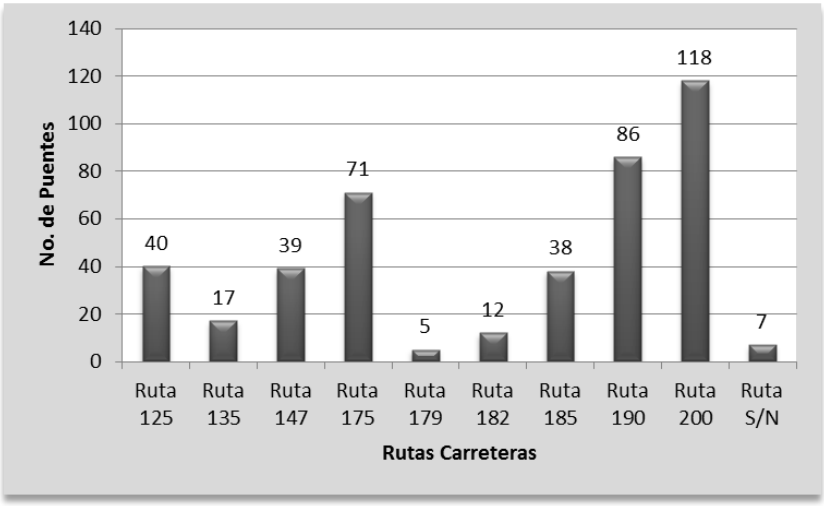


Figura 2. 166 Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras de Oaxaca.

Se observa que cuarenta puentes se ubican sobre la ruta 125, diecisiete puentes se ubican sobre la ruta 135, treinta y nueve se ubican sobre la ruta 147, setenta y uno se ubican sobre la ruta 175, cinco se ubican sobre la ruta 179, doce puentes se ubican sobre la ruta 182, treinta y ocho puentes se ubican sobre la ruta 185, ochenta y seis se ubican sobre la ruta 190, ciento dieciocho se ubican sobre la ruta 200 y siete puentes se ubican sobre alguna ruta sin número.

Una característica importante de estos puentes es el periodo de construcción, esto se observa en la Figura 2. 167.

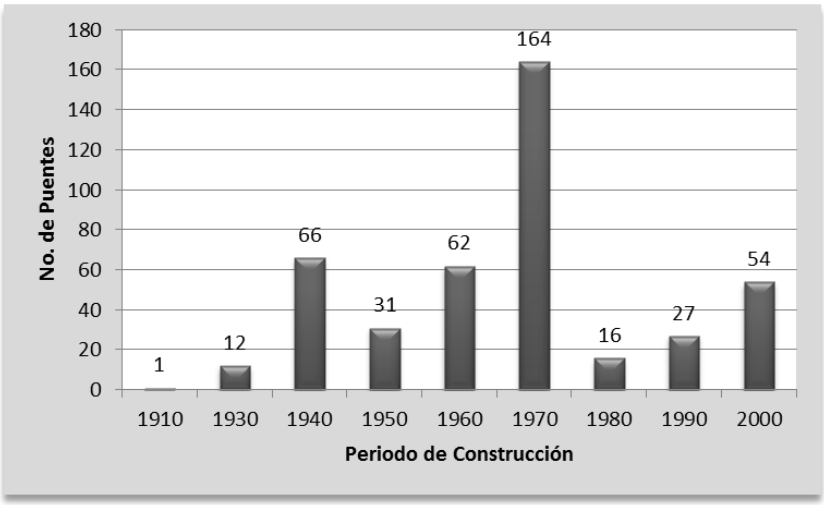


Figura 2. 167 Periodos de construcción de los puentes de Oaxaca.

Se observa que un puente se construyó en la década de los 10's, doce puentes se construyeron en la década de los 30's, sesenta y seis puentes se construyeron en la década de los 40's, treinta y uno puentes se construyeron en la década de los 50's, sesenta y dos puentes se construyeron en la década de los 60's, ciento sesenta y cuatro puentes se construyeron en la década de los años 70's, dieciséis puentes se construyeron en la década de los años 80's, veintisiete puentes se construyeron en la década de los años 90's y cincuenta y cuatro puentes se construyeron la década del 2000.

Algunos de los puentes en estudio han sido reconstruidos, esto se observa en la Figura 2. 168.

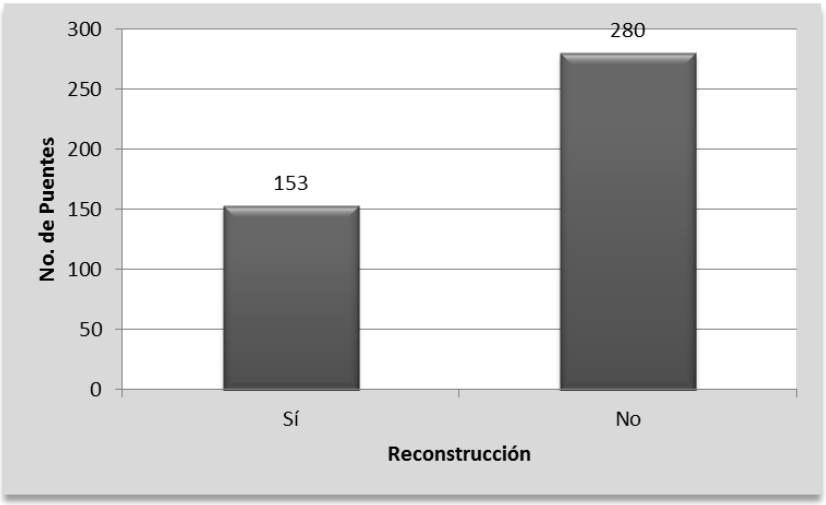


Figura 2. 168 Puentes reconstruidos de Oaxaca.

Se observa que ciento cincuenta y tres puentes ya han sido reconstruidos y doscientos ochenta puentes no han requerido de su reconstrucción.

Otra característica importante es el tipo de paso, como se observa en la Figura 2. 169.

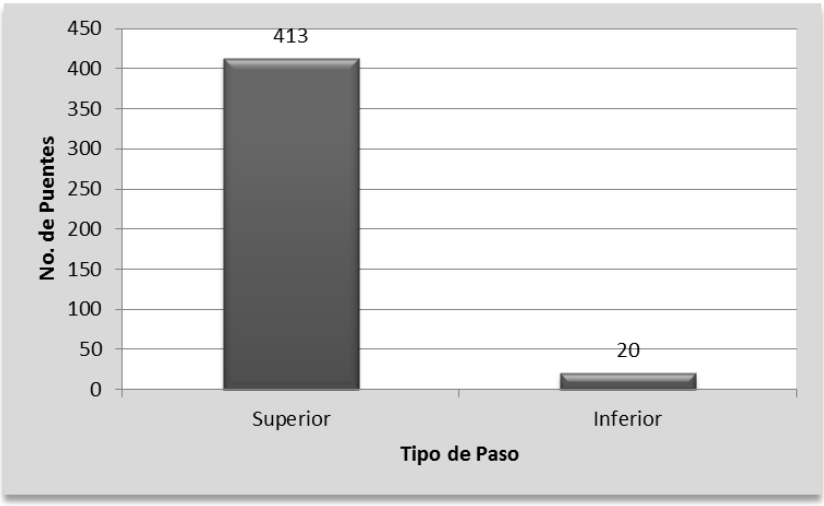


Figura 2. 169 Tipo de paso de los puentes de Oaxaca.

En la figura anterior se observa que cuatrocientos trece puentes son pasos superiores y veinte puentes son pasos inferiores.

Dentro de la geometría de los puentes, se tiene el número de claros que tienen los puentes en estudio, como se observa en la Figura 2. 170.

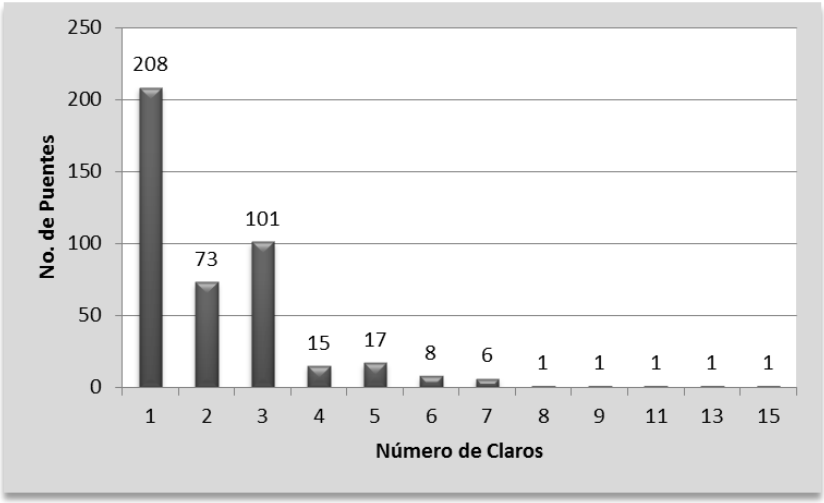


Figura 2. 170 Número de claros de los puentes de Oaxaca.

De acuerdo a la figura, doscientos ocho puentes son de un claro, setenta y tres puentes son de dos claros, ciento uno puentes son de tres claros, quince puentes son de cuatro

claros, diecisiete puentes son de cinco claros, ocho puentes son de seis claros, seis puentes son de siete claros y un puente es de ocho, nueve, once, trece y quince claros.

En el inventario de puentes, se mencionan las longitudes mínima y máxima de claro, como se observa en la Figura 2. 171 y Figura 2. 172.

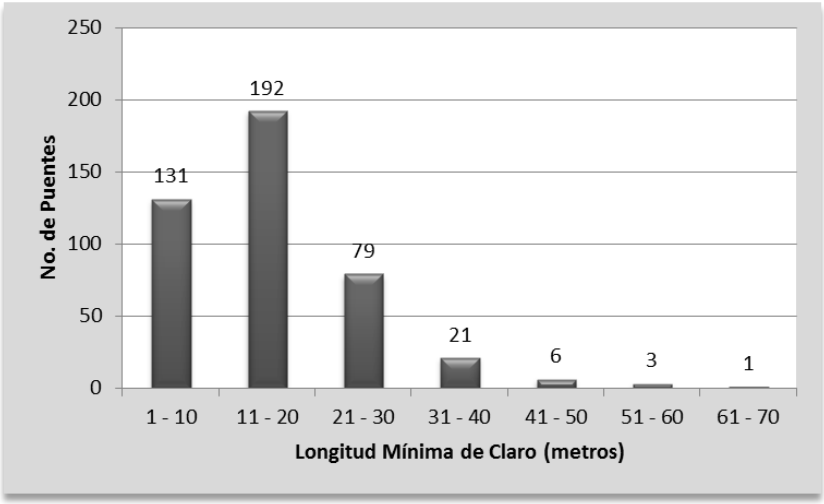


Figura 2. 171 Longitud mínima de claro de los puentes de Oaxaca.

Se observa que ciento treinta y uno puentes tienen la longitud mínima de claro entre 1 y 10 metros, ciento noventa y dos puentes tienen la longitud mínima de claro entre 11 y 20 metros, setenta y nueve puentes tienen una longitud mínima entre 21 y 30 metros, veintiuno puentes tienen una longitud mínima entre 31 y 40 metros, seis puentes tienen una longitud mínima entre 41 y 50 metros, tres puentes tienen una longitud mínima entre 51 y 60 metros y uno puente tiene una longitud mínima de claro entre 61 y 70 metros.

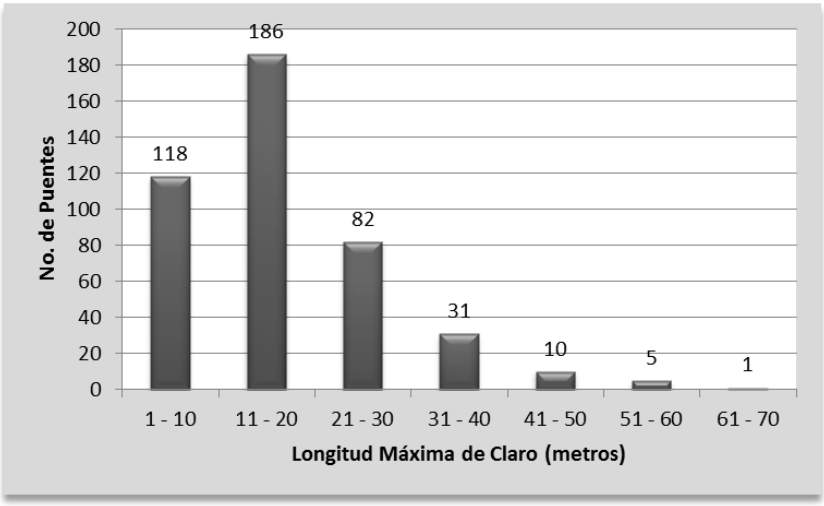


Figura 2. 172 Longitud máxima de claro de los puentes de Oaxaca.

Se observa que ciento dieciocho puentes tienen la longitud máxima de claro entre 1 y 10 metros, ciento ochenta y seis puentes tienen la longitud máxima de claro entre 11 y 20 metros, ochenta y dos puentes tienen una longitud máxima entre 21 y 30 metros, treinta y uno puentes tienen una longitud máxima entre 31 y 40 metros, diez puentes tienen una longitud máxima entre 41 y 50 metros, cinco puentes tienen una longitud máxima de claro entre 51 y 60 metros y un puente tiene una longitud máxima de claro entre 61 y 70 metros.

Una de las características de la geometría de los puentes es la longitud total de los puentes, que se mencionan en la Figura 2. 173.

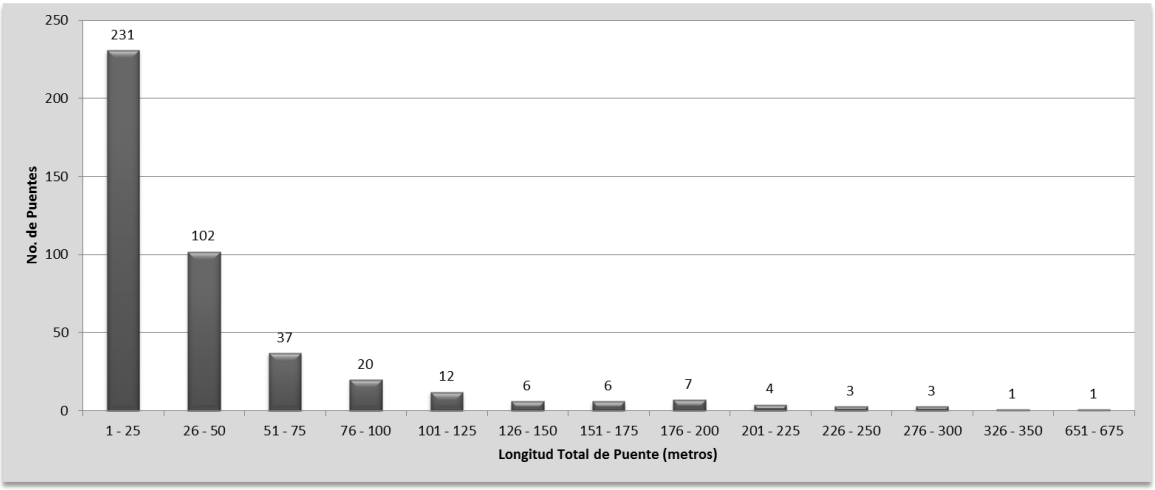


Figura 2. 173 Longitud total de puentes de Oaxaca.

Se observa que doscientos treinta y uno puentes tienen una longitud total entre 1 y 25 metros, ciento dos puentes tienen una longitud total entre 26 y 50 metros, treinta y siete puentes tienen una longitud total entre 51 y 75 metros, veinte puentes tienen una longitud total entre 76 y 100 metros, doce puentes tienen una longitud total entre 101 y 125 metros, seis puentes tienen una longitud total entre 126 y 150 metros y entre 151 y 175 metros, siete puentes tienen una longitud total entre 176 y 200 metros, cuatro puentes tienen una longitud total entre 201 y 225 metros, tres puentes tienen una longitud total entre 226 y 250 y entre 276 y 300 y un puente tiene una longitud total entre 326 y 350 metros, así como 651 y 675 metros respectivamente.

Otra característica que se requiere de los puentes es el ancho total del puente, los cuales se observan en la Figura 2. 174.

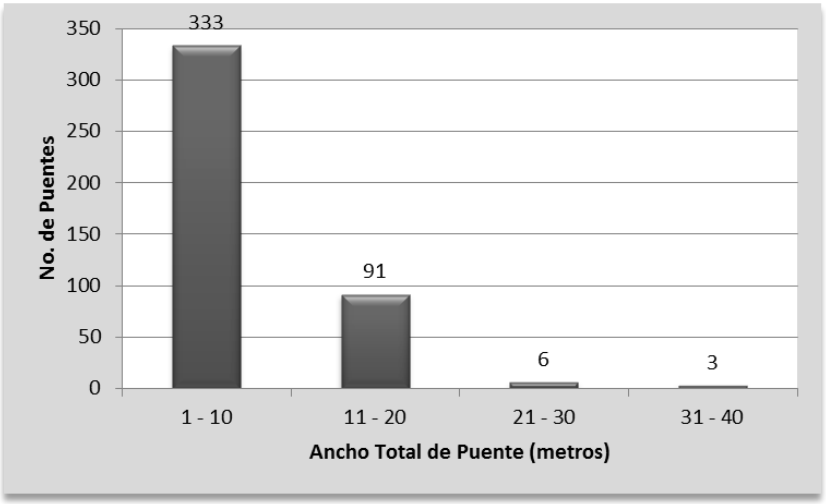


Figura 2. 174 Ancho total de los puentes de Oaxaca.

De la figura anterior, se observa que trescientos treinta y tres puentes tienen un ancho total entre 1 y 10 metros, noventa y uno puentes tienen un ancho total entre 11 y 20 metros, seis puentes tienen un ancho total entre 21 y 30 metros y tres puentes tienen un ancho total de puente entre 31 y 40 metros.

Algunos puentes se encuentran en curva, estos se pueden observar en la Figura 2. 175.

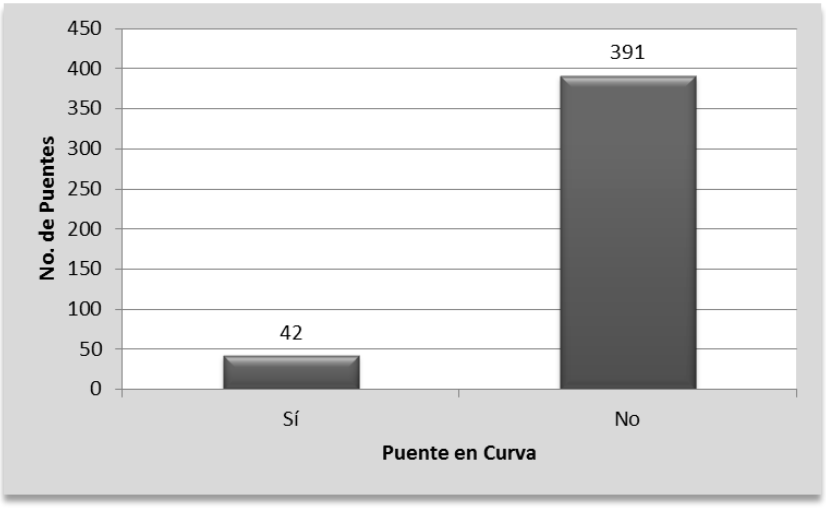


Figura 2. 175 Puentes en curva de Oaxaca.

Se observa que cuarenta y dos puentes se encuentran en curva, mientras que trescientos noventa y uno puentes no están en curva.

Por el trazo que tienen algunas carreteras, es necesario que algunos de los puentes se encuentren esviajados, estos se mencionan en la Figura 2. 176.

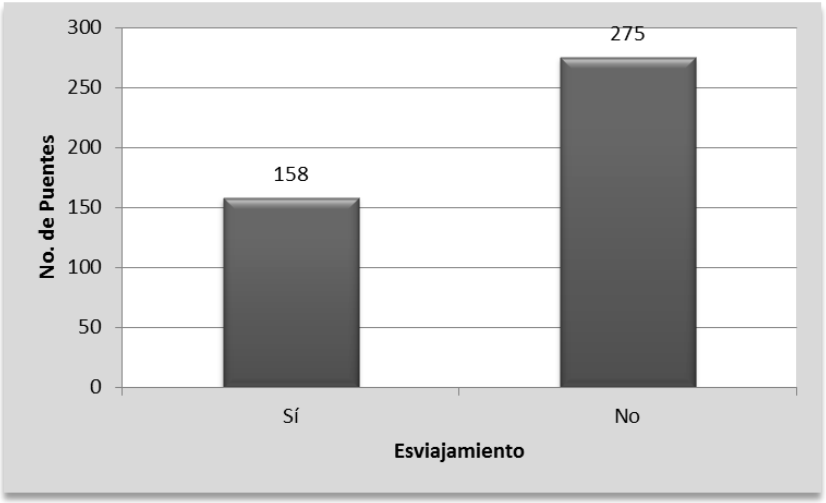


Figura 2. 176 Puentes esviajados de Oaxaca.

De lo anterior, ciento cincuenta y ocho puentes tienen esviajamiento y doscientos setenta y cinco puentes no presentan esviajamiento. De los ciento cincuenta y ocho puentes

que presentan esviajamiento, en la Figura 2. 177 se muestra el grado de esviajamiento que tienen.

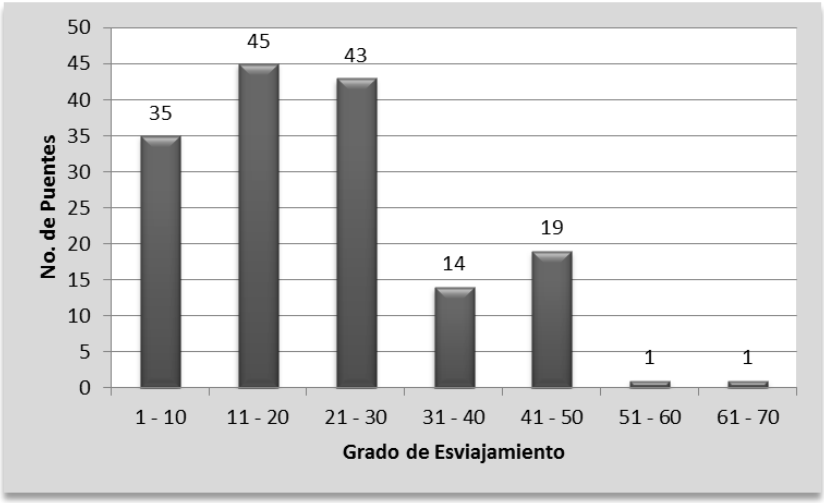


Figura 2. 177 Grado de esviajamiento de los puentes de Oaxaca.

De la figura anterior, treinta y cinco puentes presentan un esviajamiento de 1 a 10 grados, cuarenta y cinco puentes tienen un esviajamiento entre 11 y 20 grados, cuarenta y tres puentes tienen un esviajamiento entre 21 y 30 grados, catorce puentes tienen un esviajamiento entre 31 y 40 metros, diecinueve puentes tienen un esviajamiento entre 41 y 50 metros y un puente tiene un esviajamiento entre 51 y 60 grados y entre 61 y 70 grados.

La superestructura de los puentes es una de las partes importantes de estas estructuras. En el inventario de puentes, se mencionan tres características de este elemento, una de ellas es el diseño de la sección transversal, como se observa en la Figura 2. 178.

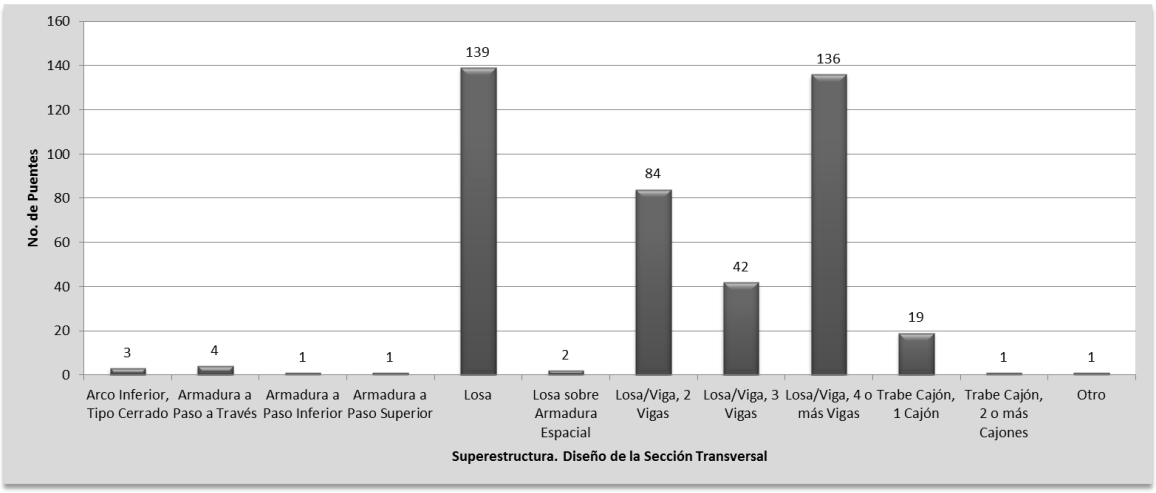


Figura 2. 178 Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes de Oaxaca.

En la figura anterior se observa que tres puentes son en forma de arco inferior tipo cerrado, cuatro puentes tienen forma de armadura a paso a través, un puente tiene armadura a paso inferior y armadura a paso superior, ciento treinta y nueve puentes tienen son de losa, dos puentes tienen losa sobre armadura espacial, ochenta y cuatro puentes son con losa y 2 vigas, cuarenta y dos puentes son con losa y 3 vigas, ciento treinta y seis puentes son con losa y 4 o más vigas, diecinueve puentes son con una trabe cajón y un puente tiene 2 o más trabes cajón y tiene otra sección transversal.

El diseño de la elevación de la superestructura se observa en la Figura 2. 179.

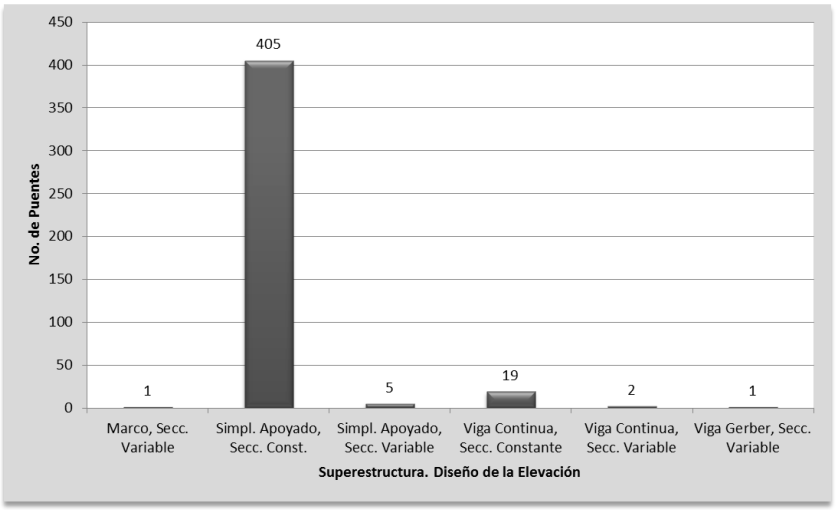


Figura 2. 179 Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes de Oaxaca.

Se observa que un puente está apoyado sobre un marco con sección variable, cuatrocientos cinco puentes están simplemente apoyados con sección constante, cinco puentes están simplemente apoyados con sección variable, diecinueve puentes están sobre una viga continua con sección constante, dos puentes están apoyados sobre una viga continua con sección variable y un puente esta sobre una viga Gerber con sección variable.

El material con el cual fueron construidos la superestructura de los puentes se menciona en la Figura 2. 180.

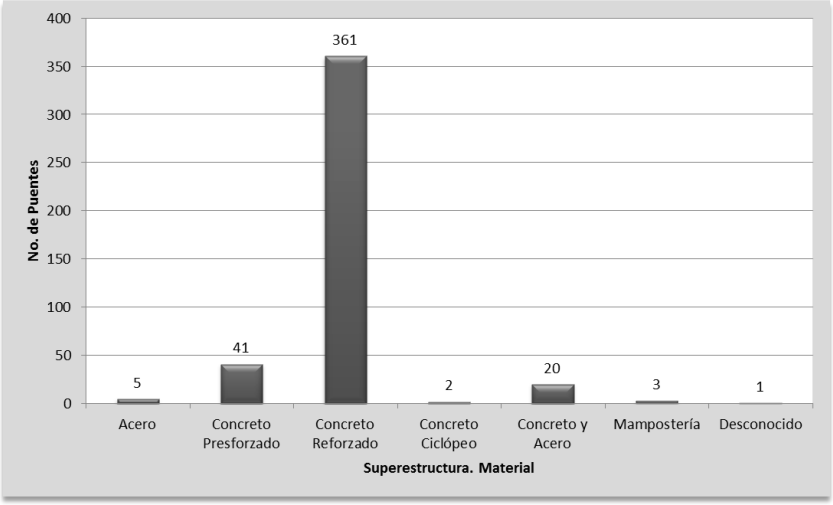


Figura 2. 180 Material de la superestructura de los puentes de Oaxaca.

En la figura anterior se observa que cinco puentes la superestructura es de acero, cuarenta y uno puentes son de concreto presforzado, trescientos sesenta y uno puentes son de concreto reforzado, dos puentes son de concreto ciclópeo, veinte puentes son de concreto y acero, tres puentes son de mampostería y un puente se desconoce el material.

Otra de las partes importantes de los puentes es la subestructura. En el caso de los puentes que tienen estribos, en la Figura 2. 181 se mencionan el tipo de estribos.

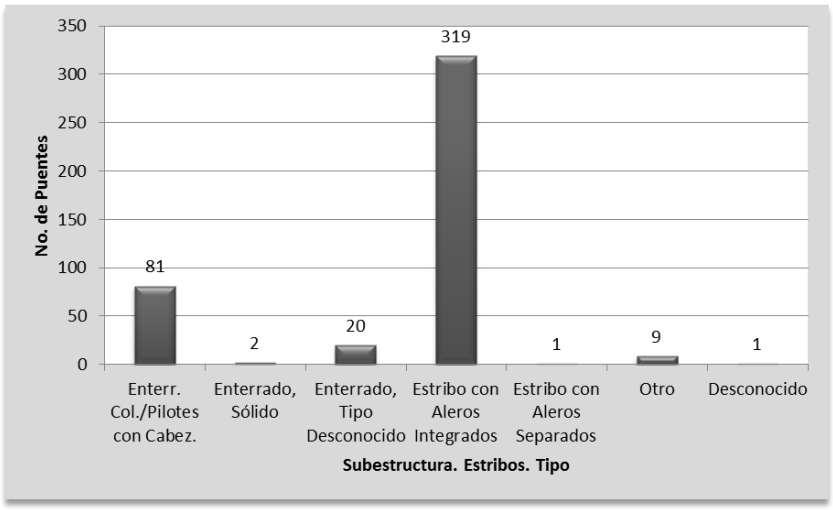


Figura 2. 181 Tipo de estribos de los puentes de Oaxaca.

Se observa que ochenta y uno puentes los estribos son enterrada la columna con pilotes con cabezal, dos puentes los estribos están enterrados sólidos, veinte puentes los estribos son enterrados tipo desconocido, trescientos diecinueve puentes están sobre estribos con aleros integrados, un puente está sobre estribo con aleros separados, nueve puentes tienen otro tipo de estribo y un puente se desconoce el tipo de estribo.

El material de los estribos se menciona en la Figura 2. 182.

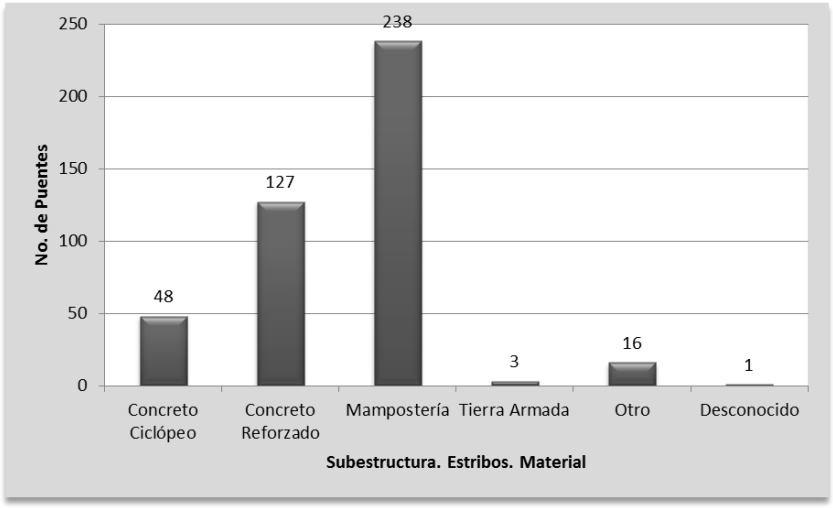


Figura 2. 182 Materiales de los estribos de los puentes de Oaxaca.

Se observa que cuarenta y ocho puentes son de concreto ciclópeo, ciento veintisiete puentes son de concreto reforzado, doscientos treinta y ocho puentes son de mampostería, tres son de tierra armada, dieciséis puentes son de otro material y un puente se desconoce el material del estribo.

El tipo de cimentación de los estribos se menciona en la Figura 2. 183.

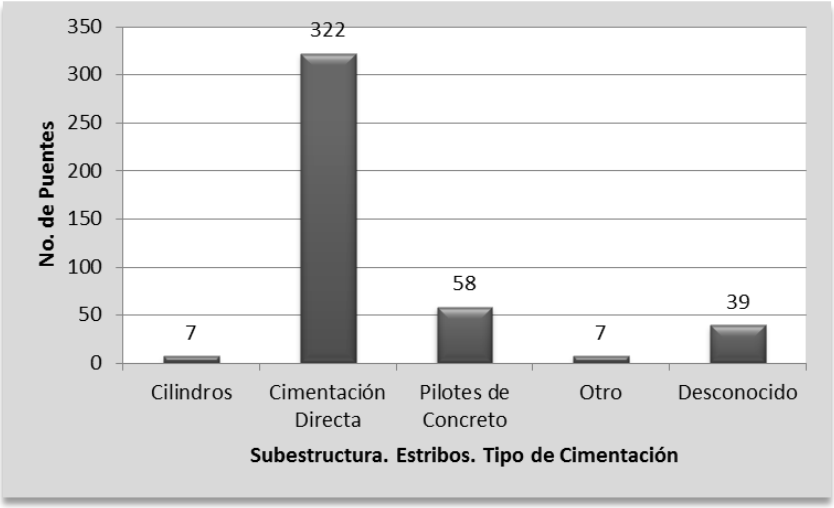


Figura 2. 183 Tipo de cimentación de los estribos de los puentes de Oaxaca.

Se observa que siete puentes están sobre cilindro, trescientos veintidós puentes tienen una cimentación directa, cincuenta y ocho puentes tienen pilotes de concreto, siete puentes tienen otro tipo de cimentación y treinta y nueve puentes se desconoce el tipo de cimentación.

En la subestructura donde aplican las pilas, el tipo de pilas se observa en la Figura 2. 184.

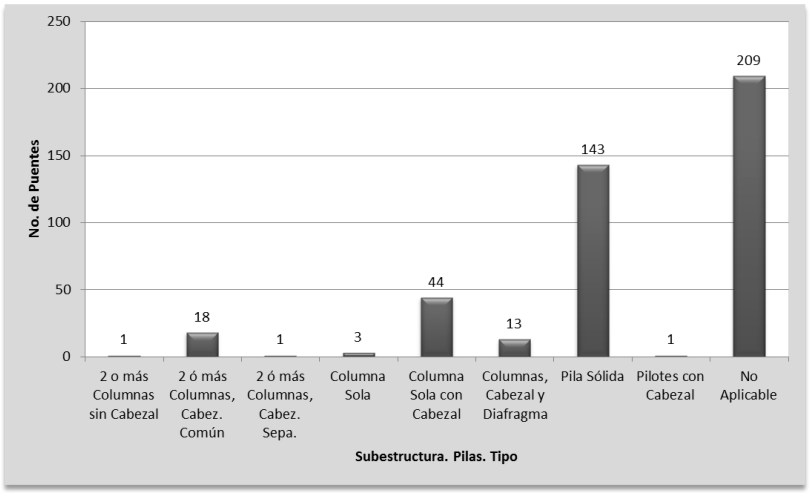


Figura 2. 184 Tipo de pilas de los puentes de Oaxaca.

De acuerdo a lo anterior, un puente tiene 2 o más columnas sin cabezal, dieciocho puentes tienen 2 o más columnas con cabezal común, un puente es de 2 o más columnas con cabezal separado, tres puentes tienen columna sola, cuarenta y cuatro puentes tienen columna sola con cabezal, trece puentes tienen columnas, cabezal y diafragma, ciento cuarenta y tres puentes tienen pila sólida, un puente tiene pilotes con cabezal y doscientos nueve puentes no tienen pilas como subestructura.

El material de las pilas se menciona en la Figura 2. 185.

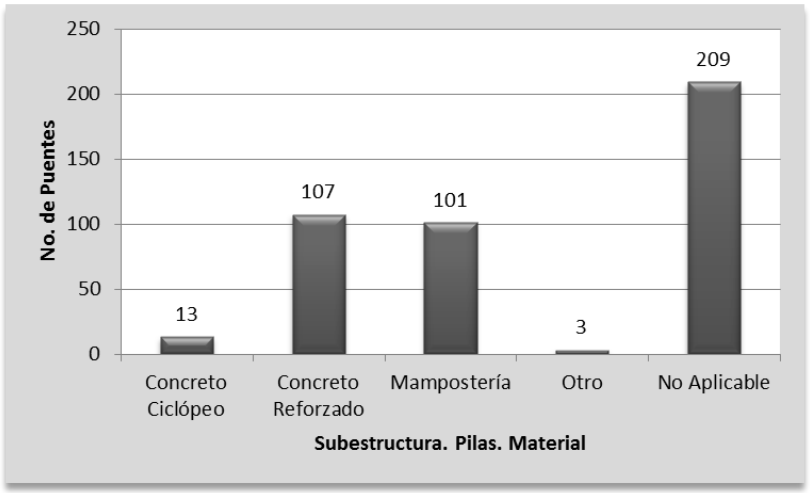


Figura 2. 185 Material de la pilas de los puentes de Oaxaca.

Se observa que trece puentes son de concreto ciclópeo, ciento siete puentes son de concreto reforzado, ciento uno puentes son de mampostería, tres puentes son de otro material y doscientos nueve puentes no presentan pilas como subestructura.

El tipo de cimentación de las pilas se menciona en la Figura 2. 186.

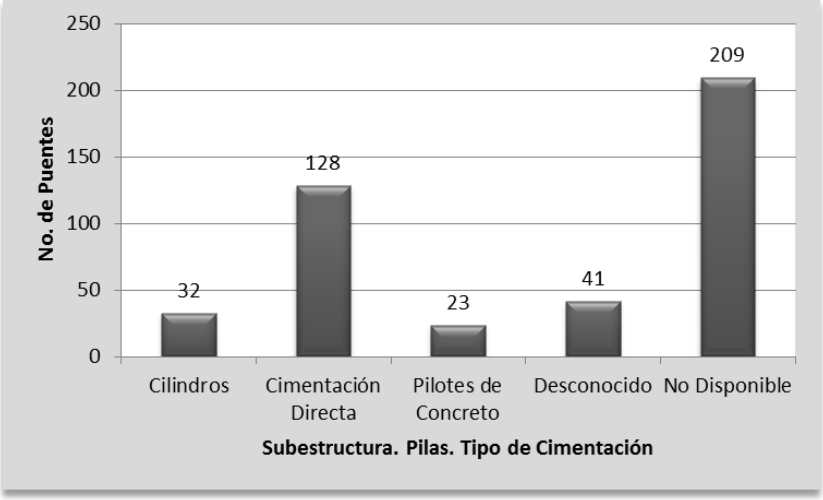


Figura 2. 186 Tipo de cimentación de la pilas de los puentes de Oaxaca.

Se observa que treinta y dos puentes están sobre cilindros, ciento veintiocho puentes tienen una cimentación directa, veintitrés puentes están sobre pilotes de concreto, cuarenta y uno puentes se desconoce el tipo de cimentación y doscientos nueve puentes no tienen pilas como subestructura.

En el inventario de SIPUMEX, en el apartado de los detalles, se tomaron algunos parámetros. Uno de ellos es el tipo de superficie de desgaste como se observa en la Figura 2. 187.

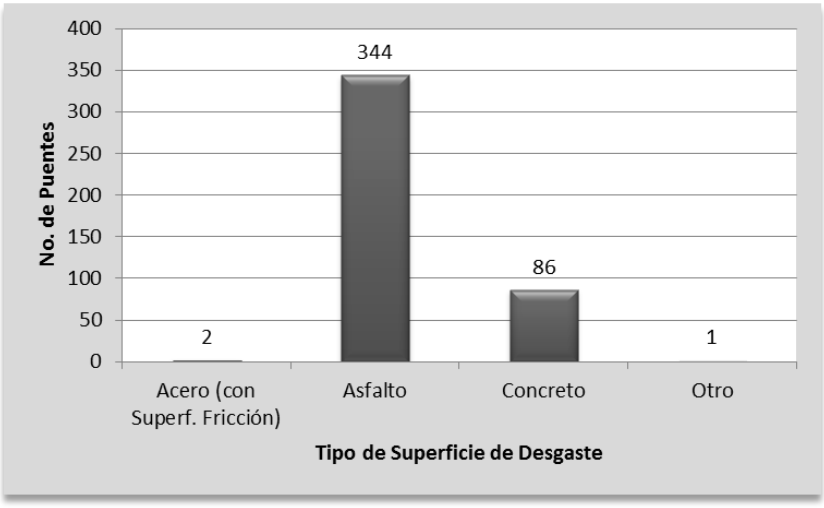


Figura 2. 187 Tipo de superficie de desgaste de los puentes de Oaxaca.

Se observa que dos puentes su superficie es de acero con superficie de fricción, trescientos cuarenta y cuatro puentes su superficie es de asfalto, ochenta y seis puentes la superficie es de concreto y un puente es de otro material.

Otro importante concepto es el tipo de apoyo fijo sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 188.

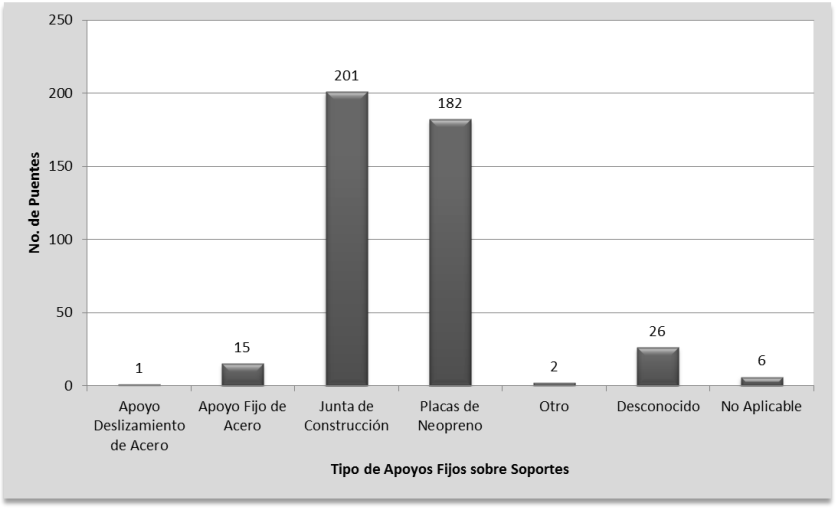


Figura 2. 188 Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes de Oaxaca.

En base a lo anterior, un puente tiene un apoyo deslizamiento de acero, quince puentes tienen apoyo fijo de acero, doscientos uno puentes tienen junta de construcción, ciento

ochenta y dos puentes tienen placas de neopreno, dos puentes tienen otro tipo de apoyo fijo, veintiséis puentes se desconoce el tipo de apoyo fijo y seis puentes no aplican este tipo de apoyo.

En los puentes también se tienen apoyos móviles sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 189.

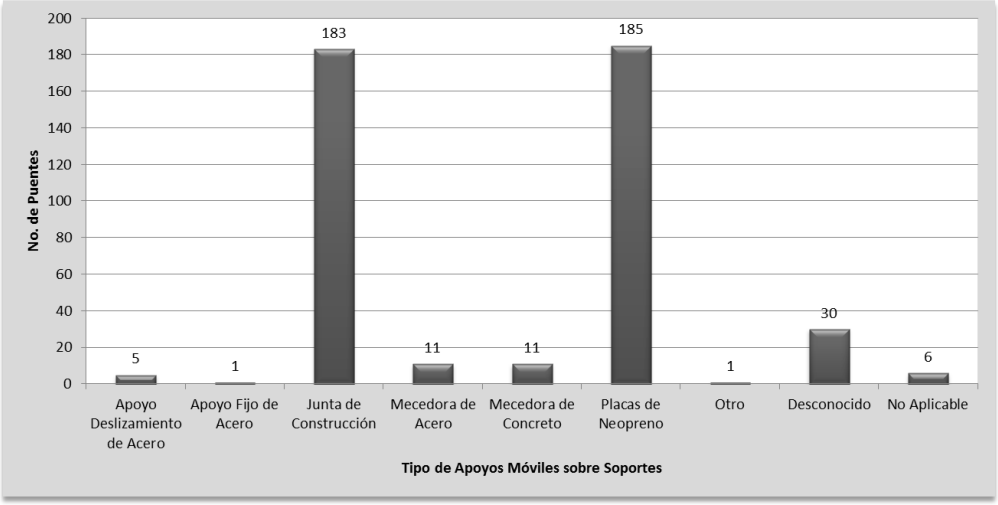


Figura 2. 189 Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes de Oaxaca.

En la figura se observan cinco puentes tienen apoyo deslizamiento de acero, un puente tiene apoyo fijo de acero, ciento ochenta y tres puentes tienen junta de construcción, once puentes tienen mecedora de acero y con mecedora de concreto, ciento ochenta y cinco puentes tienen placas de neopreno, un puente tiene otro tipo de apoyo móvil, treinta puentes se desconoce el tipo de apoyo móvil y seis puentes no aplican este tipo de apoyo.

Un dato muy importante en los puentes es la carga con la cual fueron diseñados los puentes, estas cargas se muestran en la Figura 2. 190.

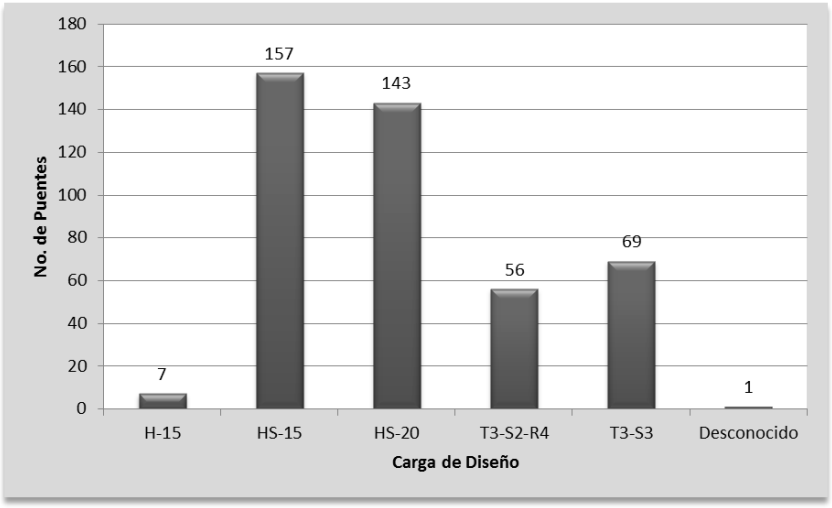


Figura 2. 190 Carga de diseño de los puentes de Oaxaca.

Se observa que siete puentes fueron diseñados con carga H-15, ciento cincuenta y siete puentes fueron diseñado para una carga HS-15, ciento cuarenta y tres puentes fueron diseñados con una carga HS-20, cincuenta y seis puentes fueron diseñados para una carga T3-S2-R4, sesenta y nueve puentes fueron diseñados para una carga T3-S3 y un puente se desconoce la carga con la cual fue diseñado.

Una de las funciones de los puentes es cruzar obstáculos. Estos obstáculos se mencionan en la Figura 2. 191.

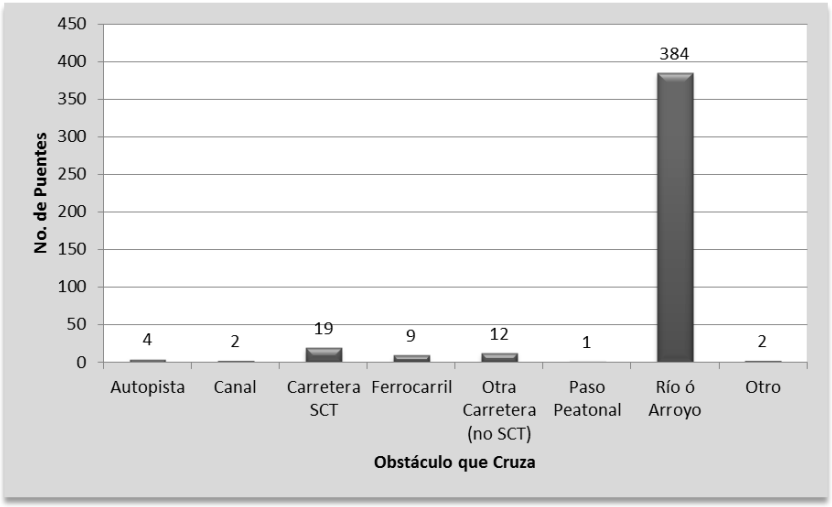


Figura 2. 191 Obstáculos que cruzan los puentes de Oaxaca.

Se observa cuatro puentes cruzan una autopista, dos puentes cruzan un canal, diecinueve puentes cruzan una carretera de la SCT, nueve puentes cruzan una vía férrea, doce puentes cruzan una carretera que no es de la SCT, un puente cruza un paso peatonal, trescientos ochenta y cuatro puentes cruzan un río o arroyo y dos puentes cruzan otro tipo de obstáculo.

Algunos de los propietarios de estos puentes se mencionan en la Figura 2. 192.

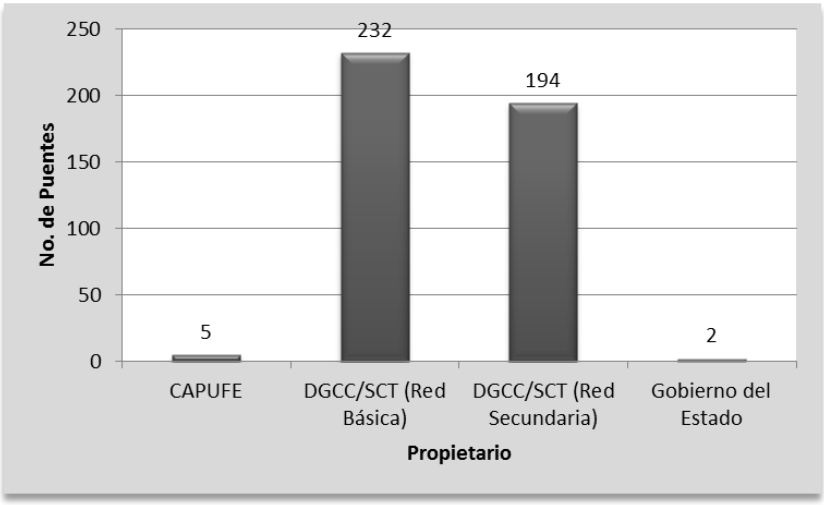


Figura 2. 192 Propietarios de los puentes de Oaxaca.

En la figura anterior se observa que cinco puentes están a cargo de CAPUFE, doscientos treinta y dos puentes están a cargo de la Dirección General de Conservación de Carreteras en lo que pertenecen a la red básica, ciento noventa y cuatro puentes pertenecen a la red secundaria y dos puentes están a cargo del gobierno del estado.

Como se mencionó en el capítulo anterior, es muy importante el Transito Promedio Diario Anual, por lo que estos puentes se ubican en sitios donde se presentan los siguiente TPDA de acuerdo a la Figura 2. 193.

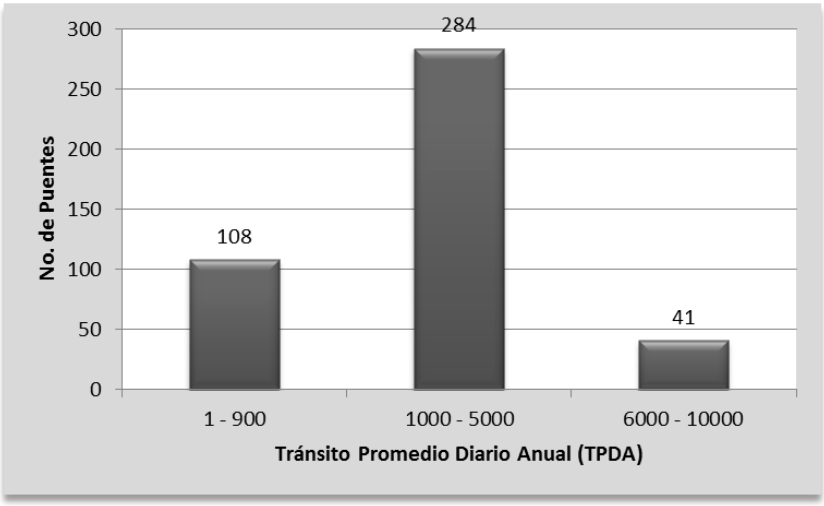


Figura 2. 193 TPDA registrado en los puentes de Oaxaca.

Con lo anterior se observa que ciento ocho puentes tienen un registro de un TPDA entre 1 y 900, doscientos ochenta y cuatro puentes tienen un registro de un TPDA entre 1,000 y 5,000 y cuarenta y uno puentes tienen un TPDA entre 6,000 y 10,000.

Una de las finalidades del inventario de SIPUMEX es conocer los daños que presentan los puentes en general. A continuación se muestra en la Figura 2. 194 la calificación de los puentes en general, de acuerdo a la Tabla 2. 3.

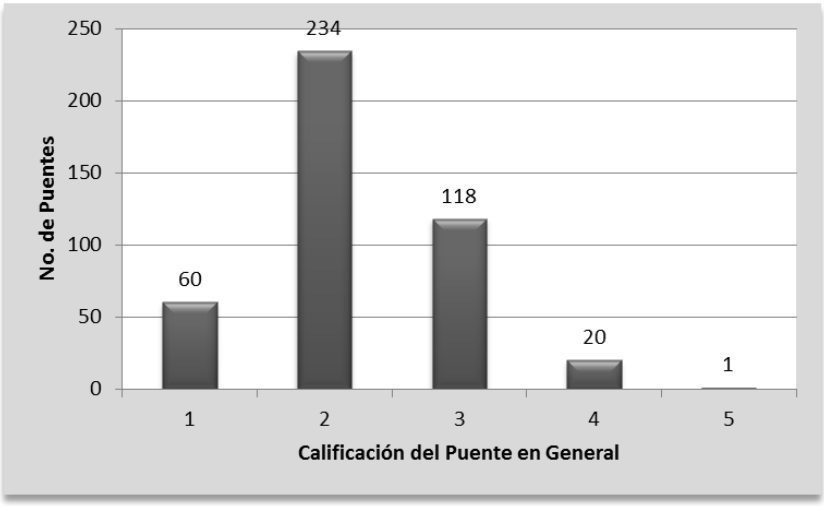


Figura 2. 194 Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes de Oaxaca.

Se observa que en Oaxaca, sesenta puentes tienen una calificación de “1”, doscientos treinta y cuatro puentes tienen una calificación de “2”, ciento dieciocho puentes tienen una calificación de “3”, veinte puentes tienen una calificación de “4” y un puente tiene una calificación de “5”, de acuerdo con la calificación de SIPUMEX.

2.4.6 CHIAPAS

De acuerdo con el inventario (SIPUMEX, 2011), el Estado de Chiapas cuenta con cuatrocientos dieciséis puentes, de los cuales se dividen en puentes carreteros y puentes peatonales, como se muestra en la Figura 2. 195.

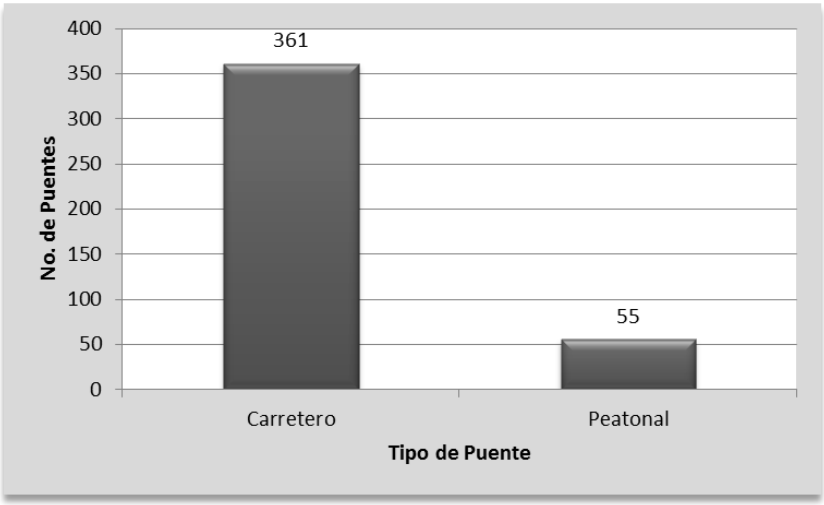


Figura 2. 195 Tipo de puentes de Chiapas.

De acuerdo a lo anterior, se observa que de los cuatrocientos dieciséis puentes que se tienen registrados en el inventario, trescientos sesenta y uno puentes son carreteros y cincuenta y cinco son puentes peatonales. En este caso, solo se estudiarán los puentes carreteros.

Los trescientos sesenta y uno puentes en estudio se ubican en diferentes rutas carreteras, como se muestra en la Figura 2. 196.

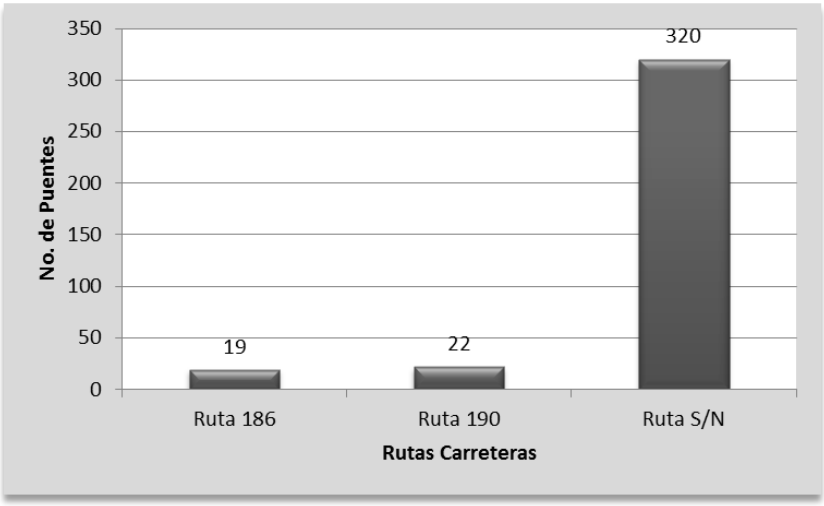


Figura 2. 196 Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras de Chiapas.

Se observa que diecinueve puentes se ubican sobre la ruta 186, veintidós puentes se ubican sobre la ruta 190 y trescientos veinte puentes se ubican sobre una ruta sin número.

Una característica importante de estos puentes es el periodo de construcción, esto se observa en la Figura 2. 197.

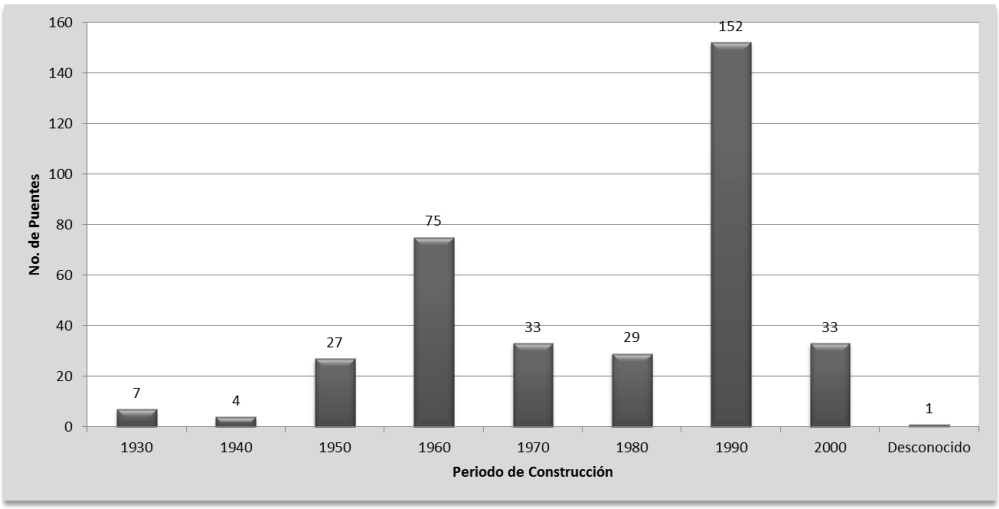


Figura 2. 197 Periodos de construcción de los puentes de Chiapas

Se observa que siete puentes se construyeron en la década de los 30’s, cuatro puentes se construyeron en la década de los 40’s, veintisiete puentes se construyeron en la década de los 50’s, setenta y cinco puentes se construyeron en la década de los 60’s, treinta y tres

puentes se construyeron en la década de los años 70's, veintinueve puentes se construyeron en la década de los años 80's, ciento cincuenta y dos puentes se construyeron en la década de los años 90's, treinta y tres puentes se construyeron la década del 2000 y un puente se desconoce el año cuando fue construido..

Algunos de los puentes en estudio han sido reconstruidos, esto se observa en la Figura 2. 198.

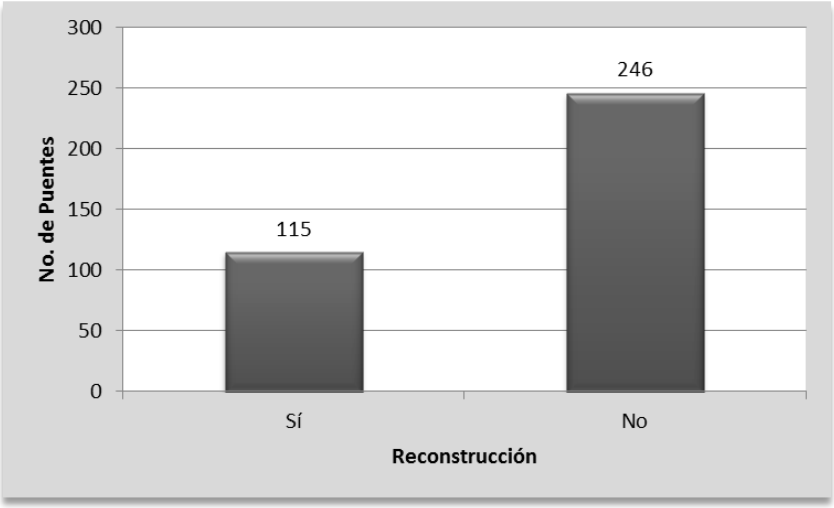


Figura 2. 198 Puentes reconstruidos de Chiapas.

Se observa que ciento quince puentes ya han sido reconstruidos y doscientos cuarenta y seis puentes no han requerido de su reconstrucción.

Otra característica importante es el tipo de paso, como se observa en la Figura 2. 199.

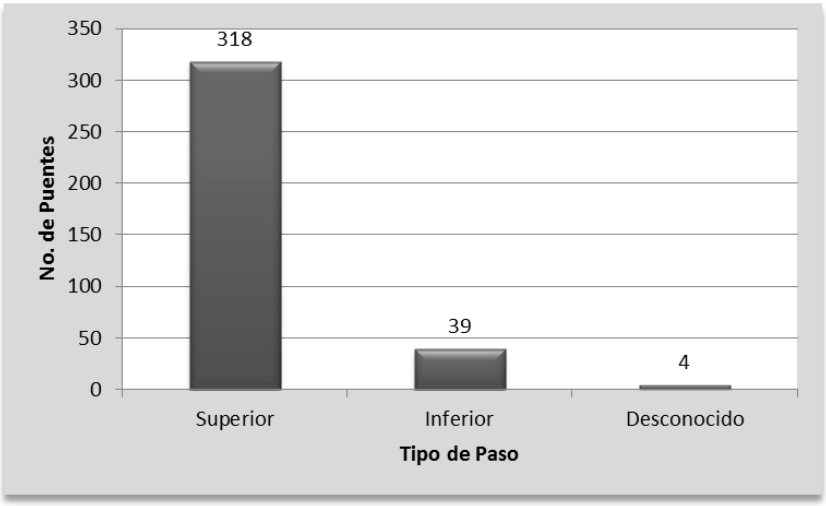


Figura 2. 199 Tipo de paso de los puentes de Chiapas.

En la figura anterior se observa que trescientos dieciocho puentes son pasos superiores, treinta y nueve puentes son pasos inferiores y cuatro puentes se desconoce el tipo de paso.

Dentro de la geometría de los puentes, se tiene el número de claros que tienen los puentes en estudio, como se observa en la Figura 2. 200.

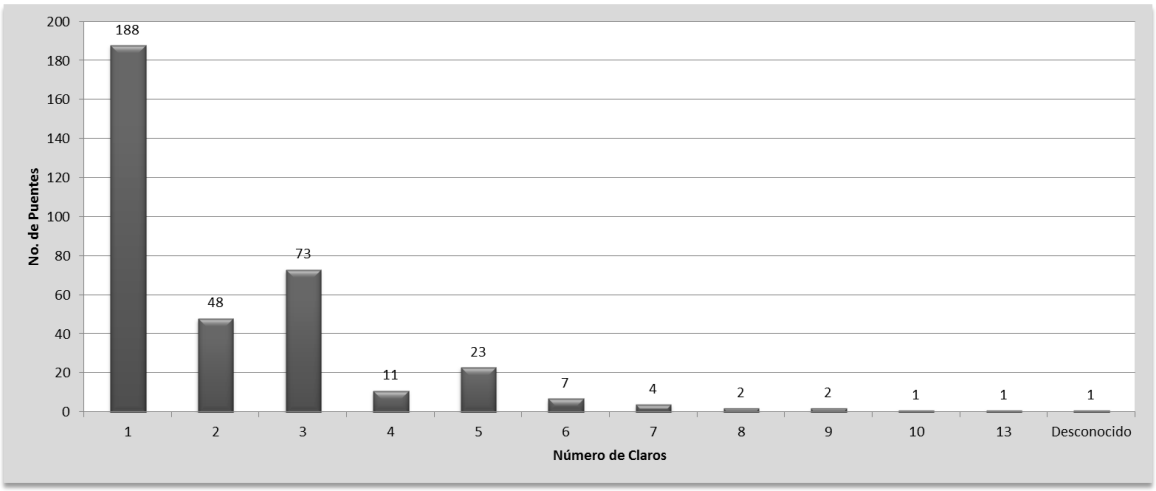


Figura 2. 200 Número de claros de los puentes de Chiapas.

De acuerdo a la figura, ciento ochenta y ocho puentes son de un claro, cuarenta y ocho puentes son de dos claros, setenta y tres puentes son de tres claros, once puentes son de

cuatro claros, veintitrés puentes son de cinco claros, siete puentes son de seis claros, cuatro puentes son de siete claros, dos puentes son de ocho y nueve claros y un puente es de diez y trece claros, así como un puente que se desconoce el número de claros.

En el inventario de puentes, se mencionan las longitudes mínima y máxima de claro, como se observa en la Figura 2. 201 y Figura 2. 202.

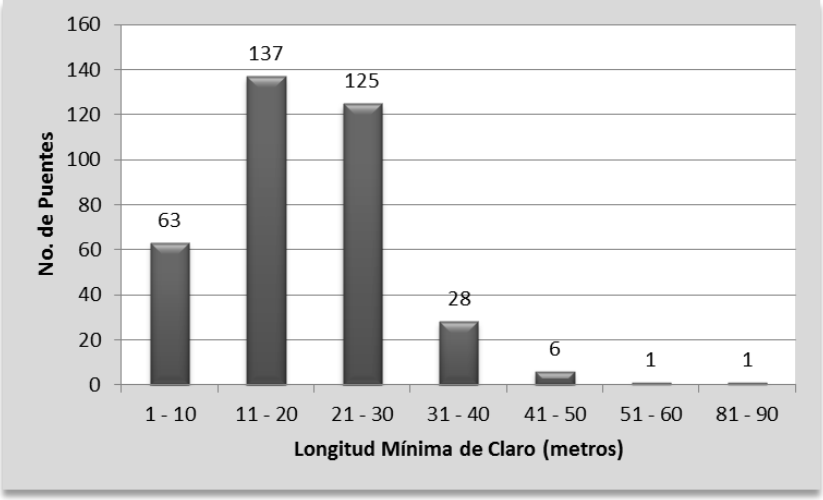


Figura 2. 201 Longitud mínima de claro de los puentes de Chiapas.

Se observa que sesenta y tres puentes tienen la longitud mínima de claro entre 1 y 10 metros, ciento treinta y siete puentes tienen la longitud mínima de claro entre 11 y 20 metros, ciento veinticinco puentes tienen una longitud mínima entre 21 y 30 metros, veintiocho puentes tienen una longitud mínima entre 31 y 40 metros, seis puentes tienen una longitud mínima entre 41 y 50 metros y un puente tiene una longitud mínima de claro entre 51 y 60 metros, así como una longitud mínima entre 81 y 90 metros, respectivamente.

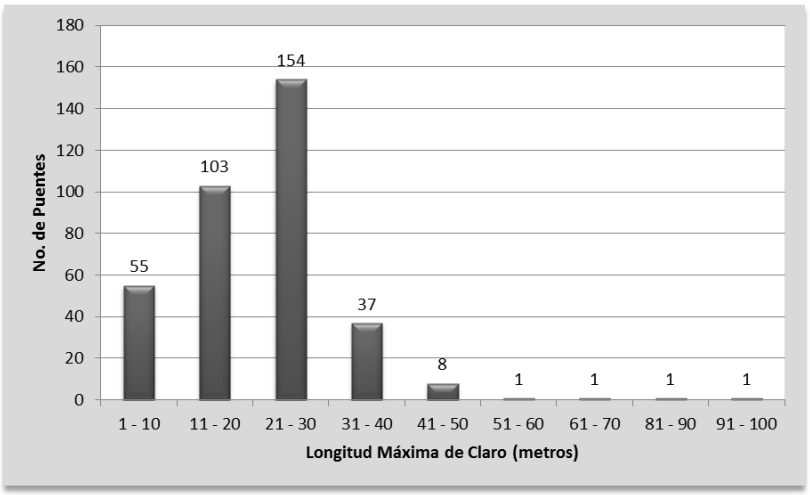


Figura 2. 202 Longitud máxima de claro de los puentes de Chiapas.

Se observa que cincuenta y cinco puentes tienen la longitud máxima de claro entre 1 y 10 metros, ciento tres puentes tienen la longitud máxima de claro entre 11 y 20 metros, ciento cincuenta y cuatro puentes tienen una longitud máxima entre 21 y 30 metros, treinta y siete puentes tienen una longitud máxima entre 31 y 40 metros, ocho puentes tienen una longitud máxima entre 41 y 50 metros y un puente tiene una longitud máxima de claro entre 51 y 60 metros, así como una longitud máxima entre 61 y 70 metros, también entre 81 y 90 metros y entre 91 y 100 metros, respectivamente.

Una de las características de la geometría de los puentes es la longitud total de los puentes, que se mencionan en la Figura 2. 203.

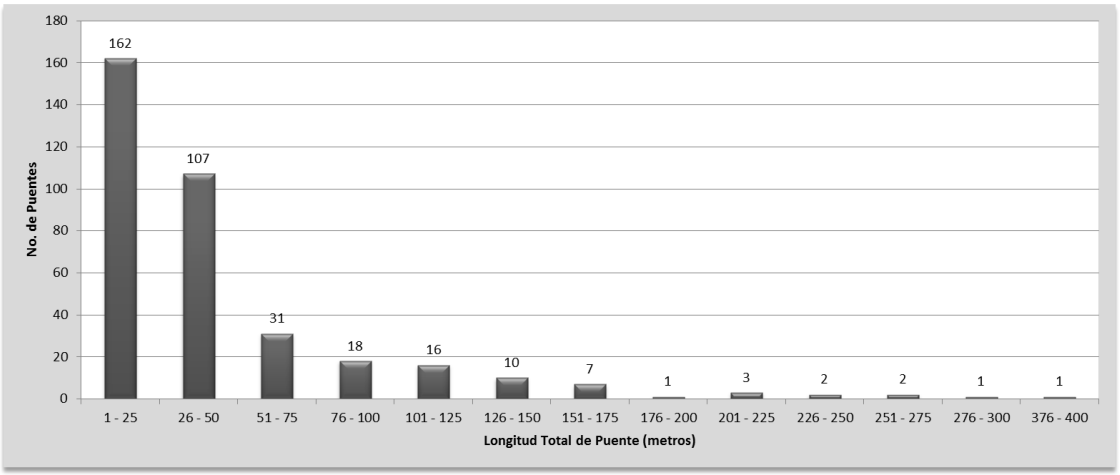


Figura 2. 203 Longitud total de puentes de Chiapas.

Se observa que ciento sesenta y dos puentes tienen una longitud total entre 1 y 25 metros, ciento siete puentes tienen una longitud total entre 26 y 50 metros, treinta y uno puentes tienen una longitud total entre 51 y 75 metros, dieciocho puentes tienen una longitud total entre 76 y 100 metros, dieciséis puentes tienen una longitud total entre 101 y 125 metros, diez puentes tienen una longitud total entre 126 y 150 metros, siete puentes tiene una longitud total entre 151 y 175 metros, un puente tiene una longitud total entre 176 y 200 metros, tres puentes tienen una longitud total entre 201 y 225 metros, dos puentes tienen una longitud total entre 226 y 250 metros y entre 251 y 275 metros y un puente tiene una longitud total entre 276 y 300 metros, así como 376 y 400 metros respectivamente.

Otra característica que se requiere de los puentes es el ancho total del puente, los cuales se observan en la Figura 2. 204.

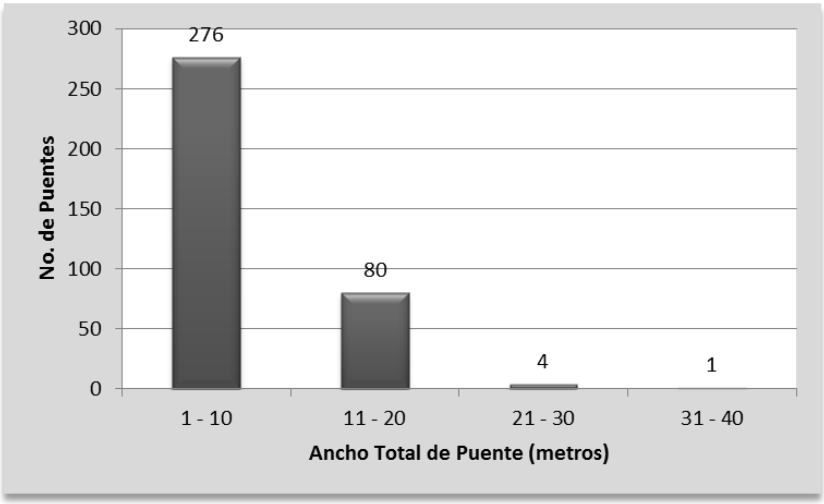


Figura 2. 204 Ancho total de los puentes de Chiapas.

De la figura anterior, se observa que doscientos setenta y seis puentes tienen un ancho total entre 1 y 10 metros, ochenta puentes tienen un ancho total entre 11 y 20 metros, cuatro puentes tienen un ancho total entre 21 y 30 metros y un puente tiene un ancho total de puente entre 31 y 40 metros.

Algunos puentes se encuentran en curva, estos se pueden observar en la Figura 2. 205.

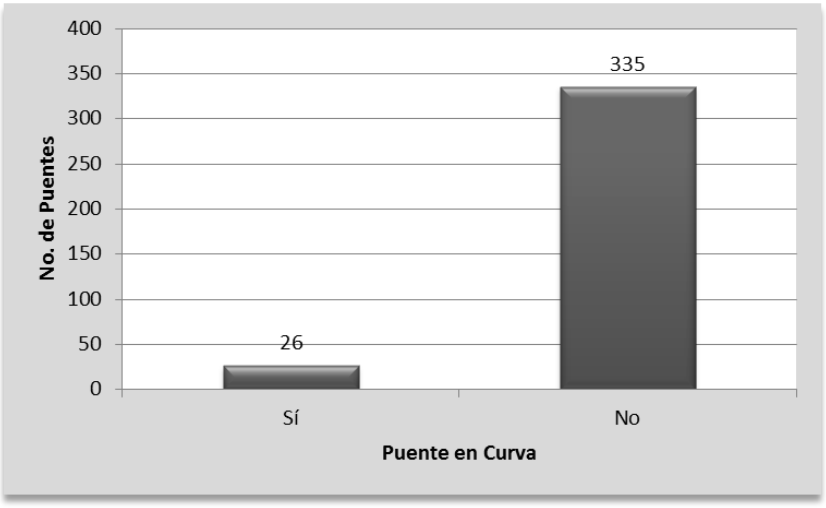


Figura 2. 205 Puentes en curva de Chiapas.

Se observa que veintiséis puentes se encuentran en curva, mientras que trescientos treinta y cinco puentes no están en curva.

Por el trazo que tienen algunas carreteras, es necesario que algunos de los puentes se encuentren esviajados, estos se mencionan en la Figura 2. 206.

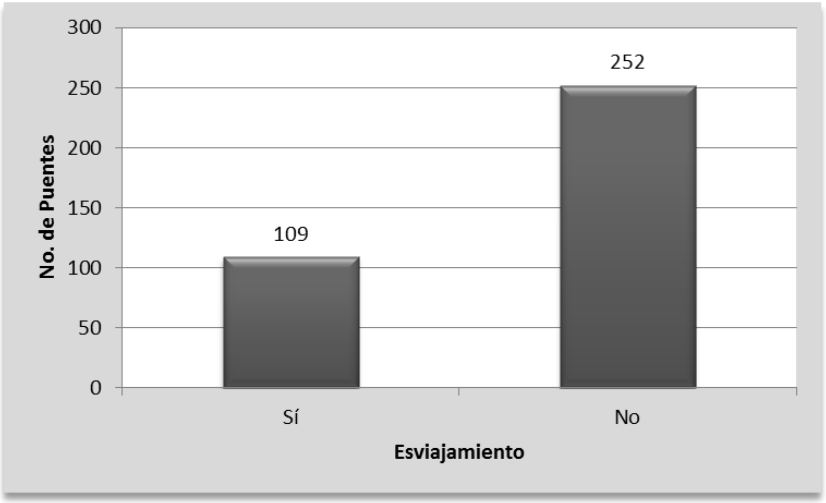


Figura 2. 206 Puentes esviajados de Chiapas.

De lo anterior, ciento nueve puentes tienen esviajamiento y doscientos cincuenta y dos puentes no presentan esviajamiento. De los ciento nueve puentes que presentan esviajamiento, en la Figura 2. 207 se muestra el grado de esviajamiento que tienen.

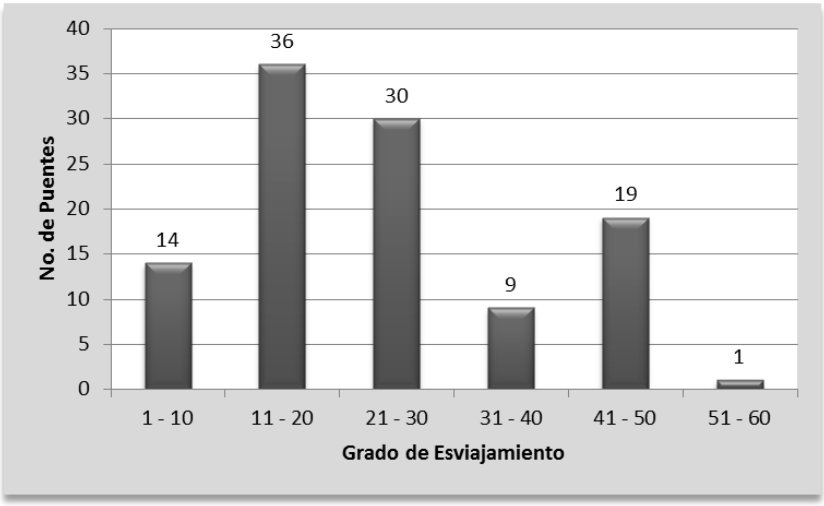


Figura 2. 207 Grado de esviajamiento de los puentes de Chiapas.

De la figura anterior, catorce puentes presentan un esviajamiento de 1 a 10 grados, treinta y seis puentes tienen un esviajamiento entre 11 y 20 grados, treinta puentes tienen un esviajamiento entre 21 y 30 grados, nueve puentes tienen un esviajamiento entre 31 y 40 metros, diecinueve puentes tienen un esviajamiento entre 41 y 50 metros y un puente tiene un esviajamiento entre 51 y 60 grados.

La superestructura de los puentes es una de las partes importantes de estas estructuras. En el inventario de puentes, se mencionan tres características de este elemento, una de ellas es el diseño de la sección transversal, como se observa en la Figura 2. 208.

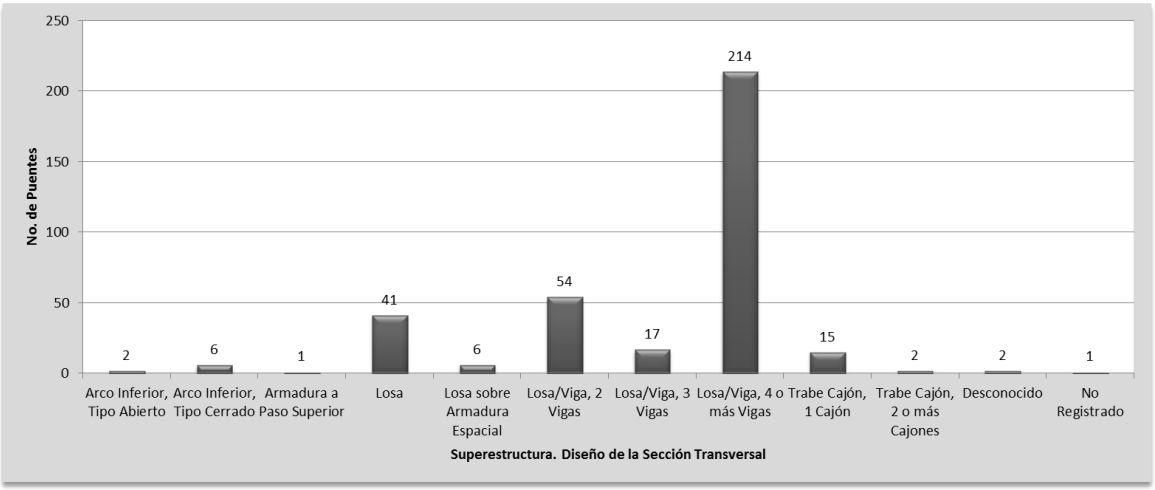


Figura 2. 208 Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes de Chiapas.

En la figura anterior se observa que dos puentes son en forma de arco inferior tipo abierto, seis puentes son en forma de arco inferior tipo cerrado, un puente tiene forma de armadura a paso superior, cuarenta y uno puentes tienen son de losa, seis puentes son de losa sobre armadura espacial, cincuenta y cuatro puentes son con losa y 2 vigas, diecisiete puentes son con losa y 3 vigas, doscientos catorce puentes son con losa y 4 o más vigas, quince puentes son con una trabe cajón, dos puentes son con 2 o más trabes cajón, así como un tipo de sección transversal desconocido y un puente con una sección transversal no registrado.

El diseño de la elevación de la superestructura se observa en la Figura 2. 209.

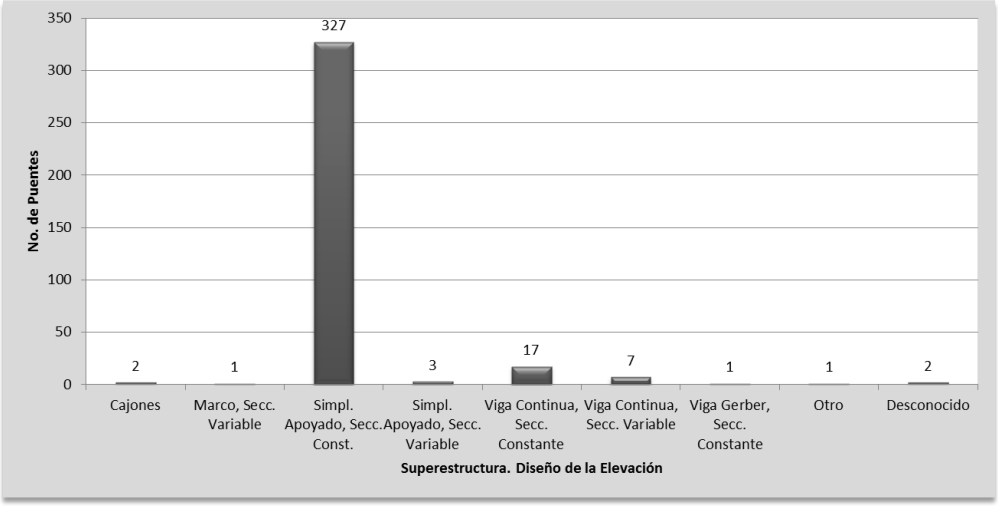


Figura 2. 209 Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes de Chiapas.

Se observa que dos puentes están apoyados sobre cajones, un puente esta sobre un marco con sección variable, trescientos veintisiete puentes están simplemente apoyados con sección constante, tres puentes están simplemente apoyados con sección variable, diecisiete puentes están sobre una viga continua con sección constante, siete puentes están sobre una viga continua con sección variable, un puente está sobre una viga Gerber con sección constante y con otro diseño de elevación y dos puentes se desconoce el diseño de la elevación.

El material con el cual fueron construidos la superestructura de los puentes se menciona en la Figura 2. 210.

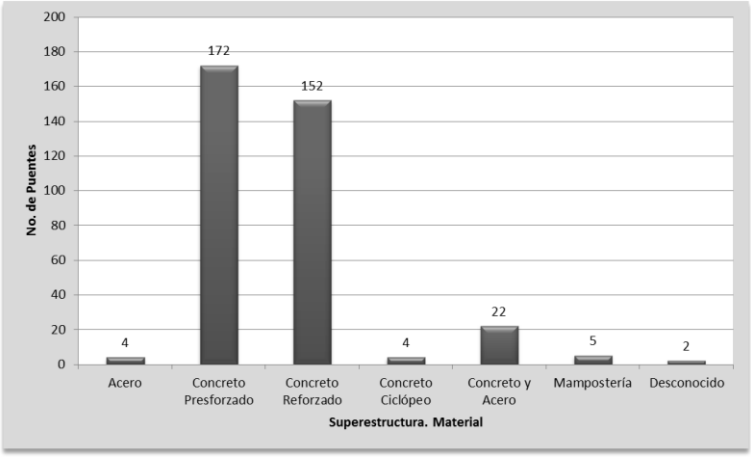


Figura 2. 210 Material de la superestructura de los puentes de Chiapas.

En la figura anterior se observa que cuatro puentes la superestructura es de acero, ciento setenta y dos puentes son de concreto presforzado, ciento cincuenta y dos puentes son de concreto reforzado, cuatro puentes son de concreto ciclópeo, veintidós puentes son de concreto y acero, cinco puentes son de mampostería y dos puentes se desconoce el material.

Otra de las partes importantes de los puentes es la subestructura. En el caso de los puentes que tienen estribos, en la Figura 2. 211 se mencionan el tipo de estribos.

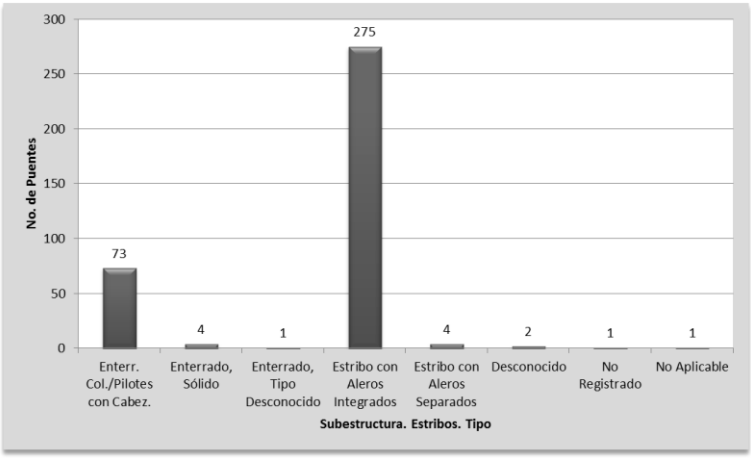


Figura 2. 211 Tipo de estribos de los puentes de Chiapas.

Se observa que setenta y tres puentes los estribos son enterrada la columna con pilotes con cabezal, cuatro puentes los estribos están enterrados sólidos, un puente los estribos son enterrados tipo desconocido, doscientos setenta y cinco puentes están sobre estribos con aleros integrados, cuatro puentes están sobre estribos con aleros separados, dos puentes se desconoce el tipo de estribo y un puente no tiene registrado el tipo de estribo y otro puente no aplica el estribo como subestructura.

El material de los estribos se menciona en la Figura 2. 212.

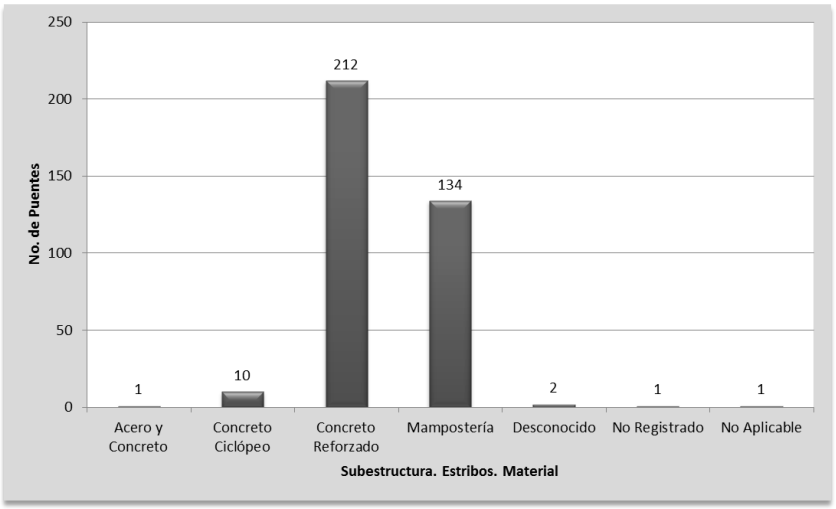


Figura 2. 212 Materiales de los estribos de los puentes de Chiapas.

Se observa que un puente el estribo es de acero y concreto, diez puentes son de concreto ciclópeo, doscientos doce puentes son de concreto reforzado, ciento treinta y cuatro puentes son de mampostería, dos puentes se desconoce el material del estribo y un puente no tiene registrado el material de los estribo y otro más no presenta estribo como subestructura.

El tipo de cimentación de los estribos se menciona en la Figura 2. 213.

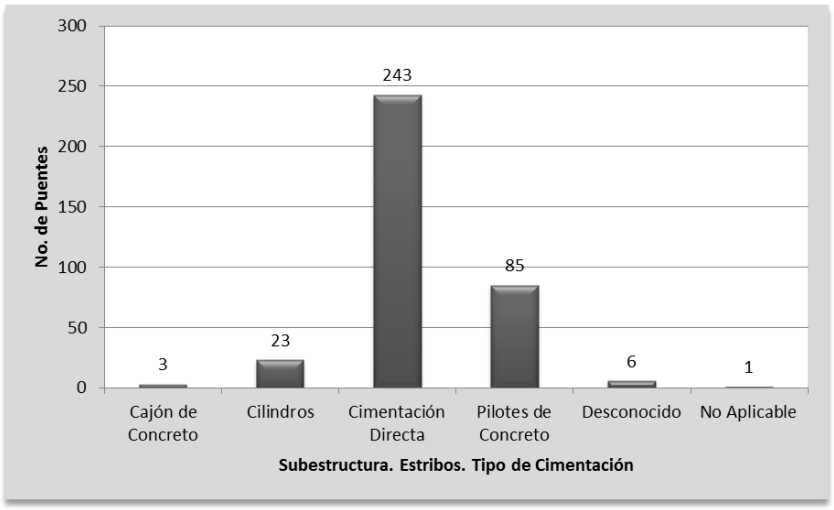


Figura 2. 213 Tipo de cimentación de los estribos de los puentes de Chiapas.

Se observa que tres puentes están sobre cajón de concreto, veintitrés puentes están sobre cilindros, doscientos cuarenta y tres puentes tienen una cimentación directa, ochenta y cinco puentes tienen pilotes de concreto, seis puentes se desconoce el tipo de pila y un puente no tiene estribos como subestructura.

En la subestructura donde aplican las pilas, el tipo de pilas se observa en la Figura 2. 214.

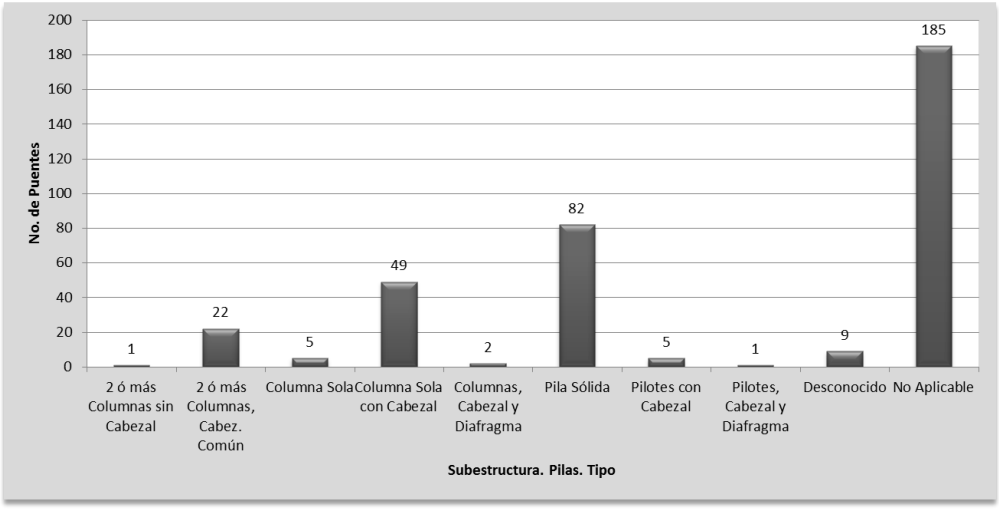


Figura 2. 214 Tipo de pilas de los puentes de Chiapas.

De acuerdo a lo anterior, un puente tiene 2 o más columnas sin cabezal, veintidós puentes tienen 2 o más columnas con cabezal común, cinco puentes tienen columna sola, cuarenta y nueve puentes tienen columna sola con cabezal, dos puentes tienen columnas, cabezal y diafragma, ochenta y dos puentes tienen pila sólida, cinco puentes tienen pilotes con cabezal, un puente tiene pilotes, cabezal y diafragma, nueve puentes se desconoce el tipo de pilas y ciento ochenta y cinco puentes no tienen pilas como subestructura.

El material de las pilas se menciona en la Figura 2. 215.

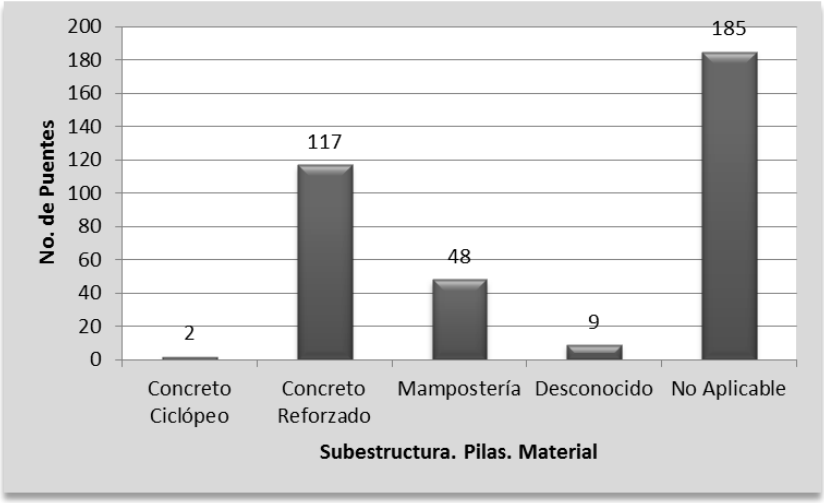


Figura 2. 215 Material de la pilas de los puentes de Chiapas.

Se observa que dos puentes son de concreto ciclópeo, ciento diecisiete puentes son de concreto reforzado, cuarenta y ocho puentes son de mampostería, nueve puentes se desconoce el material de las pilas y ciento ochenta y cinco puentes no presentan pilas como subestructura.

El tipo de cimentación de las pilas se menciona en la Figura 2. 216.

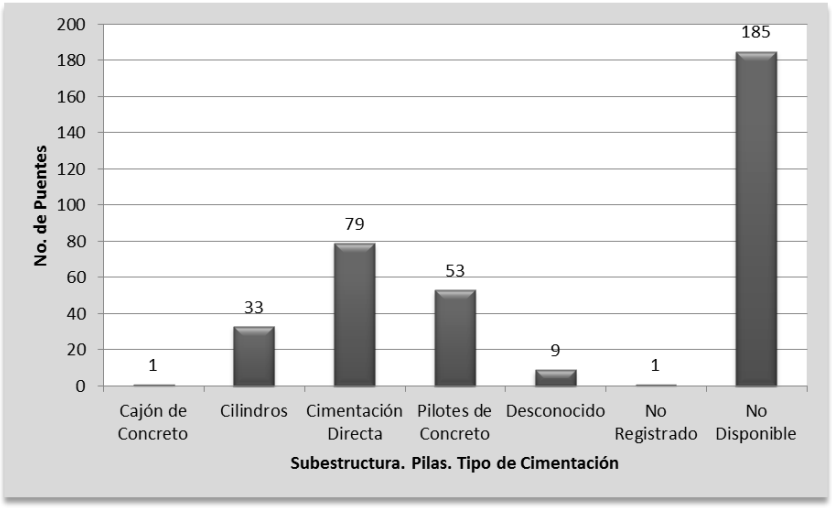


Figura 2. 216 Tipo de cimentación de la pilas de los puentes de Chiapas.

Se observa que un puente está sobre cajón de concreto, treinta y tres puentes están sobre cilindros, setenta y nueve puentes tienen una cimentación directa, cincuenta y tres puentes están sobre de concreto, un puente se desconoce el tipo de cimentación, un puente no tiene registro del tipo de cimentación y ciento ochenta y cinco puentes no tienen pilas como subestructura.

En el inventario de SIPUMEX, en el apartado de los detalles, se tomaron algunos parámetros. Uno de ellos es el tipo de superficie de desgaste como se observa en la Figura 2. 217.

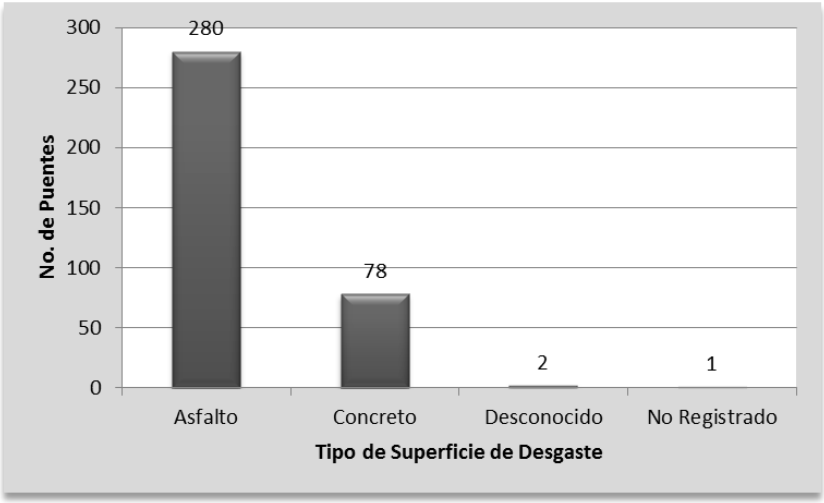


Figura 2. 217 Tipo de superficie de desgaste de los puentes de Chiapas.

Se observa que doscientos ochenta puentes su superficie es de asfalto, setenta y ocho puentes la superficie es de concreto, dos puentes se desconoce la superficie de desgaste y un puente no está registrado el material.

Otro importante concepto es el tipo de apoyo fijo sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 218.

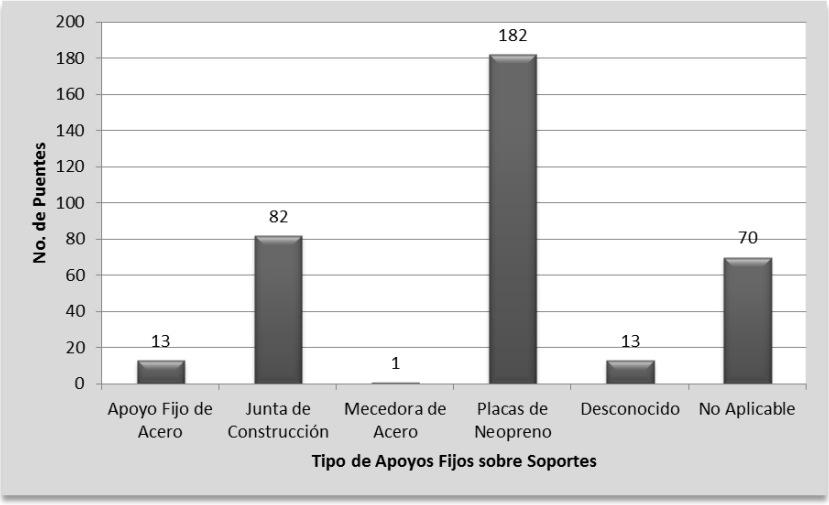


Figura 2. 218 Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes de Chiapas.

En base a lo anterior, trece puentes tienen apoyo fijo de acero, ochenta y dos puentes tienen junta de construcción, un puente tiene mecedora de acero, ciento ochenta y dos puentes tienen placas de neopreno, trece puentes se desconoce el tipo de apoyo fijo y setenta puentes no aplican este tipo de apoyo.

En los puentes también se tienen apoyos móviles sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 219.

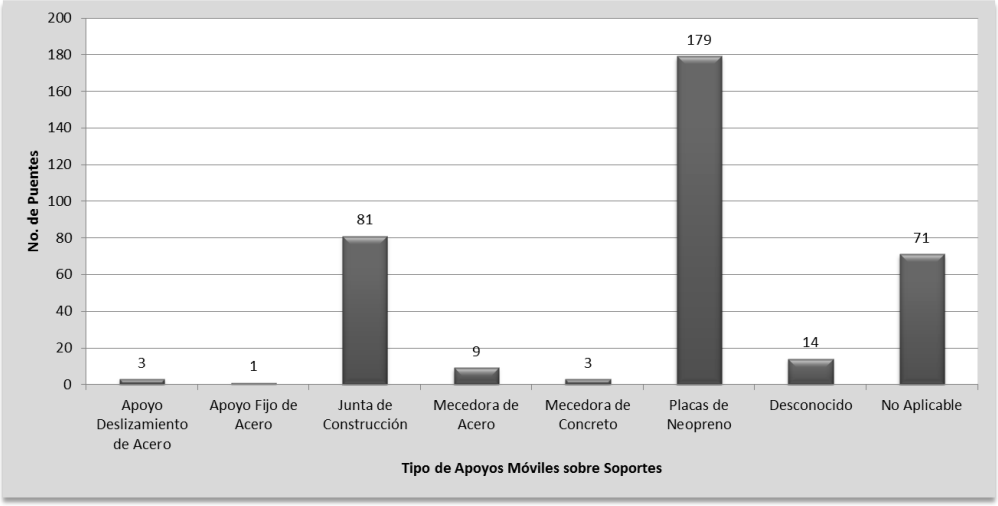


Figura 2. 219 Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes de Chiapas.

En la figura se observan tres puentes tienen apoyo deslizamiento de acero, un puente tiene un apoyo fijo de acero, ochenta y uno puentes tienen junta de construcción, nueve puentes tienen mecedora de acero, tres puentes tienen mecedora de concreto, ciento setenta y nueve puentes tienen placas de neopreno, catorce puentes se desconoce el tipo de apoyo móvil y setenta y uno puentes no aplican este tipo de apoyo.

Un dato muy importante en los puentes es la carga con la cual fueron diseñados los puentes, estas cargas se muestran en la Figura 2. 220.

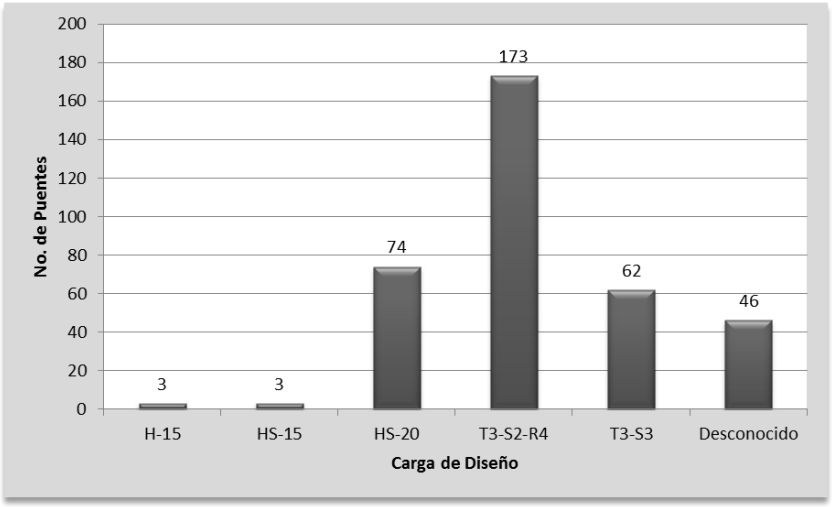


Figura 2. 220 Carga de diseño de los puentes de Chiapas.

Se observa que tres puentes fueron diseñados con carga H-15, tres puentes fueron diseñado para una carga HS-15, setenta y cuatro puentes fueron diseñados con una carga HS-20, ciento setenta y tres puentes fueron diseñados para una carga T3-S2-R4, sesenta y dos puentes fueron diseñados para una carga T3-S3 y cuarenta y seis puentes se desconoce la carga con la cual fueron diseñados.

Una de las funciones de los puentes es cruzar obstáculos. Estos obstáculos se mencionan en la Figura 2. 221.

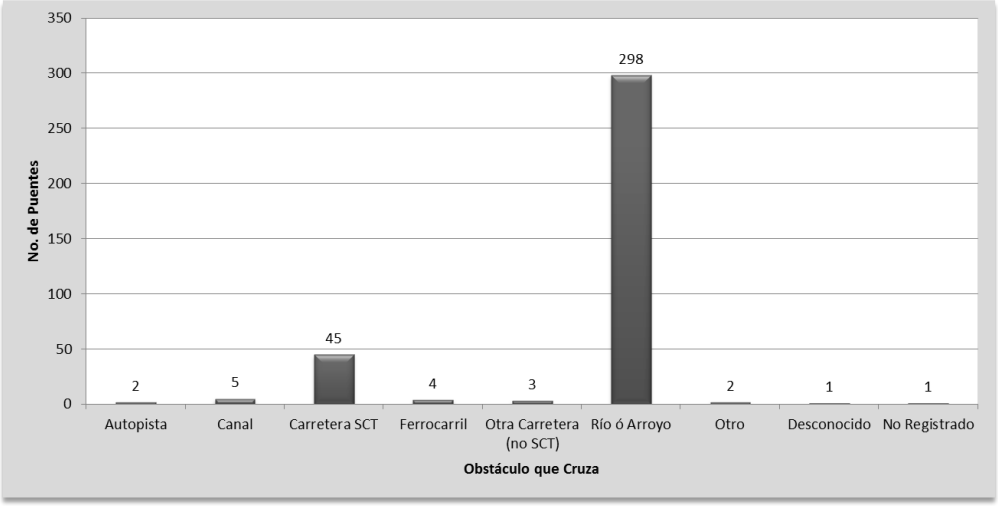


Figura 2. 221 Obstáculos que cruzan los puentes de Chiapas.

Se observa dos puentes cruzan una autopista, cinco puentes cruzan un canal, cuarenta y cinco puentes cruzan una carretera de la SCT, cuatro puentes cruzan una vía férrea, tres puentes cruzan una carretera que no es de la SCT, doscientos noventa y ocho puentes cruzan un río o arroyo, dos puentes cruzan otro tipo de obstáculo y un puente se desconoce el obstáculo y otro puente no se tiene registro del obstáculo que cruza.

Algunos de los propietarios de estos puentes se mencionan en la Figura 2. 222.

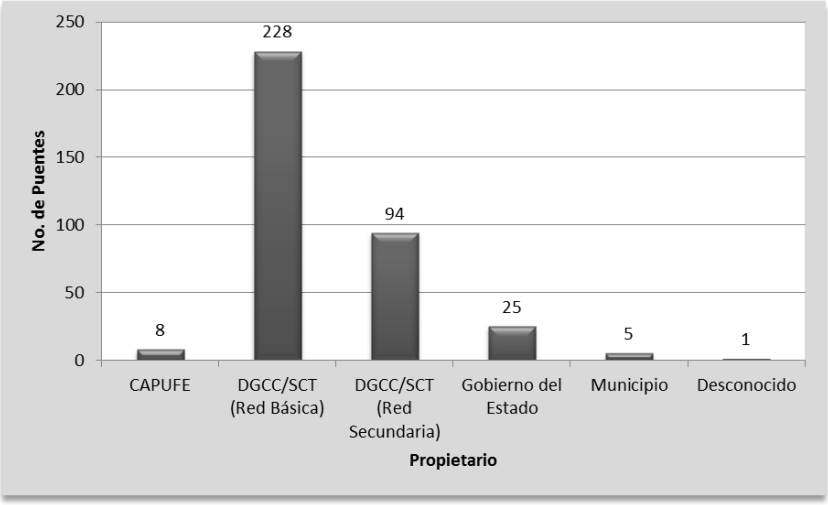


Figura 2. 222 Propietarios de los puentes de Chiapas.

En la figura anterior se observa que ocho puentes está a cargo CAPUFE, doscientos veintiocho puentes están a cargo de la Dirección General de Conservación de Carreteras en lo que pertenece a la red básica, noventa y cuatro puentes pertenecen a la red secundaria, veinticinco puentes están a cargo del gobierno del estado, cinco puentes están a cargo del gobierno de algún municipio y un puente se desconoce el propietario.

Como se mencionó en el capítulo anterior, es muy importante el Transito Promedio Diario Anual, por lo que estos puentes se ubican en sitios donde se presentan los siguiente TPDA de acuerdo a la Figura 2. 223.

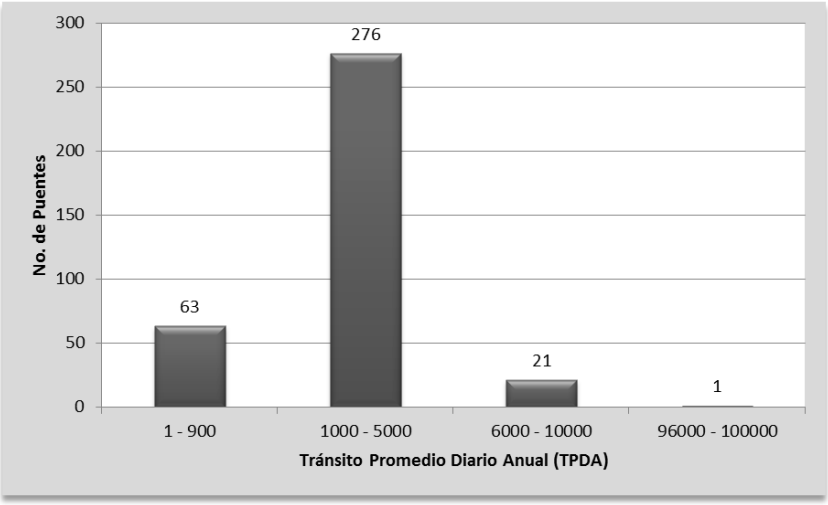


Figura 2. 223 TPDA registrado en los puentes de Chiapas.

Con lo anterior se observa que sesenta y tres puentes tienen un registro de un TPDA entre 1 y 900, doscientos setenta y seis puentes tienen un registro de un TPDA entre 1,000 y 5,000, veintiuno puentes tienen un TPDA entre 6,000 y 10,000 y un puente tiene un TPDA entre 96,000 y 100,000.

Una de las finalidades del inventario de SIPUMEX es conocer los daños que presentan los puentes en general. A continuación se muestra en la Figura 2. 224 la calificación de los puentes en general, de acuerdo a la Tabla 2. 3.

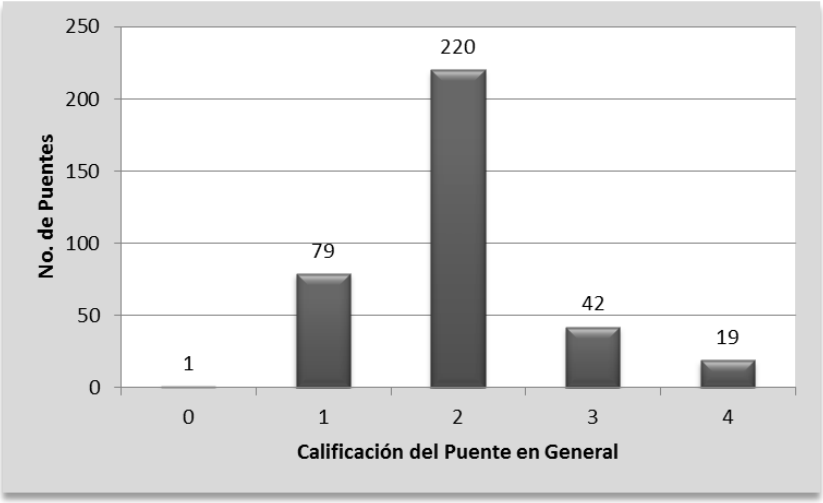


Figura 2. 224 Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes de Chiapas.

Se observa que en Chiapas, un puente tiene una calificación de "0", setenta y nueve puentes tienen una calificación de "1", doscientos veinte puentes tienen una calificación de "2", cuarenta y dos puentes tienen una calificación de "3" y diecinueve puentes tienen una calificación de "4", de acuerdo con la calificación de SIPUMEX.

2.5 ESTADISTICA GENERAL

Tomando en cuenta la base de datos de los seis estados en estudio, se procedió a realizar una base de datos general. En base a esto, a continuación se muestra el estadístico general de este trabajo, ya que esto servirá para el siguiente capítulo.

De acuerdo con el inventario (SIPUMEX, 2011), la suma de los puentes de los seis estados son dos mil ciento sesenta y ocho puentes, de los cuales se dividen en puentes carreteros y puentes peatonales, como se muestra en la Figura 2. 225.

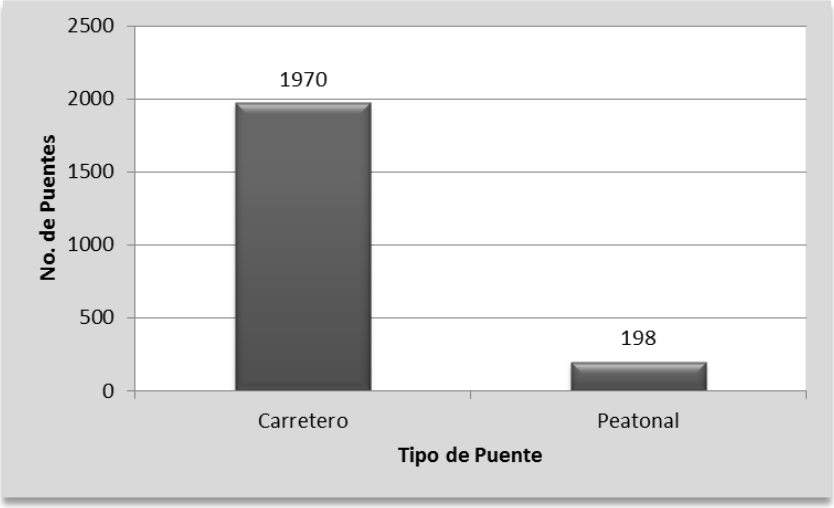


Figura 2. 225 Tipo de puentes en estudio.

De acuerdo a lo anterior, se observa que de los dos mil ciento sesenta y ocho puentes que se tienen registrados en el inventario, mil novecientos setenta puentes son carreteros y ciento noventa y ocho son puentes peatonales. En este caso, solo se estudiarán los puentes carreteros.

Los mil novecientos setenta puentes en estudio se ubican en diferentes rutas carreteras, como se muestra en la Figura 2. 226.

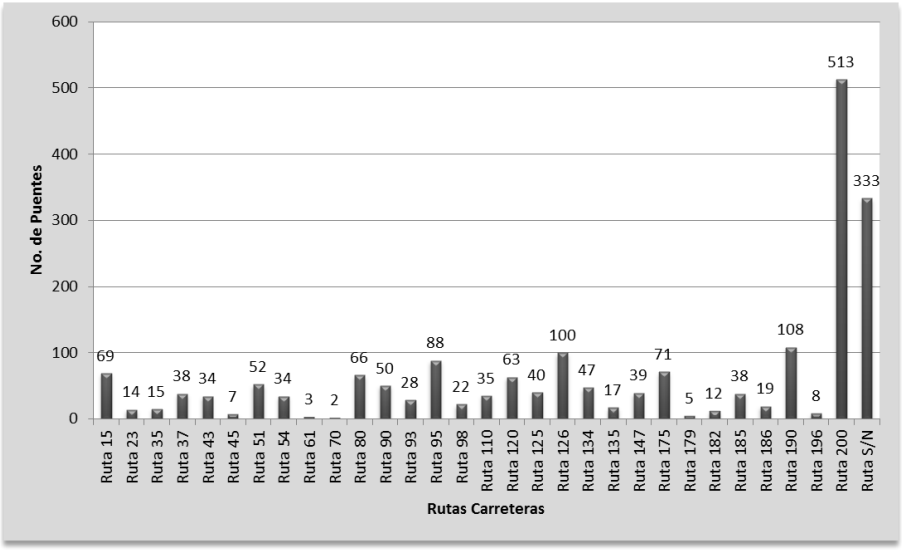


Figura 2. 226 Cantidad de puentes sobre las rutas carreteras.

Se observa que sesenta y nueve puentes se ubican sobre la ruta 15, catorce puentes se ubican sobre la ruta 23, quince se ubican sobre la ruta 35, treinta y ocho se ubican sobre la ruta 37, treinta y cuatro se ubican sobre la ruta 43, siete puentes se ubican sobre la ruta 45, cincuenta y dos puentes se ubican sobre la ruta 51, treinta y cuatro se ubican sobre la ruta 54, tres se ubican sobre la ruta 61, dos puentes se ubican sobre la ruta 70, sesenta y seis se ubican sobre la ruta 80, cincuenta se ubican sobre la ruta 90, veintiocho se ubican sobre la ruta 93, ochenta y ocho puentes se ubican sobre la ruta 95, veintidós puentes se ubican sobre la ruta 98, treinta y cinco puentes se ubican sobre la ruta 110, sesenta y tres se ubican sobre la ruta 120, cuarenta se ubican sobre la ruta 125, cien se ubican sobre la ruta 126, cuarenta y siete puentes se ubican sobre la ruta 134, diecisiete puentes se ubican sobre la ruta 135, treinta y nueve puentes se ubican sobre la ruta 147, setenta y uno se ubican sobre la ruta 175, cinco se ubican sobre la ruta 179, doce se ubican sobre la ruta 182, treinta y ocho puentes se ubican sobre la ruta 185, diecinueve puentes se ubican sobre la ruta 186, ciento ocho puentes se ubican sobre la ruta 190, ocho puentes se ubican sobre la ruta 196, quinientos trece puentes se ubican sobre la ruta 200 y trescientos treinta y tres puentes se ubican sobre una ruta sin número.

Una característica importante de estos puentes es el periodo de construcción, esto se observa en la Figura 2. 227.

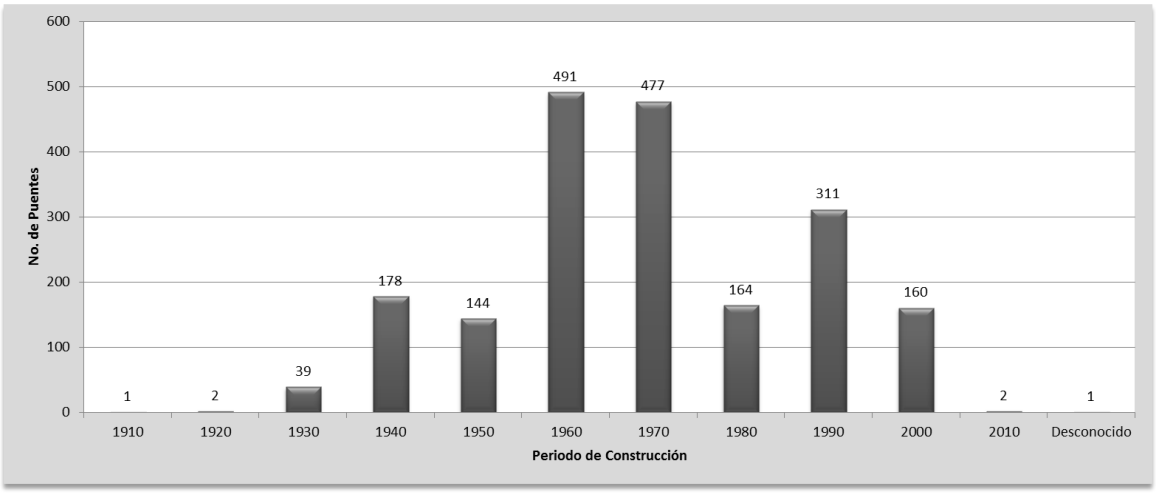


Figura 2. 227 Periodos de construcción de los puentes en estudio.

Se observa que un puente se construyó en la década de los 10's, dos puentes se construyeron en la década de los 20's, treinta y nueve puentes se construyeron en la década de los 30's, ciento setenta y ocho puentes se construyeron en la década de los 40's, ciento cuarenta y cuatro puentes se construyeron en la década de los 50's, cuatrocientos noventa y uno puentes se construyeron en la década de los 60's, cuatrocientos setenta y siete puentes se construyeron en la década de los años 70's, ciento sesenta y cuatro puentes se construyeron en la década de los años 80's, trescientos once puentes se construyeron en la década de los años 90's, ciento sesenta puentes se construyeron la década del 2000, dos puentes se construyeron en la década del 2010 y un puente se desconoce su fecha de construcción.

Algunos de los puentes en estudio han sido reconstruidos, esto se observa en la Figura 2. 228.

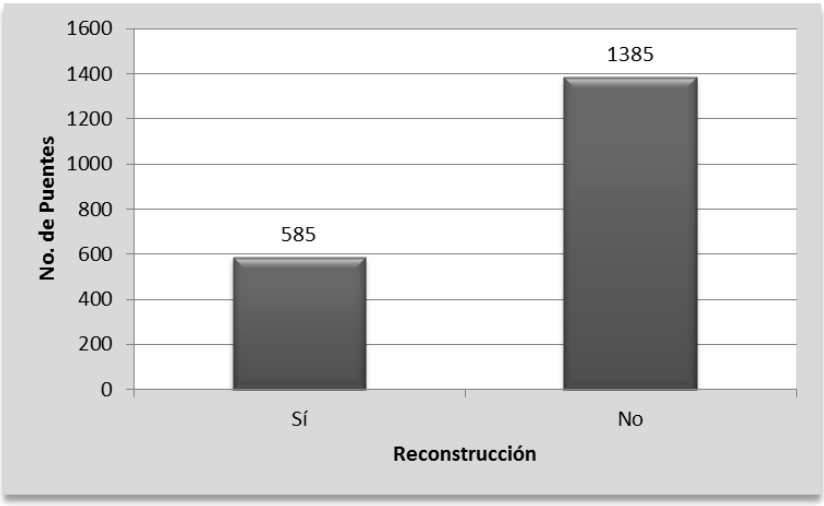


Figura 2. 228 Puentes reconstruidos.

Se observa que quinientos ochenta y cinco puentes ya han sido reconstruidos y mil trescientos ochenta y cinco puentes no han requerido de su reconstrucción.

Otra característica importante es el tipo de paso, como se observa en la Figura 2. 229.

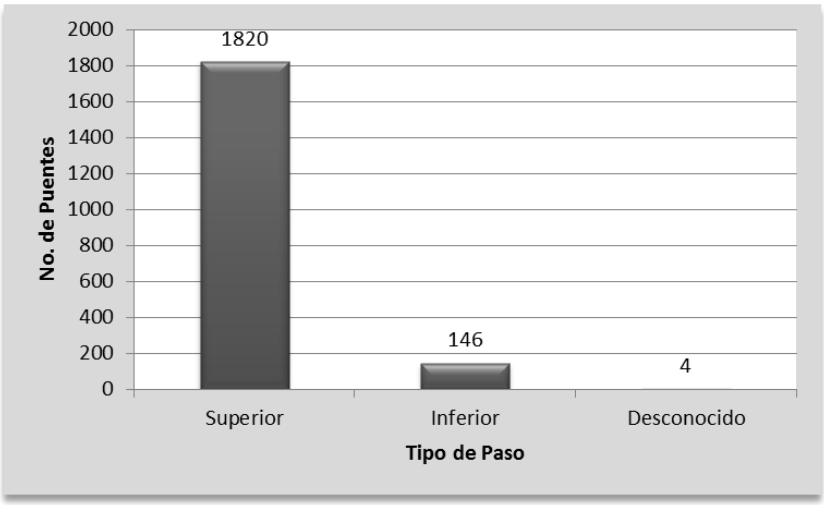


Figura 2. 229 Tipo de paso de los puentes en estudio.

En la figura anterior se observa que mil ochocientos veinte puentes son pasos superiores, ciento cuarenta y seis puentes son pasos inferiores y cuatro puentes se desconoce el tipo de paso.

Dentro de la geometría de los puentes, se tiene el número de claros que tienen los puentes en estudio, como se observa en la Figura 2. 230.

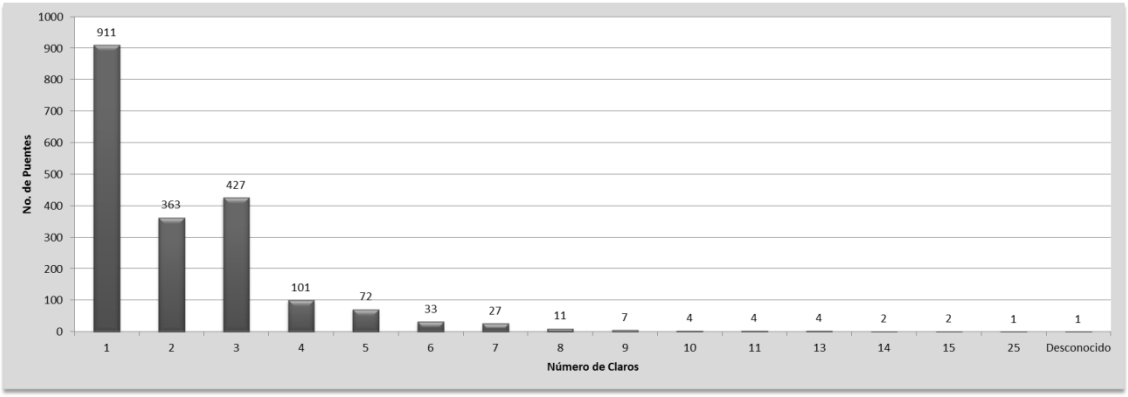


Figura 2. 230 Número de claros de los puentes en estudio.

De acuerdo a la figura, novecientos once puentes son de un claro, trescientos sesenta y tres puentes son de dos claros, cuatrocientos veintisiete puentes son de tres claros, ciento uno puentes son de cuatro claros, setenta y dos puentes son de cinco claros, treinta y tres puentes son de seis claros, veintisiete puentes son de siete claros, once puentes son de ocho claros, siete puentes son de nueve claros, cuatro puentes son de diez, once y trece claros, dos puentes son de catorce y quince claros y un puente es de veinticinco claros y otro más se desconoce el número de claro.

En el inventario de puentes, se mencionan las longitudes mínima y máxima de claro, como se observa en la Figura 2. 231 y Figura 2. 232.

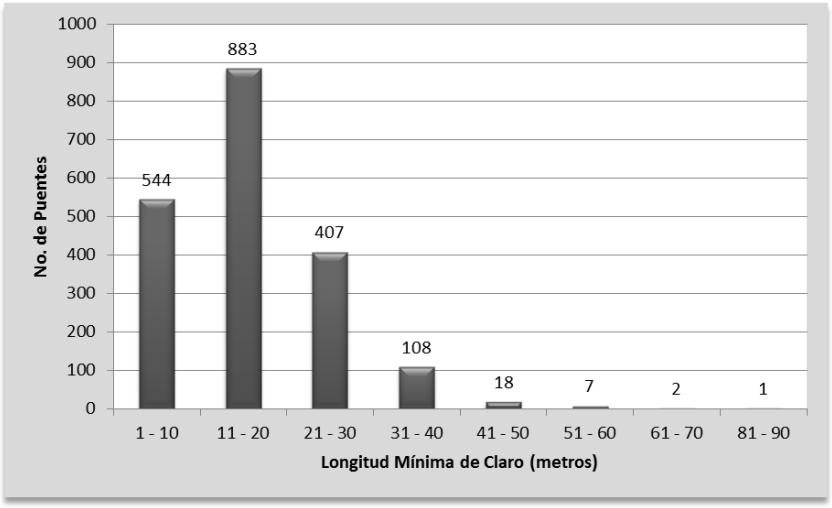


Figura 2. 231 Longitud mínima de claro de los puentes en estudio.

Se observa que quinientos cuarenta y cuatro puentes tienen la longitud mínima de claro entre 1 y 10 metros, ochocientos ochenta y tres puentes tienen la longitud mínima de claro entre 11 y 20 metros, cuatrocientos siete puentes tienen una longitud mínima entre 21 y 30 metros, ciento ocho puentes tienen una longitud mínima entre 31 y 40 metros, dieciocho puentes tienen una longitud mínima entre 41 y 50 años, siete puentes tienen una longitud mínima entre 51 y 60 metros, dos puentes tienen una longitud mínima entre 61 70 metros y un puente tiene una longitud mínima de claro entre 81 y 90 metros.

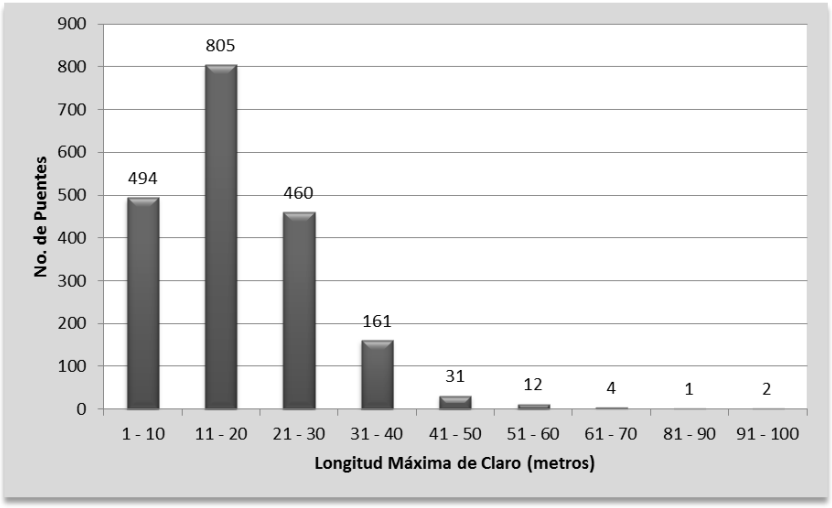


Figura 2. 232 Longitud máxima de claro de los puentes en estudio.

Se observa que cuatrocientos noventa y cuatro puentes tienen la longitud máxima de claro entre 1 y 10 metros, ochocientos cinco puentes tienen la longitud máxima de claro entre 11 y 20 metros, cuatrocientos sesenta puentes tienen una longitud máxima entre 21 y 30 metros, ciento sesenta y uno puentes tienen una longitud máxima entre 31 y 40 metros, treinta y uno puentes tienen una longitud máxima entre 41 y 50 metros, doce puentes tienen una longitud máxima entre 51 y 60 metros, cuatro puentes tienen una longitud máxima entre 61 y 70 metros, un puente tiene una longitud máxima entre 81 y 90 metros y dos puentes tienen una longitud máxima de claro entre 91 y 100 metros.

Una de las características de la geometría de los puentes es la longitud total de los puentes, que se mencionan en la Figura 2. 233.

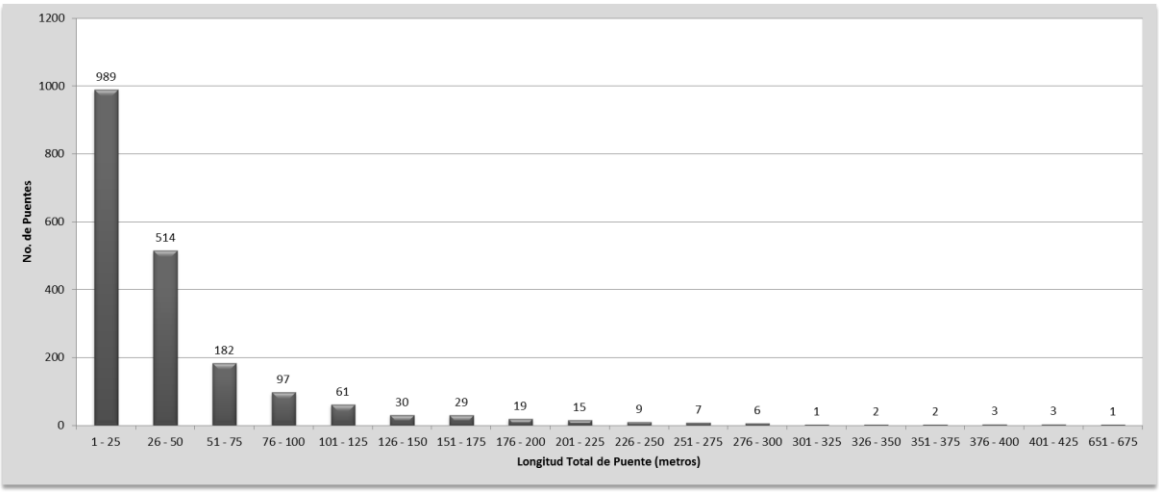


Figura 2. 233 Longitud total de puentes en estudio.

Se observa que novecientos ochenta y nueve puentes tienen una longitud total entre 1 y 25 metros, quinientos catorce puentes tienen una longitud total entre 26 y 50 metros, ciento ochenta y dos puentes tienen una longitud total entre 51 y 75 metros, noventa y siete puentes tienen una longitud total entre 76 y 100 metros, sesenta y uno puentes tienen una longitud total entre 101 y 125 metros, treinta puentes tienen una longitud total entre 126 y 150 metros, veintinueve puente tiene una longitud total entre 151 y 175 metros, diecinueve puentes tienen una longitud total entre 176 y 200 metros, quince puentes tienen una longitud total entre 201 y 225 metros, nueve puentes tienen una longitud total entre 226 y

250 metros, siete puentes tienen una longitud total entre 251 y 275 metros, seis puentes tienen una longitud total entre 276 y 300 metros, un puente tiene una longitud entre 301 y 325 metros, dos puentes tienen una longitud total entre 326 y 350 metros y entre 351 y 375 metros, tres puentes tienen una longitud total entre 376 y 400 metros y entre 401 y 425 metros y un puente tiene una longitud total entre 651 y 675 metros.

Otra característica que se requiere de los puentes es el ancho total del puente, los cuales se observan en la Figura 2. 234.

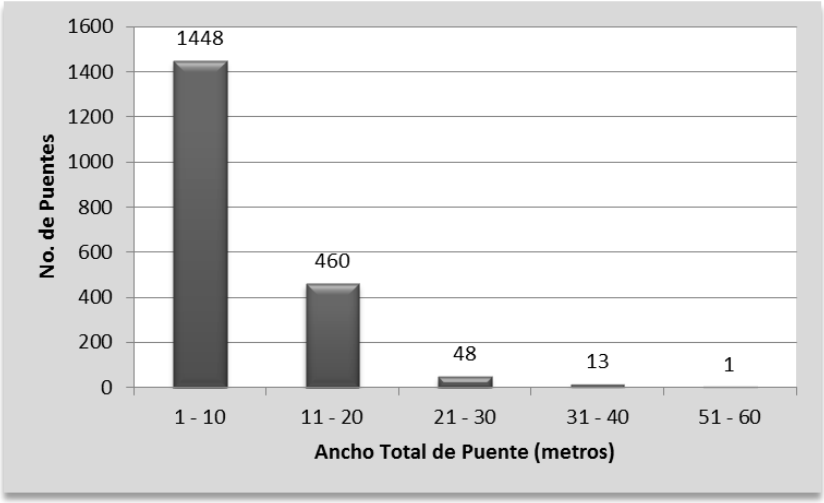


Figura 2. 234 Ancho total de los puentes en estudio.

De la figura anterior, se observa que mil cuatrocientos cuarenta y ocho puentes tienen un ancho total entre 1 y 10 metros, cuatrocientos sesenta puentes tienen un ancho total entre 11 y 20 metros, cuarenta y ocho puentes tienen un ancho total entre 21 y 30 metros, trece puentes tienen un ancho total entre 31 y 40 metros y un puente tiene un ancho total de puente entre 51 y 60 metros.

Algunos puentes se encuentran en curva, estos se pueden observar en la Figura 2. 235.

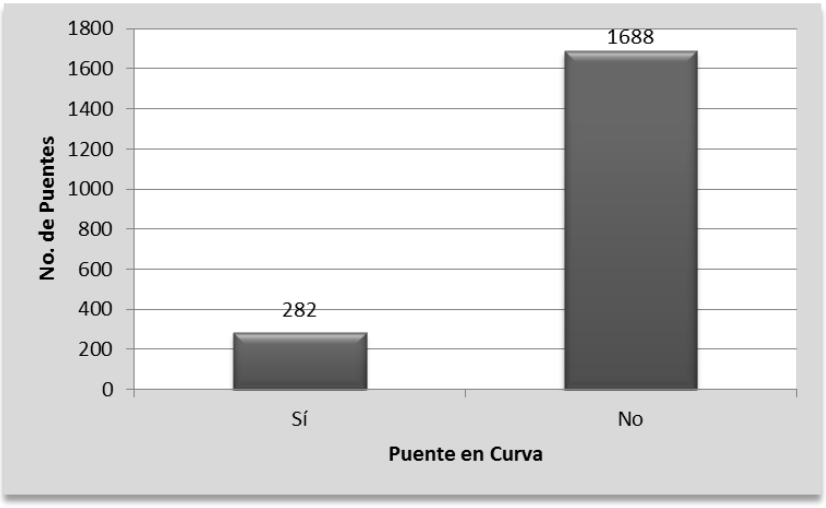


Figura 2. 235 Puentes en curva.

Se observa que doscientos ochenta y dos puentes se encuentran en curva, mientras que mil seiscientos ochenta y ocho puentes no están en curva.

Por el trazo que tienen algunas carreteras, es necesario que algunos de los puentes se encuentren esviajados, estos se mencionan en la Figura 2. 236.

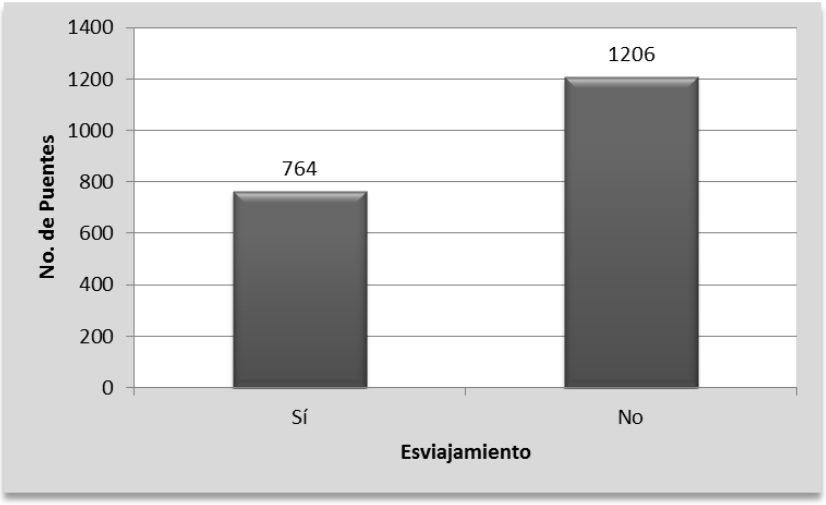


Figura 2. 236 Puentes esviajados.

De lo anterior, setecientos sesenta y cuatro puentes tienen esviajamiento y mil doscientos seis puentes no presentan esviajamiento. De los setecientos sesenta y cuatro

puentes que presentan esviajamiento, en la Figura 2. 237 se muestra el grado de esviajamiento que tienen.

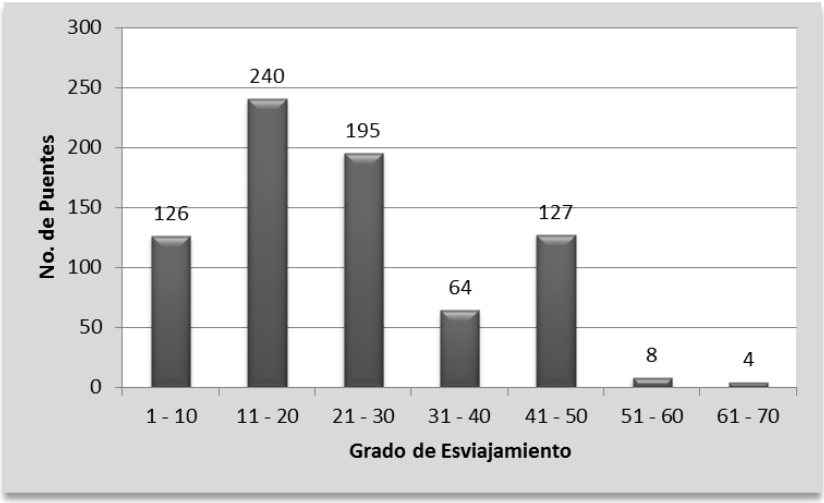


Figura 2. 237 Grado de esviajamiento de los puentes en estudio.

De la figura anterior, ciento veintiséis puentes presentan un esviajamiento de 1 a 10 grados, doscientos cuarenta puentes tienen un esviajamiento entre 11 y 20 grados, ciento noventa y cinco puentes tienen un esviajamiento entre 21 y 30 grados, sesenta y cuatro puentes tienen un esviajamiento entre 31 y 40 metros, ciento veintisiete puentes tienen un esviajamiento entre 41 y 50 metros, ocho puentes tienen un esviajamiento entre 51 y 60 metros y cuatro puentes tiene un esviajamiento entre 61 y 70 grados.

La superestructura de los puentes es una de las partes importantes de estas estructuras. En el inventario de puentes, se mencionan tres características de este elemento, una de ellas es el diseño de la sección transversal, como se observa en la Figura 2. 238.

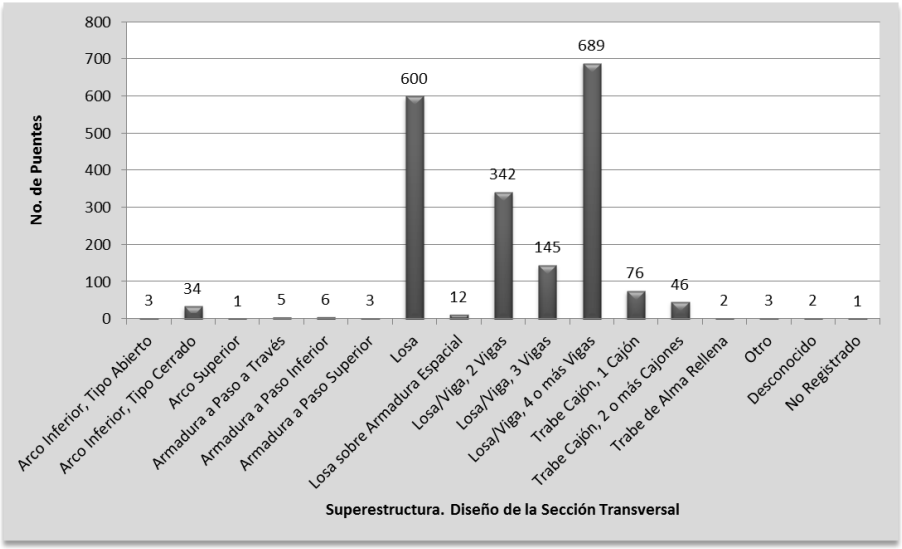


Figura 2. 238 Superestructura. Diseño de la sección transversal de los puentes en estudio.

En la figura anterior se observa que tres puentes son en forma de arco inferior tipo abierto, treinta y cuatro puentes son en forma de un arco inferior tipo cerrado, un puente tiene forma de arco superior, cinco puentes son en forma de una armadura a paso a través, seis puentes son armadura a paso inferior, tres puentes son armadura a paso superior, seiscientos puentes tienen son de losa, doce puentes son de losa sobre armadura espacial, trescientos cuarenta y dos puentes son con losa y 2 vigas, ciento cuarenta y cinco puentes son con losa y 3 vigas, seiscientos ochenta y nueve puentes son con losa y 4 o más vigas, setenta y seis puentes son con una trabe cajón, cuarenta y seis puentes son con 2 o más trabes cajón, dos puentes son con una trabe de alma llena, tres puentes son de otro tipo de sección, dos puentes se desconoce el tipo de sección y un puente no tiene registro de su sección transversal.

El diseño de la elevación de la superestructura se observa en la Figura 2. 239.

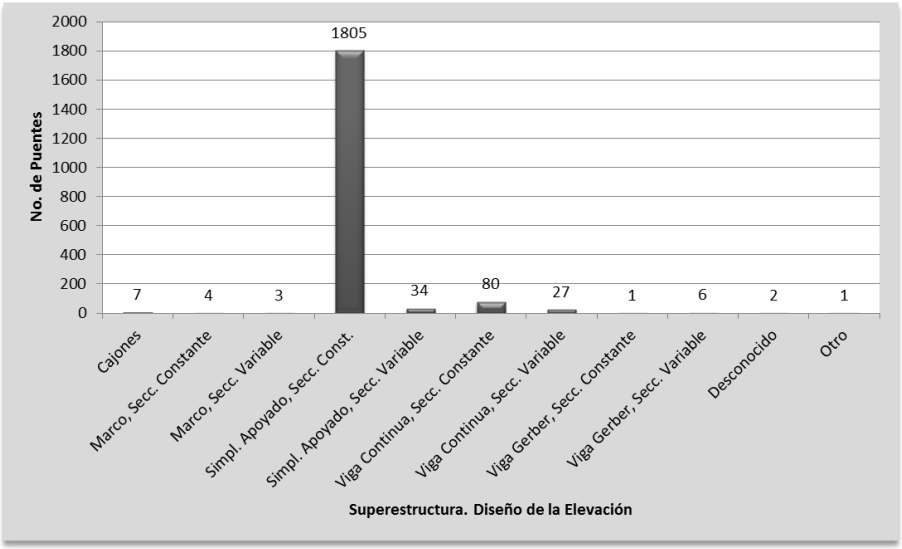


Figura 2. 239 Superestructura. Diseño de la elevación de los puentes en estudio.

Se observa que siete puentes están apoyados sobre cajones, cuatro puentes están sobre un marco con sección constante, tres puentes están sobre un marco con sección variable, mil ochocientos cinco puentes están simplemente apoyados con sección constante, treinta y cuatro puentes están simplemente apoyados con sección variable, ochenta puentes están sobre una viga continua con sección constante, veintisiete puentes están sobre una viga continua con sección variable, un puente está sobre una viga Gerber con sección constante, seis puentes están sobre una viga Gerber con sección variable, dos puentes se desconoce el diseño de la elevación y un puente tiene otro diseño de la elevación.

El material con el cual fueron construidos la superestructura de los puentes se menciona en la Figura 2. 240.

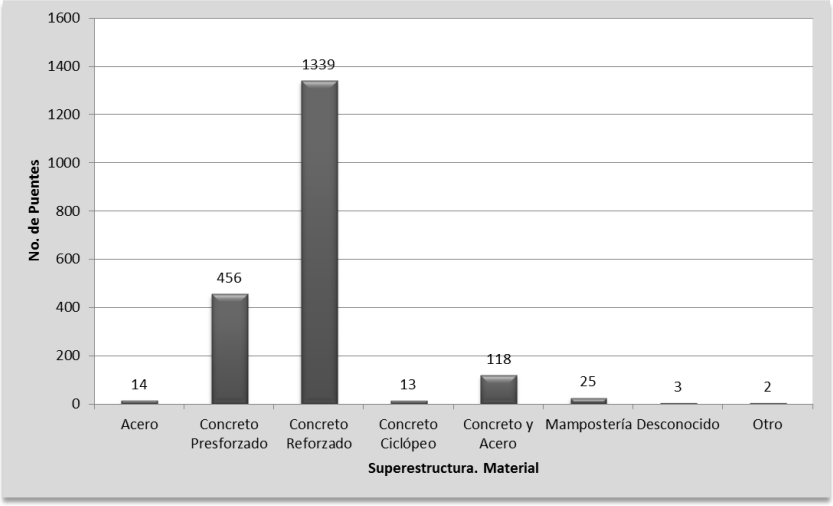


Figura 2. 240 Material de la superestructura de los puentes en estudio.

En la figura anterior se observa que catorce puentes la superestructura es de acero, cuatrocientos cincuenta y seis puentes son de concreto presforzado, mil trescientos treinta y nueve puentes son de concreto reforzado, trece puentes son de concreto ciclópeo, ciento dieciocho puentes son de concreto y acero, veinticinco puentes son de mampostería, tres puentes se desconoce el material de la superestructura y dos puentes son de otro material.

Otra de las partes importantes de los puentes es la subestructura. En el caso de los puentes que tienen estribos, en la Figura 2. 241 se mencionan el tipo de estribos.

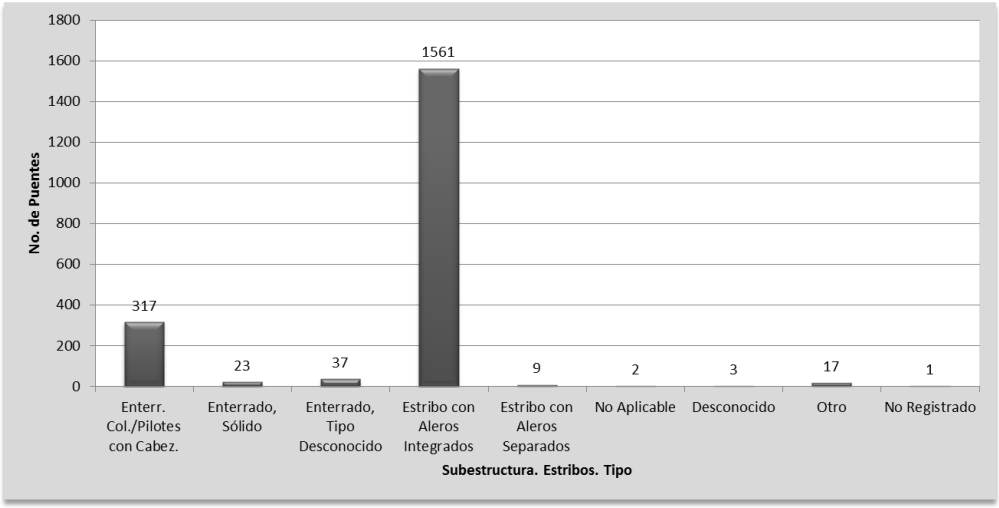


Figura 2. 241 Tipo de estribos de los puentes en estudio.

Se observa que trescientos diecisiete puentes los estribos son enterrada la columna con pilotes con cabezal, veintitrés puentes sus estribos están enterrados sólidos, treinta y siete puentes los estribos son enterrados tipo desconocido, mil quinientos sesenta y uno puentes están sobre estribos con aleros integrados, nueve puentes tienen estribos con aleros separado, dos puentes no aplican los estribos como subestructura, tres puentes se desconoce el tipo de estribo, diecisiete puentes tienen otro tipo de estribo y un puente no tiene registro de los estribos.

El material de los estribos se menciona en la Figura 2. 242.

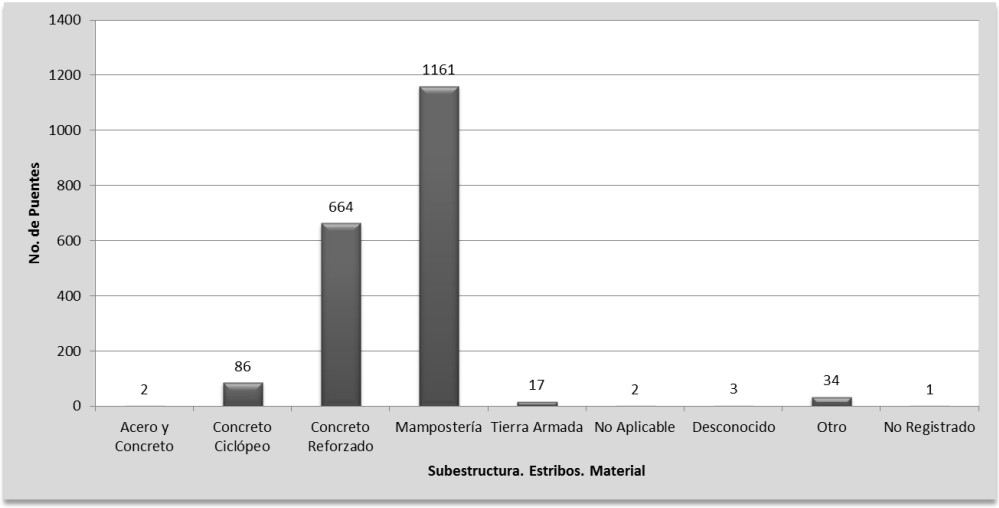


Figura 2. 242 Materiales de los estribos de los puentes en estudio.

Se observa que dos puentes el estribo es de acero y concreto, ochenta y seis puentes son de concreto ciclópeo, seiscientos sesenta y cuatro puentes son de concreto reforzado, mil ciento sesenta y uno puentes son de mampostería, diecisiete puentes son de tierra armada, dos puentes no aplican las pilas como subestructura, tres puentes se desconoce el material de los estribos, treinta y cuatro puentes son de otro material y un puente no está registrado los estribos.

El tipo de cimentación de los estribos se menciona en la Figura 2. 243.

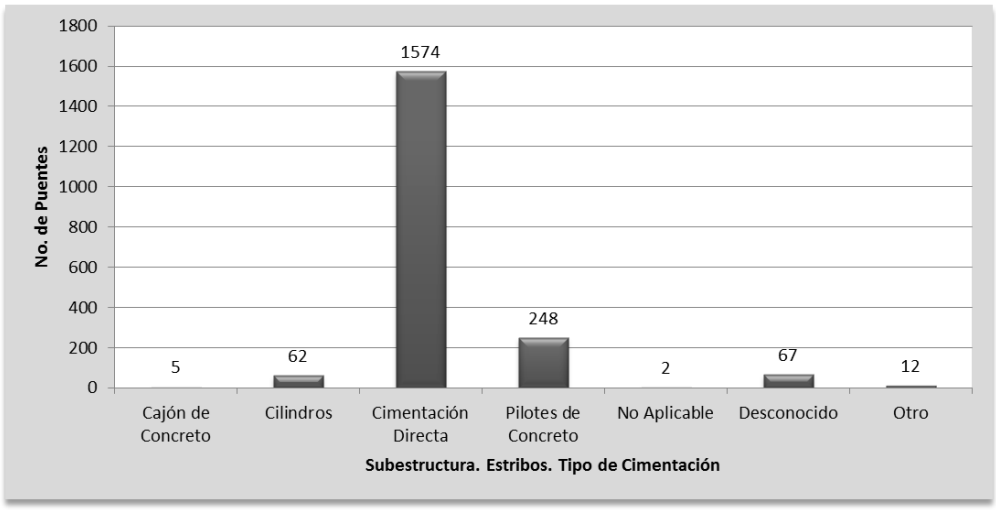


Figura 2. 243 Tipo de cimentación de los estribos de los puentes en estudio.

Se observa que cinco puentes están sobre un cajón de concreto, sesenta y dos puentes están sobre cilindros, mil quinientos setenta y cuatro puentes tienen una cimentación directa, doscientos cuarenta y ocho puentes tienen pilotes de concreto, dos puentes no tienen estribos como subestructura, sesenta y siete puentes se desconoce el tipo de cimentación y doce puentes tienen otro tipo de cimentación.

En la subestructura donde aplican las pilas, el tipo de pilas se observa en la Figura 2. 244.

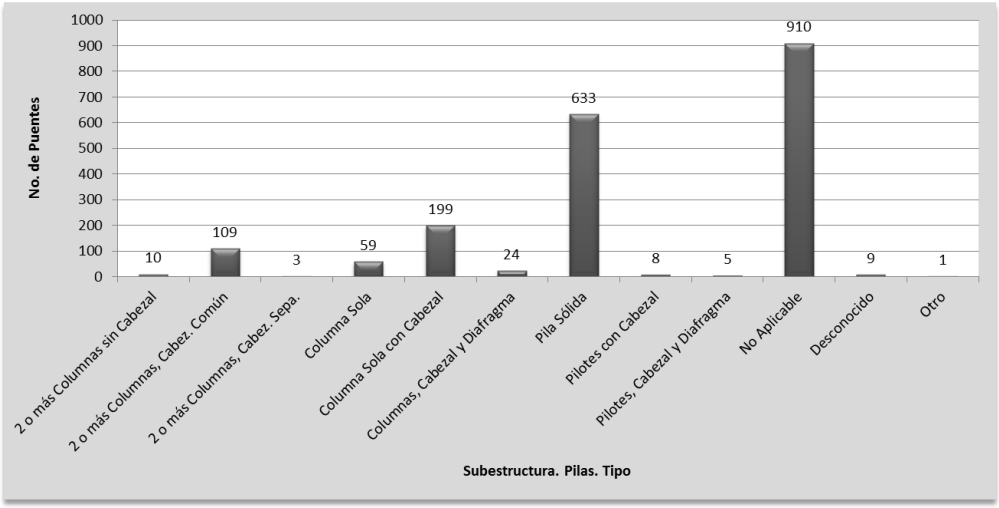


Figura 2. 244 Tipo de pilas de los puentes en estudio.

De acuerdo a lo anterior, diez puentes tienen 2 o más columnas sin cabezal, ciento nueve puentes tienen 2 o más columnas con cabezal común, tres puentes son de 2 o más columnas con cabezal separado, cincuenta y nueve puentes tienen una columna sola, ciento noventa y nueve puentes tienen columna sola con cabezal, veinticuatro puentes tienen columnas, cabezal y diafragma, seiscientos treinta y tres puentes tienen pila sólida, ocho puentes tienen pilotes con cabezal, cinco puentes están sobre pilotes, cabezal y diafragma, novecientos diez puentes no tienen pilas como subestructura, nueve puentes se desconoce el tipo de pila y un puente tiene otro tipo de pila.

El material de las pilas se menciona en la Figura 2. 245.

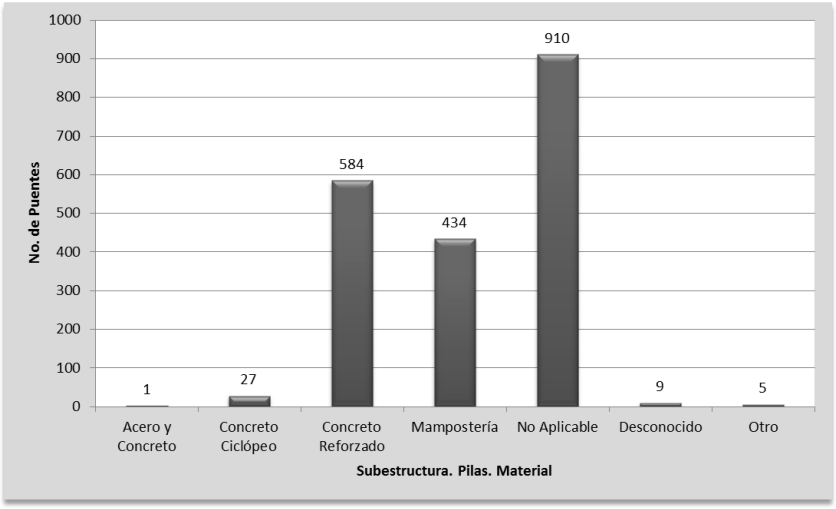


Figura 2. 245 Material de la pilas de los puentes en estudio.

Se observa que un puente es de acero y concreto, veintisiete puentes son de concreto ciclópeo, quinientos ochenta y cuatro puentes son de concreto reforzado, cuatrocientos treinta y cuatro puentes son de mampostería, novecientos diez puentes no presentan pilas como subestructura, nueve puentes se desconoce el material de las pilas y cinco puentes son de otro material.

El tipo de cimentación de las pilas se menciona en la Figura 2. 246.

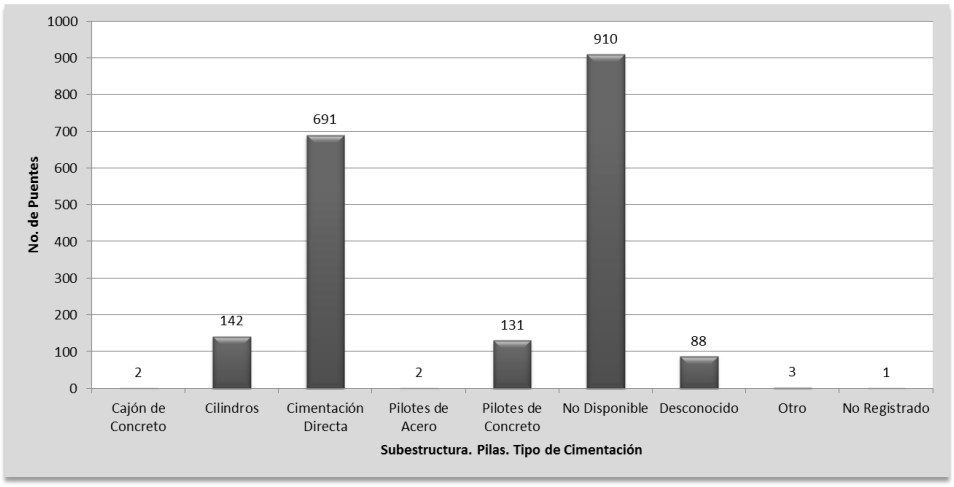


Figura 2. 246 Tipo de cimentación de la pilas de los puentes en estudio.

Se observa que dos puentes están sobre cajón de concreto, ciento cuarenta y dos puentes están sobre cilindros, seiscientos noventa y uno puentes tienen una cimentación directa, dos puente está sobre pilotes de acero, ciento treinta y uno puentes están sobre pilotes de concreto, novecientos diez puentes no tienen pilas como subestructura, ochenta y ocho puentes se desconoce el tipo de cimentación, tres puentes tienen otro tipo de cimentación y un puente no tiene registro de su cimentación.

En el inventario de SIPUMEX, en el apartado de los detalles, se tomaron algunos parámetros. Uno de ellos es el tipo de superficie de desgaste como se observa en la Figura 2. 247.

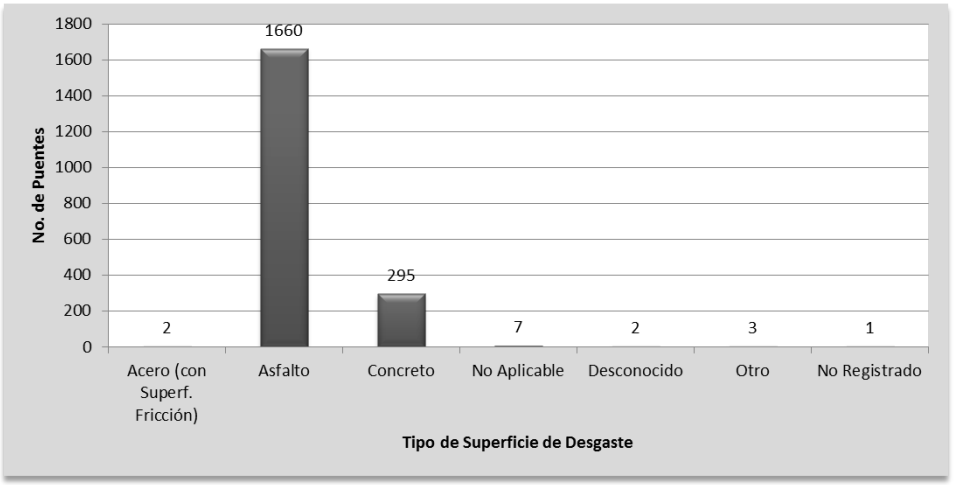


Figura 2. 247 Tipo de superficie de desgaste de los puentes en estudio.

Se observa que dos puentes tienen una superficie de acero con superficie de fricción, mil ciento sesenta puentes su superficie es de asfalto, doscientos noventa y cinco puentes la superficie es de concreto, siete puentes no aplican el tipo de superficie, dos puentes se desconoce el tipo de superficie de desgaste, tres puentes son de otro material la superficie de desgaste y un puente no tiene registro de la superficie de desgaste.

Otro importante concepto es el tipo de apoyo fijo sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 248.

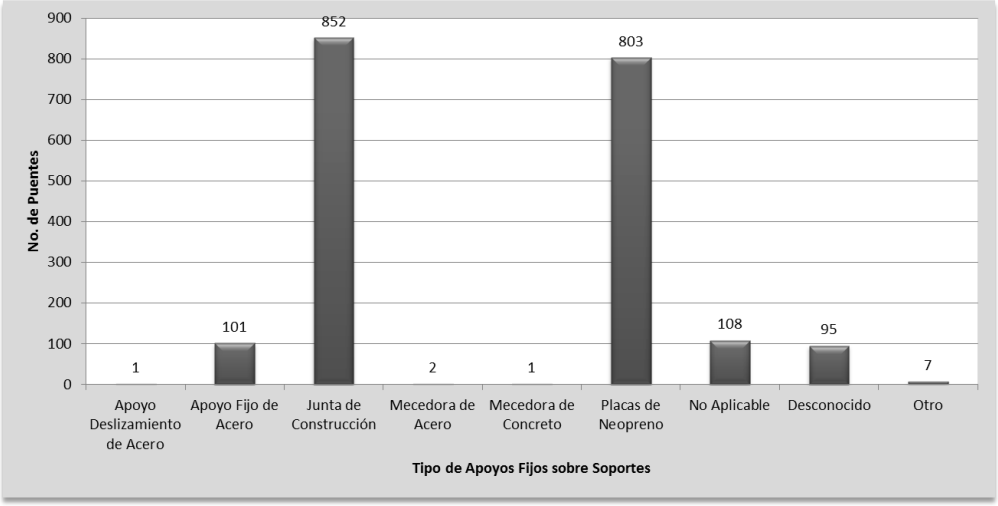


Figura 2. 248 Tipo de apoyos fijos sobre soportes de los puentes en estudio.

En base a lo anterior, un puente tiene un apoyo deslizamiento de acero, ciento uno puentes tienen apoyo fijo de acero, ochocientos cincuenta y dos puentes tienen junta de construcción, dos puentes tienen mecedora de acero, un puente tiene mecedora de concreto, ochocientos tres puentes tienen placas de neopreno, ciento ocho puentes no aplican este tipo de apoyo fijo, noventa y cinco puentes se desconoce el tipo de apoyo fijo y siete puentes tienen otro tipo de apoyo fijo.

En los puentes también se tienen apoyos móviles sobre soportes, los cuales se mencionan en la Figura 2. 249.

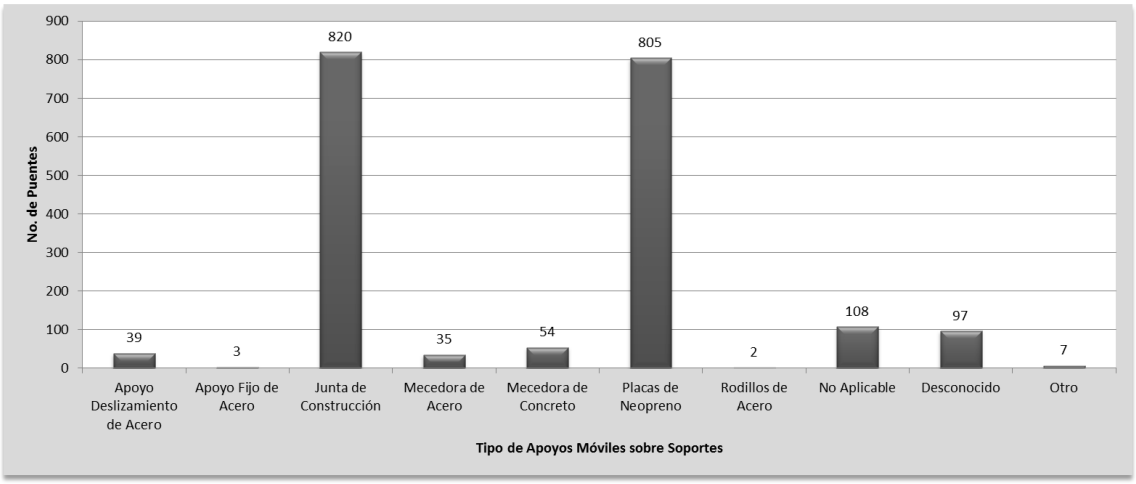


Figura 2. 249 Tipo de apoyos móviles sobre soportes de los puentes en estudio.

En la figura anterior se observan treinta y nueve puentes tienen apoyo deslizamiento de acero, tres puentes tienen un apoyo fijo de acero, ochocientos veinte puentes tienen junta de construcción, treinta y cinco puentes tienen mecedora de acero, cincuenta y cuatro puentes tienen mecedora de concreto, ochocientos cinco puentes tienen placas de neopreno, dos puentes tienen rodillos de acero, ciento ocho puentes no aplican este tipo de apoyo, noventa y siete puentes se desconoce el tipo de apoyo móvil y siete puentes tienen otro tipo de apoyo móvil.

Un dato muy importante en los puentes es la carga con la cual fueron diseñados los puentes, estas cargas se muestran en la Figura 2. 250.

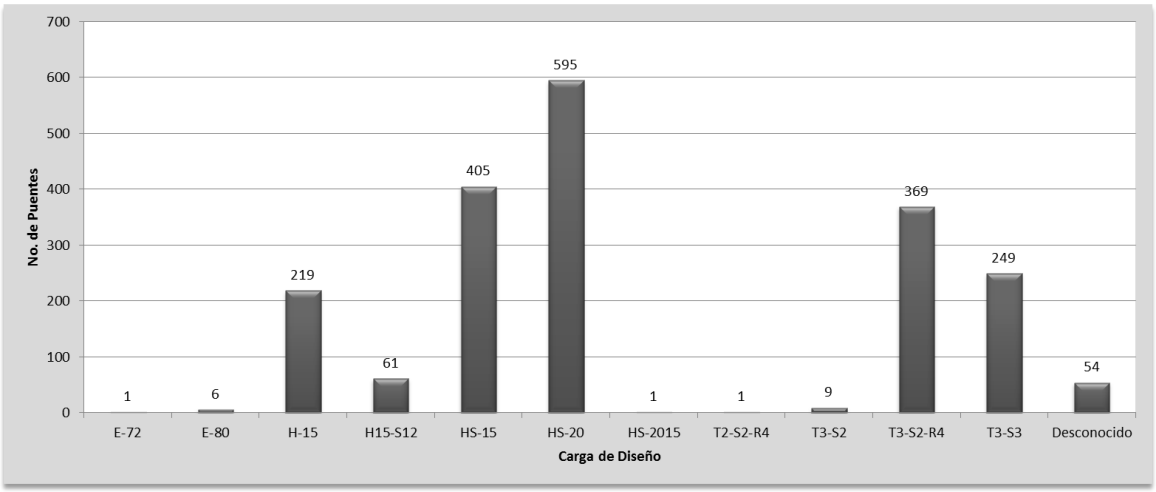


Figura 2. 250 Carga de diseño de los puentes en estudio.

Se observa que un puente fue diseñado para una carga E-72, seis puentes fueron diseñados para una carga E-80, doscientos diecinueve puentes fueron diseñados con carga H-15, sesenta y uno puentes fueron diseñado para una carga H15-S12, cuatrocientos cinco puentes fueron diseñado para una carga HS-15, quinientos noventa y cinco puentes fueron diseñados con una carga HS-20, un puente fue diseñado para una carga HS-2015, un puente fue diseñado para una carga T2-S2-R4, nueve puentes fueron diseñados para una carga T3-S2, trescientos sesenta y nueve puentes fueron diseñados para una carga T3-S2-R4, doscientos cuarenta y nueve puentes fueron diseñados para una carga T3-S3 y cincuenta y cuatro puentes se desconoce la carga con la cual fueron diseñados.

Una de las funciones de los puentes es cruzar obstáculos. Estos obstáculos se mencionan en la Figura 2. 251.

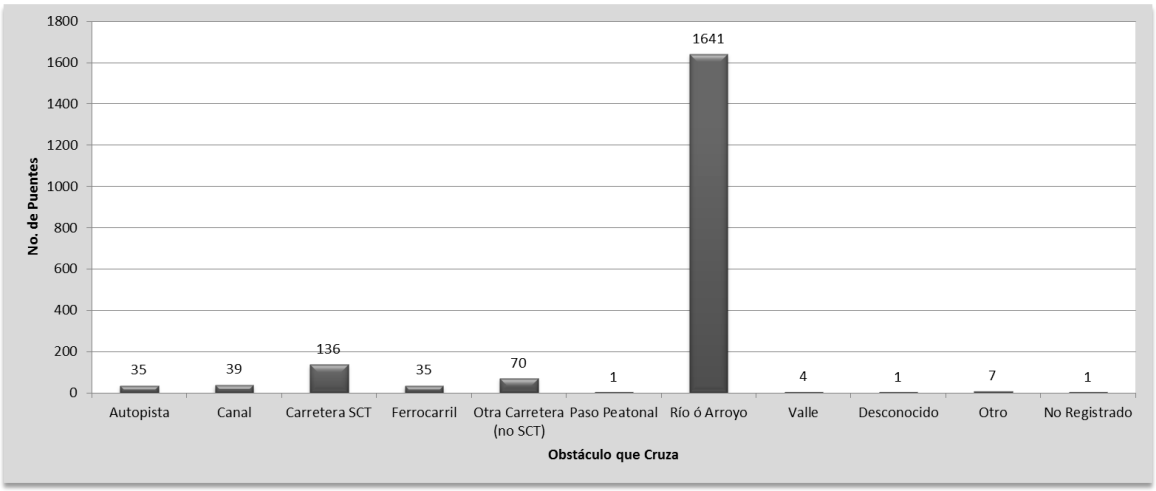


Figura 2. 251 Obstáculos que cruzan los puentes en estudio.

Se observa treinta y cinco puentes cruzan una autopista, treinta y nueve puentes cruzan un canal, ciento treinta y seis puentes cruzan una carretera de la SCT, treinta y cinco puentes cruzan una vía férrea, setenta puentes cruzan una carretera que no es de la SCT, un puente cruza un paso peatonal, mil seiscientos cuarenta y uno puentes cruzan un río o arroyo, cuatro puentes cruzan un valle, un puente se desconoce el tipo de obstáculo, siete puentes cruzan otro tipo de obstáculo y un puente no tiene registro del obstáculo que cruza.

Algunos de los propietarios de estos puentes se mencionan en la Figura 2. 252.

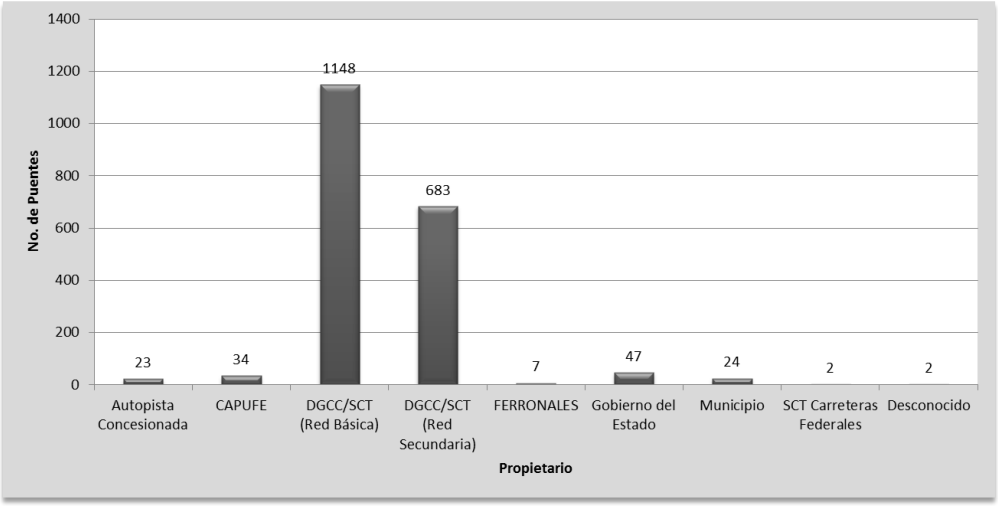


Figura 2. 252 Propietarios de los puentes en estudio.

En la figura anterior se observa que veintitrés puentes están a cargo de alguna autopista concesionada, treinta y cuatro puentes están a cargo de CAPUFE, mil ciento cuarenta y ocho puentes están a cargo de la Dirección General de Conservación de Carreteras en lo que pertenece a la red básica, seiscientos ochenta y tres puentes pertenecen a la red secundaria, siete puentes están a cargo de Ferrocarriles Nacionales, cuarenta y siete puentes están a cargo del gobierno de algún estado en estudio, veinticuatro puentes están a cargo del gobierno de algún municipio, dos puentes están a cargo SCT carreteras federales y dos puentes se desconoce el propietario.

Como se mencionó en el capítulo anterior, es muy importante el Transito Promedio Diario Anual, por lo que estos puentes se ubican en sitios donde se presentan los siguiente TPDA de acuerdo a la Figura 2. 253.

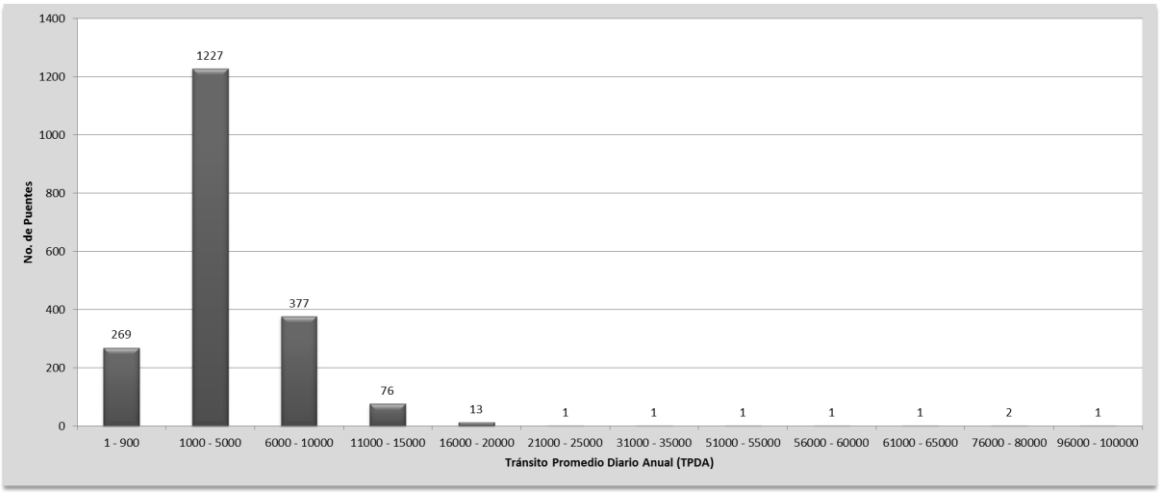


Figura 2. 253 TPDA registrado en los puentes de estudio.

Con lo anterior se observa que doscientos sesenta y nueve puentes tiene un registro de un TPDA entre 1 y 900, mil doscientos veintisiete puentes tienen un registro de un TPDA entre 1,000 y 5000, trescientos setenta y siete puentes tienen un TPDA entre 6,000 y 10,000, setenta y seis puentes tienen un TPDA entre 11,000 y 15,000, trece puentes tienen un TPDA entre 16,000 y 20,000, un puente tiene un TPDA entre 21,000 y 25,000, entre 31,000 y 35,000, entre 51,000 y 55,000, entre 56,000 y 60,000 y entre 61,000 y 65,000, respectivamente y dos puente tienen un TPDA entre 76,000 y 80,000 y un puente tiene un TPDA entre 96,000 y 100,000.

Una de las finalidades del inventario de SIPUMEX es conocer los daños que presentan los puentes en general. A continuación se muestra en la Figura 2. 254 la calificación de los puentes en general, de acuerdo a la Tabla 2. 3.

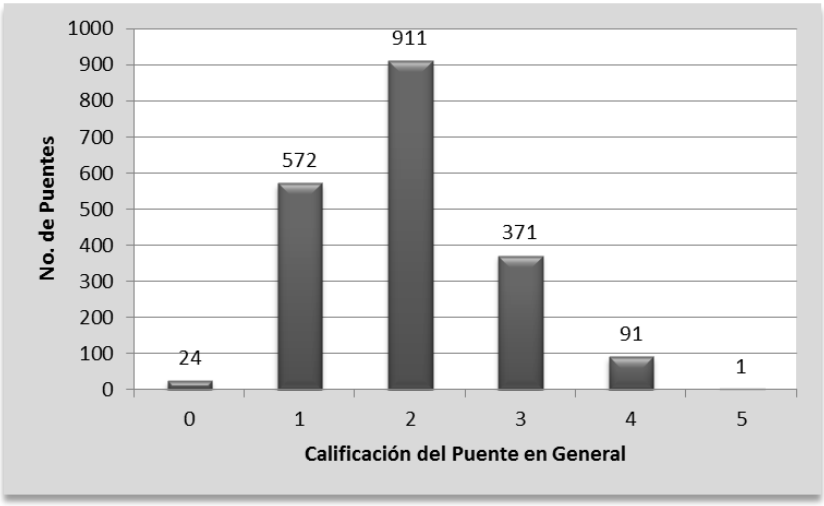


Figura 2. 254 Calificación de acuerdo al SIPUMEX de los puentes en estudio.

Se observa que veinticuatro puentes tienen una calificación de "0", quinientos setenta y dos puentes tienen una calificación de "1", novecientos once puentes tienen una calificación de "2", trescientos setenta y uno puentes tienen una calificación de "3", noventa y uno puentes tienen una calificación de "4" y un puente tiene una calificación de "5", de acuerdo con la calificación de SIPUMEX.

CAPÍTULO 3

COMPORTAMIENTO DE LOS PUENTES ANTE CARGAS

3.1 CAMBIOS HISTÓRICOS EN LOS REGLAMENTOS DE DISEÑO SÍSMICO.

En relación a los reglamentos de diseño sísmico, solo se mencionará los detalles más importantes que ha habido con el paso de los años.

En nueva Zelanda se publicó el primer código que consideraba el diseño sísmico en el año de 1935 después del sismo de Hawkes Bay de 1931.

Los daños ocasionados en el sismo de Long Beach en 1933, principalmente en escuelas y puentes, alertaron a los ingenieros estadounidenses sobre la importancia de considerar el diseño sísmico en su reglamentación. El acero transversal utilizado en aquella época era escaso. (Figura 3. 1).



Figura 3. 1 Columnas con escaso acero transversal.

A mediados de siglo, muchos de los investigadores se enfocaron en realizar pruebas a vigas de concreto reforzado, como resultado fue posible formular las ecuaciones de resistencia a cortante en distintos tipos de elementos de concreto esforzado. Dichos estudios formaron la base del código del ACI para diseño a cortante.

El concepto de ductilidad fue introducido en Nueva Zelanda en los 60 pero sin tener alguna especificación o detalle de cómo lograr esa ductilidad.

Durante los últimos 60 años el criterio de diseño sísmico ha sufrido modificaciones importantes, tal es el caso de la normatividad de la American Association of State Highway and Tranportations Officials (AASHTO). En 1958 la AASHTO incluyó las cargas sísmicas en los requisitos de diseño a través de una carga lateral equivalente que estaba en función de un coeficiente, que a su vez, dependía de la capacidad de carga del suelo y de la carga muerta de la estructura.

Las especificaciones de la AASHTO 1958 aún eran deficientes por lo que 10 años más tarde (1968) se incluyó un nuevo coeficiente que servía para calcular la carga sísmica lateral, este coeficiente representaba la energía que la estructura podía absorber en función de su periodo natural de vibración. En aquel entonces representó un avance trascendental debido a que el nuevo coeficiente no solo consideraba las propiedades estructurales sino también el efecto de la vibración.

En octubre de 1968, Fendwick y Paulay, extendieron las investigaciones de mitad de siglo y desarrollaron un modelo racional para explicar de mejor manera los mecanismos constitutivos resistentes del cortante en vigas de concreto reforzado. Parte del estudio sería incorporado de forma posterior al ACI en 1971.

Durante los años 70 y 80 ocurrieron diversos eventos sísmicos en los que se presentaron daños importantes en diversas estructuras; los puentes, antiguos y recientes, sobresalieron de las demás por los diferentes tipos de fallas que presentaron.

Particularmente, durante el sismo de San Fernando en 1971 la ingeniería estructural volvió a caer en cuenta de las deficiencias de diseño que hasta entonces se tenían y que llevaban años implementándose. Se sabe que la mayoría de los daños y colapsos se debieron esencialmente a la falla de columnas que tenían una baja capacidad de resistir momentos flectores y cortantes; o a la longitud de asiento inadecuada que hacía que los tableros cayeran. (Figura 3. 2).



Figura 3. 2 Principales fallas en puentes por sismo de San Fernando en 1971.

Al sismo de San Fernando en 1971 se le conoce como el evento decisivo, ya que a raíz de este sismo se procedió a cambiar los reglamentos en todo el mundo, con fundamento en investigaciones extensas y pruebas de laboratorio muy completas. Algunas instituciones también optaron por implementar diferentes técnicas de refuerzo para incrementar la resistencia y el comportamiento estructural.

Se presentaron nuevas especificaciones con las cuales se superaba a las reglamentaciones anteriores, además se desarrollaron los espectros de respuesta elásticos normalizados y un mapeo de los máximos sismos esperados para todo EU.

Entre los puntos de mejora se pueden resaltar los siguientes:

- Localización geográfica del puente relativa a la falla activa.

- El efecto del máximo sismo esperado que pueda ocurrir en la falla activa.
- La respuesta dinámica del puente respecto al movimiento del terreno.
- La reducción de las fuerzas sísmicas de diseño para tener en cuenta la ductilidad.
- La consideración del riesgo.

El tratar de entender el modo de falla de los puente bajo el sismo de San Fernando, condujo a que en 1973 el departamento de transporte de california (CALTRANS) a desarrollar una nueva pauta en el diseño sísmico, lo que a su vez serviría de base para las "especificaciones provisionales de puentes carreteros" del AASHTO 1975, La primera metodología precisa y con un análisis aceptable se le atribuye a esta norma ya que estaba basada en modelos sísmicos reales.

A partir del 76, el código neo zelandés, logró avances importantes en materia de reglamentación, realizándose varias reediciones y mejoras en el año de 1982, 1984 y 1992.

En los sismos de México en 1985 y el de Loma Prieta en 1989 los daños se caracterizaron en estructuras construidas bajo reglamentación antigua; en el primer evento se dañaron alrededor de 2,500 edificios de los cuales 210 construidos de concreto reforzado llegaron al colapso.

Con el nuevo criterio de diseño se consiguió que las columnas de los puentes se diseñaran con un adecuado confinamiento y acero de refuerzo para resistir fuerzas cortantes, además de tener un mejor detallado en las uniones con la cimentación y superestructura. Debido al progreso que se consiguió, la AASHTO decidió adoptar el nuevo criterio de diseño en el año de 1983.

El departamento de transporte de California (CALTRANS) inició un programa para el reforzamiento de puentes, en él se distinguen dos fases; la primera de ellas antes de 1989 en donde se estudia la conexión con la superestructura; la fase dos comienza después de 1989 y se analiza sísmicamente al puente en su totalidad, también se proporciona de técnicas de refuerzo.

Sin embargo, en 1987 se presentó nuevamente un sismo en Whittier California (PGA de 0.25g aproximadamente) ocasionando daños en algunos puentes de autopistas antiguos bajo el mismo comportamiento de San Fernando.

En 1989 con el sismo de Loma Prieta (Magnitud 7.1 en escala de Richter, PGA de 0.28g aproximadamente), se presentaron nuevamente algunos percances que llegaron a ser mayores de lo que inicialmente se había pensado con el sismo de San Fernando y Whittier. Las pilas de algunos puentes volvieron a fallar, principalmente a cortante, recalcando el problema que se arrastraba de tiempo atrás. Como consecuencia, CALTRANS desarrolló apresuradamente un programa de reforzamiento de puentes para mitigar las deficiencias en el diseño y detallado. (Figura 3. 3).

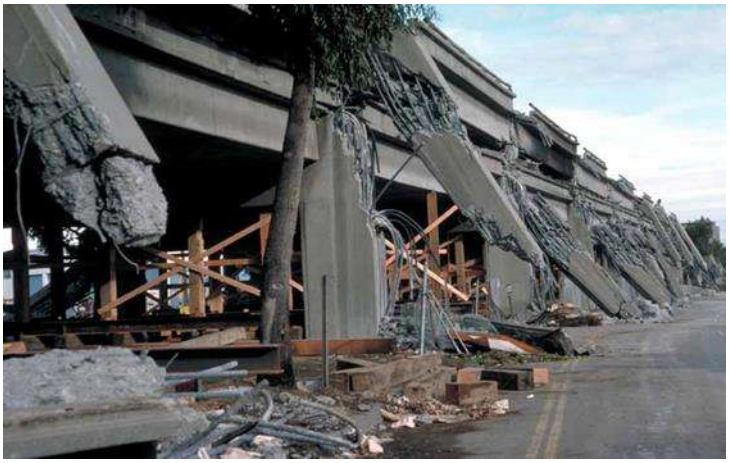


Figura 3. 3 Colapso del Viaducto Cypress durante el sismo de Loma Prieta en 1989, Oakland, Ca.

Entre las técnicas de refuerzo se presentan propuestas para prevenir la pérdida de asiento de la superestructura, el encamisado de columnas con acero para incrementar la resistencia y ductilidad; la resistencia de los cabezales se podía aumentar colocando torones externos, las uniones se podían reforzar con camisas de acero, la cimentación podía aumentarse de tamaño o incrementarse, los apoyos eran sustituidos por aisladores/disipadores y además se proporcionaban técnicas para prevenir los fenómenos de licuefacción/socavación.

La norma AASHTO-15-1992, AASHTO-16-1996, AASHTO-17-2002 estaban basadas en la "guía de diseño sísmico para puentes carreteros del ATC-6 (Elaborado por la Applied Technology Council en 1981). A pesar del mejoramiento constante en cuestiones de diseño sísmico, aún existen muchos puentes que fueron diseñados antes de 1992 bajo especificaciones carentes.

Tiempo después en el sismo de Northridge (magnitud 6.8) de 1994 se comprobó la vulnerabilidad de las estructuras antiguas que no contaban con la ductilidad apropiada. Debido a las deficiencias de las estructuras dañadas bajo los sismos anteriores se tuvo que hacer una reestructuración de la reglamentación, es de esta manera que en los códigos se incorporaron nuevos requisitos tanto para estructuras nuevas como para refuerzo de antiguas. (Figura 3. 4).

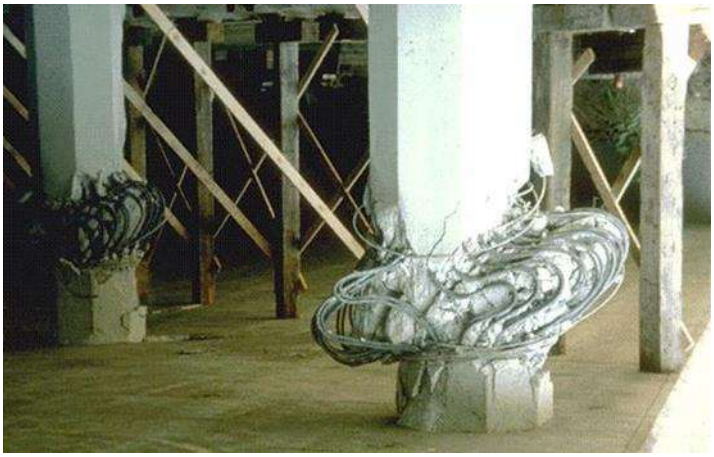


Figura 3. 4 Falla de las columnas de un puente durante el sismo de Northridge en 1994.

Nueva Zelanda en 1995, presentó su código NZS3101 basado en la filosofía de diseño por capacidad. La nueva reglamentación tomaba en cuenta el comportamiento sísmico de las estructuras sujetas a cargas cíclicas laterales en el rango inelástico. El énfasis se dio en aspectos de proporcionamiento y detallado para lograr la resistencia y ductilidad necesarias y con los mecanismos post elásticos apropiados. En otros países como EU y Japón se presentaron avances similares con la diferencia en el grado de capacidad utilizado y la ductilidad esperada de las estructuras.

En el año de 1995 se presentó un evento sísmico en la ciudad de Kobe en Japón mejor conocido como el terremoto de Hyogo-ken Nanbu el cual acentuó las deficiencias de los edificios construidos hasta antes de 1981, que era la fecha de puesta en marcha de la reglamentación japonesa más reciente; caso contrario a las construcciones con fecha posterior que solo sufrieron pequeños daños. Una de las líneas de vida más importantes de la ciudad fue colapsada. (Figura 3. 5).



Figura 3. 5 Colapso del viaducto "Hanshin Expressway" durante el sismo de Kobe en 1995.

Derivado de los sismos en California, EU., y los grandes daños que estos ocasionaron, CALTRANS inició una extensiva investigación teórica y experimental en muchos de los campus de la Universidad de California para investigar varios aspectos del comportamiento y proceso de refuerzo en puentes carreteros, principalmente con encamisado de acero.

La adición de camisas de acero a las columnas lograba un incremento muy significativo en resistencia y ductilidad. Como otra alternativa novedosa se probó el refuerzo de columnas utilizando encamisado con fibra de vidrio/epoxi resultando satisfactorio ya que elimina la falla frágil por cortante y la falla por mala adherencia debido a longitud de desarrollo inadecuada bajo flexión.

A raíz de lo sucedido se han venido haciendo cada vez más y mejores adecuaciones a los códigos, y se ha observado la necesidad de reforzar sísmicamente los puentes para prevenir pérdidas en un futuro.

3.1.1 DEFICIENCIAS Y DAÑOS EN COLUMNAS DE PUENTES DE CONCRETO REFORZADO. EL PROBLEMA DEL DISEÑO ANTES DE 1970

En la época de los 60, las fuerzas de diseño se subestimaban y el comportamiento del concreto bajo cargas cíclicas reversibles no era bien comprendido, fue en aquellos años cuando se construyeron muchos de los puentes que existen hasta ahora en regiones con sismicidad moderada. Los sismos recientes de San Fernando (1971), México (1985), Loma Prieta (1989), Northridge (1994) y Kobe (1995) han mostrado las deficiencias en el diseño sísmico y en el detallado del refuerzo en puentes de concreto.

Por lo general los puentes cuentan con muy poco o nada de sistemas redundantes que permitan la redistribución de esfuerzos como en el caso de estructuras multiniveles o continuas. Mientras más simple es la forma de la estructura es más fácil predecir la respuesta que esta tendrá pero también se incrementa la posibilidad de daño, como se observó en los sismos de México, Chile, Estados Unidos y Japón.

Entender el problema o las deficiencias de los puentes antiguos debe tratarse desde el fundamento de diseño. La metodología de diseño sísmico que se tenía hasta antes de 1971, estaba basada en principios elásticos, por lo que el problema más obvio consiste en que se diseñaba elásticamente aun habiendo comportamiento inelástico. (Figura 3. 6).

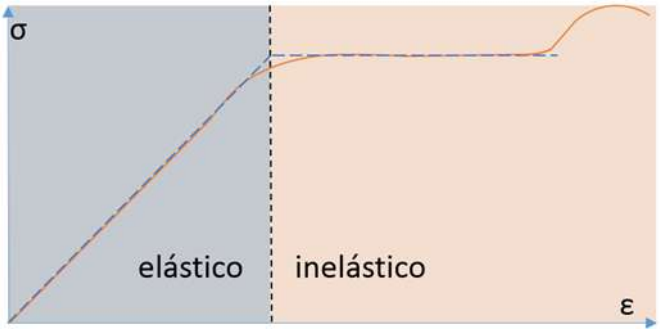


Figura 3. 6 Rangos de diseño elástico e inelástico.

El diseño elástico por lo tanto, no consideraba la incursión de los elementos en el rango plástico y omitía la importancia de la no linealidad en términos de disipación de energía, es así que las articulaciones potenciales no se detallaban para resistir las fuerzas sísmicas, por lo que las columnas resultaban en una falla frágil en flexión o cortante.

La aproximación elástica subestimaba las fuerzas sísmicas, lo que resultaba en deflexiones laterales más grandes de lo esperado pero a longitud de articulación plástica no se diseñaba para controlar esas grandes deformaciones inelásticas. El problema se acrecentaba debido a que la rigidez de las columnas era calculada utilizando su sección gruesa en lugar de la agrietada.

Otra deficiencia radica en la relación de carga axial para diseñar por carga lateral, como resultado de lo anterior se tenían diagramas de momento flexionante incorrectos y con mala aproximación en la localización de secciones críticas y/o las magnitudes de estos. El diseño elástico arrojaba un área de acero de refuerzo insuficiente y longitudes de desarrollo que no eran adecuadas para esas regiones críticas.

La filosofía de diseño de los códigos pre 1970 no comprendía a la preferencia actual de viga débil–columna fuerte, de tal manera que la resistencia a cortante no se diseñaba para ser mayor que la resistencia a la flexión. (Figura 3. 7).

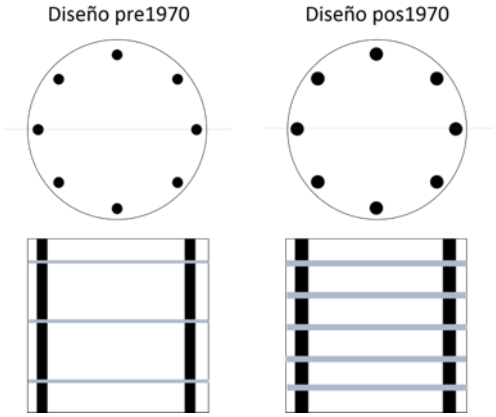


Figura 3. 7 Representación esquemática de las diferencias entre las áreas de acero calculadas con el diseño antes y después de 1970.

3.1.2 PROBLEMAS FÍSICOS DE PUENTES CONSTRUIDOS ANTES DE 1970

Muchos de los puentes construidos antes de 1971 presentaban una resistencia inadecuada debido a la baja o nula ductilidad de los elementos y a la falta de detallado en las conexiones con la superestructura.

Entre las deficiencias características de las columnas de puentes podemos encontrar la falta de acero en la parte superior de las zapatas, una cantidad insuficiente de estribos, un gran espaciado en el acero a cortante y para confinamiento de columnas, el uso de empalmes de barras en la zona de articulación plástica, un anclaje de varillas inadecuado en la zona de zapatas y en la superestructura. (Figura 3. 8).



Figura 3. 8 Falla en pila central de un paso superior vehicular en el sismo de San Fernando en 1971, por escaso acero transversal.

Generalmente los elementos estructurales pre 1970 tienen una sección de traslapes dentro de la región potencial de articulaciones plásticas, que hace que la zona de fluencia se concentre en una longitud recortada ocasionando una ductilidad local limitada. Además, presentan un refuerzo transversal disperso que no confina de manera correcta.

En aquel entonces, el refuerzo transversal se utilizaba principalmente para resistir la carga lateral que se especificaba en los códigos más que el cortante asociado a la formación de articulaciones plásticas por flexión (Actualmente a esa asociación se le conoce como diseño por capacidad). Es así que el acero transversal no solo proporciona resistencia a cortante sino confinamiento del núcleo y soporte lateral contra el pandeo de las barras longitudinales.

La falla por cortante en columnas de pilas de puentes ha sido común en elementos con baja relación de aspecto y refuerzo transversal escaso o con mal detallado. En California, antes de 1971, era común que las columnas se construyeran con estos tipos de problemas lo que conducía al fallo de las pilas o incluso el puente entero.

En febrero de 1971 se registró el sismo de San Fernando (Magnitud 6.6 en escala de Ritcher, posiblemente arriba de 0.5g) que ocasionó el colapso de cinco puentes y el daño de treinta y siete más en las autopistas de la zona de Los Ángeles.

Las columnas que fallaron estaban sobrediseñadas a flexión pero contenían un bajo porcentaje de acero transversal a cortante: Estribos de acero grado 40 (fy =2800 kg/cm^2) espaciadas a cada 12" (30 cm) sin importar el tamaño de la columna o fuerza actuante. Algunas columnas fallaron ya que el núcleo quedó expuesto debido al bajo confinamiento resultado de la deformación por cortante no restringida; otras se debieron a que el agrietamiento bajo flexión hizo que la resistencia a cortante disminuyera por la degradación a través de los ciclos de carga. (Figura 3. 9 y Figura 3. 10).



Figura 3. 9 Falla en pila de puente por un mal anclaje de las barras longitudinales a la cimentación.

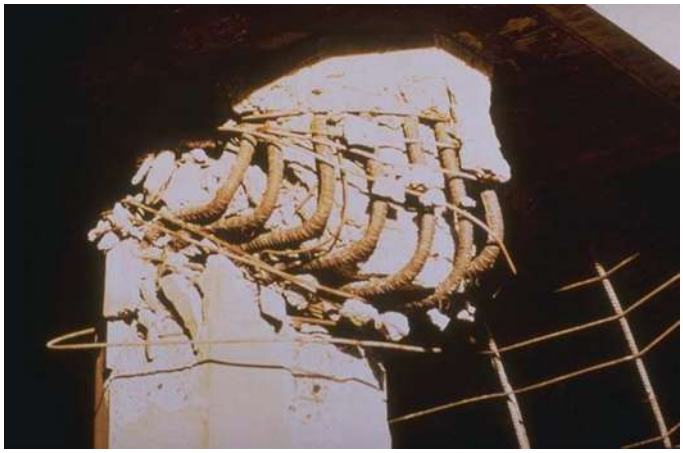


Figura 3. 10 Falla en columna de un puente por escaso acero de confinamiento y pandeo de las barras longitudinales.

Existen otros ejemplos específicos de algunos lugares en donde las fallas fueron atribuidas al limitado comportamiento de las columnas: La librería de la ciudad de Hochinohe, Sismo de Tokachi-Oki, Japón, 1968. El Hospital Olive View, Sismo de San Fernando, EU, 1971. El Hotel Macuto-Sheraton, Sismo de Caracas, Venezuela, 1976. El edificio de Servicios del Condado de Imperial, Sismo de Imperial Valley, EU, 1979.

En el sismo de la ciudad de México en 1985, muchas de las fallas de las columnas se debieron a la escases de acero de refuerzo transversal (estribos) lo que condujo a una falta de confinamiento que les permitiera un mejor comportamiento bajo cargas cíclicas. (Figura 3. 11).



Figura 3. 11 Fallas en columnas en edificios por el sismo de México en 1985.

3.1.3 RESUMEN DE DAÑOS EN CONSTRUCCIONES ANTES DEL SISMO DE 1971.

Los ingenieros investigadores encontraron que los puentes presentaban un par de problemas en su respuesta sísmica y que la mayoría de las columnas que fallaron tenían severas deficiencias. El problema que se observaba en el comportamiento era consecuencia del diseño elástico adoptado. Las columnas de puentes fallaban principalmente por la baja resistencia a la flexión, baja ductilidad y por cortante.

A continuación se presentan los puntos más vulnerables:

- Anteriormente se utilizaban ecuaciones empíricas basadas en poca o nada de experimentación.
- Se tenía un detallado carente del acero transversal para confinamiento que hacía que el acero quedará expuesto bajo acciones símicas.
- Se diseñaba con métodos elásticos muy conservadores con lo que se subestimaba la resistencia a flexión.
- Los requisitos para la resistencia a cortante eran escasos, por lo que su resistencia era mucho menor que la flexión (sobreresistencia) conduciendo a una falla frágil de las columnas.
- Inadecuada resistencia a la flexión debido a los bajos coeficientes de fuerzas laterales empleados en el diseño entre los años 50 y 60, lo cual llegó a ocasionar altas demandas de ductilidad.
- Falla por flexión debido a la baja ductilidad en la parte baja de las pilas donde se localiza la zona de momento máximo.
- Ductilidad a flexión reducida, debido principalmente a la falta de confinamiento mediante refuerzo transversal, lo cual ocasionaba que la curvatura ultima en la zona de articulación plástica fuera muy baja una vez que el recubrimiento se había caído.
- Gran incertidumbre en la capacidad a la flexión debido a que la longitud de traslapes del acero longitudinal requerida desde la zapata era insuficiente para desarrollar toda su capacidad, lo que ocasionaba una rápida degradación de resistencia bajo cargas cíclicas.
- Baja resistencia a cortante en columnas y uniones; ya que se tenía un anclaje inapropiado de las barras longitudinales en la unión con la superestructura y fallas asociadas a las zapatas, cabezales y estribos.
- Falla por cortante, como resultado del método de diseño empleado en donde las cargas laterales utilizadas eran muy bajas.

Fallas comunes en columnas de puentes:

- Baja resistencia a la flexión: se debe principalmente a que no se considera la posible existencia de articulaciones plásticas, consecuencia del diseño con cargas laterales muy bajas.
- La inadecuada ductilidad a la flexión: la resistencia a la flexión no es lo suficientemente grande para permitir a las columnas desarrollar articulaciones plásticas y poseer la ductilidad requerida. Esto es debido a que el refuerzo transversal no está lo suficientemente cerrado para prevenir el daño al núcleo de concreto y el pandeo longitudinal de la barra, aunado al mal doblez de las varillas que conforman los estribos, lo que hace que se abran y el confinamiento del núcleo de concreto se pierda dañándolo de manera importante.
- Incertidumbre en la magnitud de los elementos mecánicos: los diagramas de momento reales son a menudo muy diferentes a los que se utilizan en el diseño, por lo tanto las secciones críticas no se localizan adecuadamente. y la (terminación) distribución del acero de refuerzo no se calcula ni coloca de manera correcta.
- Las fallas por cortante: asociadas a columnas antiguas que no se diseñaron bajo la idea de que la resistencia a cortante debe ser mayor que a la flexión. El problema de este tipo de fallas radica en que se trata de una falla frágil con nada o muy pocos índices de advertencia del colapso inminente.

3.2 PRINCIPALES DAÑOS EN PUENTES

Cuando se diseña una estructura de concreto se concibe para resistir las solicitaciones de cargas ordinarias y extraordinarias a las que estará expuesta durante el tiempo que preste servicio. A dicha estructura se le asigna un tiempo de vida estimado en función de un estudio probabilístico realizado de acuerdo con estructuras de características similares. Sin embargo, en pocos casos prácticos se consideran las condiciones ambientales a los que expone la obra. Esto último resulta muy importante para asegurar el buen desempeño de los miembros estructurales, y para predecir el deterioro que puede sufrir el material de construcción, aumentando con ello la incertidumbre en los que a seguridad estructural se refiere.

Para que el concreto utilizado en la construcción de alguna obra se considere durable, éste deberá resistir la acción deteriorante impuesta por las condiciones de servicio, así como las de exposición en las que se encuentre. Estas condiciones se refieren al medio en que se halla situada la estructura, en tanto que las de servicio son aquellas inherentes a las funciones que desempeña.

Anteriormente se había mencionado que los daños en los puentes norteamericanos durante los sismos en la década de los 70 se debieron principalmente a problemas de diseño y construcción, que a pesar de que los puentes en México pre 1970 correspondían a la misma filosofía de diseño empleada en aquellos países, la configuración era sustancialmente diferente lo que había hecho que se comportaran de forma distinta durante la ocurrencia de temblores.

Por lo general, las fallas en los puentes mexicanos están mayormente asociadas con los problemas de socavación, viento y capacidad de carga antes que los movimientos sísmicos. Recientemente el huracán Manuel en 2013 llevó al extremo la capacidad de los puentes y ocasionó la destrucción total de algunos puentes carreteros en costas mexicanas.

El agrietamiento es muy común y es signo de un deterioro en el puente, es importante identificar si se trata de grietas superficiales o grietas estructurales, así como el grosor que éstas tienen, de ello dependerá que medidas se tomarán para el mantenimiento del puente.

Las grietas superficiales puede deberse al asentamiento del concreto, a la contracción plástica, a la contracción de origen término, a deficiencias constructivas, etc., como se muestra en la Figura 3. 12.



Figura 3. 12 Grietas superficiales en un puente.

Las grietas estructurales se pueden definir como las grietas con orientación bien definida debidas a movimientos diferenciales a la estructura, a sobrecargas y a deficiencias de diseño y de construcción, como se muestra en la Figura 3. 13.



Figura 3. 13 Grietas estructurales en un puente.

Es por eso que los puentes sufren distintos tipos de daño que impactan directamente en la funcionalidad y seguridad de los mismos, además de tener una repercusión en la

economía ya sea por la interrupción del servicio o el colapso de la estructura. A continuación se mencionarán algunos daños que presentan los puentes.

3.2.1 DAÑOS POR CARGAS EXCESIVAS

En nuestro país, no es común que los puentes colapsen por la falta de capacidad de carga, sin embargo muchas veces son expuestos a cargas extraordinarias que no son autorizadas para el puente y han provocado cierto nivel de daño, tales como: ocasionar que las juntas de dilatación se vayan deteriorando más rápidamente; las losas presentan agrietamiento, fatiga y deflexiones excesivas que reducen la capacidad de carga; los terraplenes de acceso se deterioran gradualmente; los estribos experimentan hundimientos; las columnas presentan inclinaciones y agrietamientos.

- Vigas. El concreto reforzado es un compuesto estructural formado por el concreto y el acero de refuerzo. El concreto tiene excelentes propiedades de compresión, pero pobres propiedades de tensión (aproximadamente el 10% de resistencia a la compresión). La mayoría de las estructuras de concreto están sujetas a fuerzas de tensión. Las losas y vigas son los miembros más comúnmente sujetos a una tensión. Las varillas de refuerzo se colocan en el concreto para soportar las fuerzas de tensión. Una viga simplemente apoyada con carga en su parte superior experimenta tensión en su parte inferior, mientras que fuerzas de compresión están actuando en la parte superior. Cuando las varillas de refuerzo están sujetas a tensión se elongan. El concreto alrededor de las varillas de refuerzo, consecuentemente está sujeto a tensión y se estira. Cuando se alcanza una tensión que excede a la resistencia a tensión del concreto, pueden aparecer grietas transversales cerca de las varillas de refuerzo, como se muestra en la Figura 3. 14.

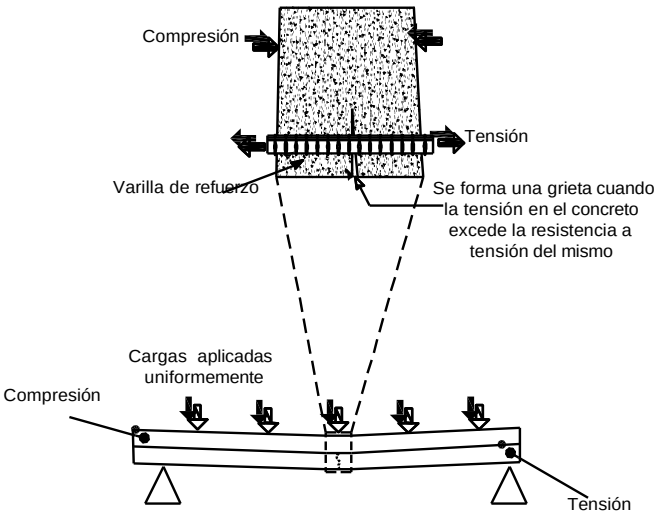


Figura 3. 14 Viga simplemente apoyada.

- Losa-viga-columna. Las conexiones de columnas a losas y vigas, experimentan un considerable esfuerzo de cortante. El esfuerzo excesivo produce grietas en las vigas y en la losa circundante. El agrietamiento por cortante de columnas y vigas en las conexiones puede ser causado por el movimiento horizontal. Las fuerzas horizontales pueden acumularse por los cambios de volumen causados por cambios de temperatura; por el acortamiento elástico causado por fuerzas de postensado y al movimiento de la cimentación causado por asentamientos o sismos. En la Figura 3. 15 se ve el desprendimiento que surge de la columna con la losa y viga debido al movimiento horizontal que se origina por los casos anteriores.

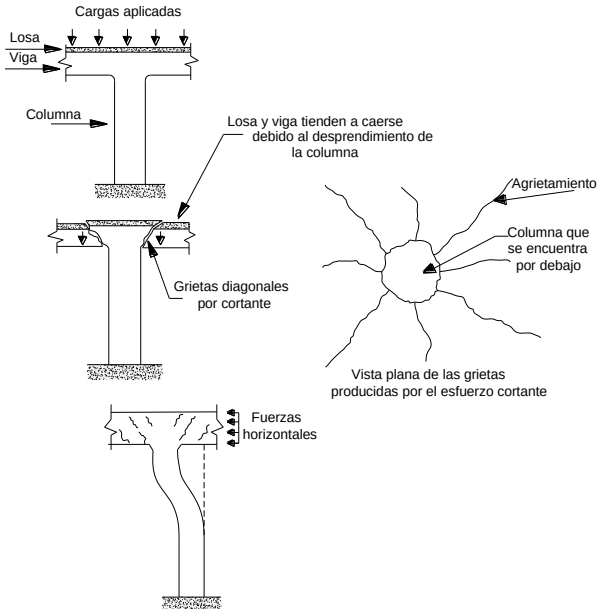


Figura 3. 15 Daños por cortante en elementos losa-viga-columna.

- Columnas. Las columnas deben estar diseñadas para soportar las cargas verticales. El concreto se estira bajo tensión y se comprime bajo compresión. Cuando el concreto es comprimido, las columnas se acortan (deformación vertical) y se abultan (deformación horizontal). La expansión genera fuerzas de tensión que son restringidas por el acero de refuerzo (estribos de las columnas). El acortamiento de las columnas consiste en el acortamiento elástico que ocurre tan pronto como son aplicadas las cargas y en el acortamiento por fluencia ocurre a través del tiempo y es afectado por el esfuerzo constante y la pérdida de humedad después de largo tiempo, esto se muestra en la Figura 3. 16. (Villegas, 2008).

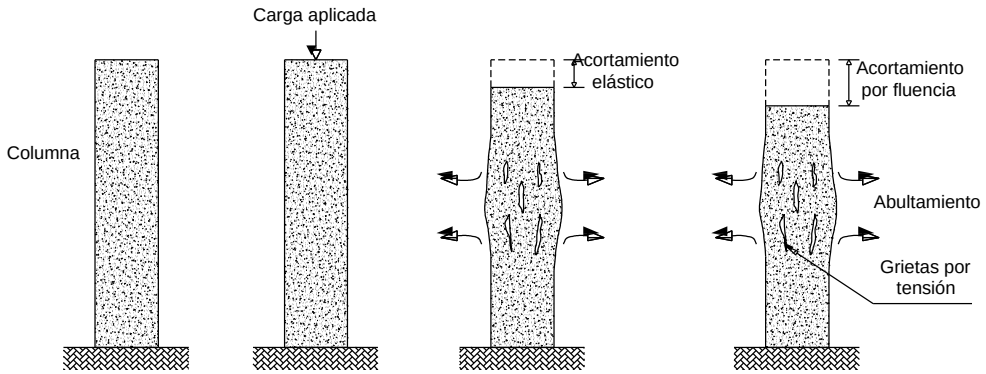


Figura 3. 16 Efecto en columnas.

3.2.2 CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

Debido a la condición altamente alcalina y a la baja conductividad eléctrica del concreto, éste generalmente proporciona una buena protección contra la corrosión de los materiales que se encuentran ahogados en él. Sin embargo, la corrosión del acero de refuerzo es una causa frecuente de daño en las estructuras de concreto.

La corrosión es un proceso electroquímico que requiere de un ánodo, un cátodo y un electrolito. Un concreto húmedo forma un electrolito aceptable y el acero de refuerzo proporciona el ánodo y el cátodo. La corriente eléctrica influye entre el cátodo y el ánodo y la reacción da como resultado un incremento en el volumen del metal cuando el fierro se oxida, para que la reacción tenga lugar debe haber agua y oxígeno.

El grado de proyección que puede proporcionar un concreto al acero de refuerzo, está en función de su calidad, del espesor del recubrimiento y de las prácticas constructivas que se hubiesen realizado. No obstante, existe un número importante de casos de daños que hasta hace unos años causaban desconcierto, pues se desconocía que la corrosión tenía también su origen en otros aspectos tales como la presencia de cloruros en el concreto.

Se sabe que las principales condiciones que propician el inicio de la corrosión del acero de refuerzo son: la excesiva porosidad del concreto, el insuficiente espesor del recubrimiento, la existencia de grietas en el concreto, la alta concentración de agentes corrosivos en el medio de contacto y en el concreto mismo, la presencia de humedad en el interior de la masa del concreto, así como la presencia de corrientes eléctricas.

La excesiva porosidad es el resultado de una deficiente producción del concreto, debido a lo inadecuado de su composición, de su elaboración, compactación y curado. Todos estos factores deberán ser cuidados para obtener un producto de buena calidad.

El recubrimiento del acero de refuerzo es una condición que depende del proyectista de la estructura. Sin embargo, es el constructor y el supervisor de la obra quienes tienen

una influencia directa en este aspecto, pues se ha observado que los recubrimientos efectivos en las estructuras tienen a ser muy variables y con una elevada proporción de valores inferiores a lo especificado. Debido a ello, es conveniente que los proyectistas consideren un recubrimiento adicional, que proporcione mayor seguridad ante el riesgo de errores constructivos.

En épocas anteriores se creía que si una estructura no tenía grietas no existía una razón para que se iniciara la degradación del acero de refuerzo debido a la corrosión. Ahora se sabe que esto no es una condición indispensable para su inicio. Sin embargo, la presencia de grietas en las estructuras facilita la penetración de agentes agresivos que dan inicio al fenómeno.

El intemperismo al que están expuestos los puentes como la lluvia, la acción de sales y temperaturas extremas, impacta en la corrosión de diversos elementos, tales como en los anclajes, el acero de refuerzo, la vigas metálicas y en las armaduras, si llegara a tener el puente. Si se someten a ambientes agresivos tienen un alto riesgo de sufrir corrosión internamente lo que provoca debilitamiento de la estructura. Los apoyos metálicos tienden a reducir su forma de manera importante debido a la corrosión. Estos efectos se incrementan por deficiencias en el drenaje pluvial que aunados a la exposición a la intemperie de los elementos, ocasiona una seria afectación como lo puede ser la pérdida del área de refuerzo o del recubrimiento del concreto (Figura 3. 17) (Román, 2006).



Figura 3. 17 Corrosión en puentes.

3.2.3 MECANISMOS DE DETERIORO DEL CONCRETO

Es necesario conocer con mayor precisión los mecanismos de deterioro que pueden afectar al concreto a fin de desarrollar técnicas adecuadas para la reparación de los daños. Algunos de estos mecanismos son:

- Congelamiento y Deshielo. Es bien conocido que el congelamiento del concreto no produce ningún daño al concreto. El hecho de que se presenten ciclos alternados de congelamiento y deshielo es lo que induce la aparición de un mecanismo de deterioro que de originarse en concretos de baja calidad, producirá con seguridad que estos fallen. Aun cuando el mecanismo se presente en un material de buena calidad, éste sufrirá daños como resultado de su exposición repetida a estos fenómenos.

  Una consideración importante es el hecho de que el efecto de estos ciclos será más severo si la estructura sujeta a congelamiento y deshielo se encuentra en un estado cercano a la saturación total.

  De manera general, puede decirse que cuando disminuye la temperatura del concreto semisaturado, el agua que contienen los poros capilares se congela en la pasta de cemento y se produce una expansión del concreto. Si un subsecuente deshielo va seguido de otra congelación hay más expansión que en el ciclo anterior; si este proceso se realiza con regularidad, la expansión del material crece acumulativamente hasta que, análogamente a la falla por fatiga, se ocasiona su deterioro.

  La acción de este mecanismo se desarrolla tanto en la pasta de cemento como en los agregados, pero su comportamiento es diferente en cada caso, por lo que deben tratarse por separado (Figura 3. 18).

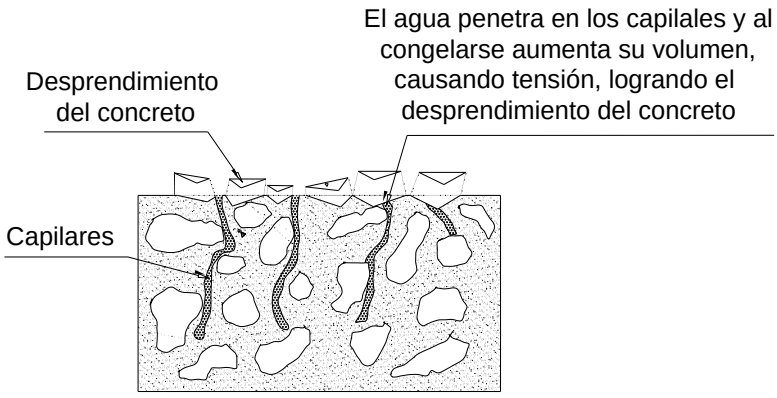


Figura 3. 18 Desprendimiento del concreto por el congelamiento y deshielo.

- Ataque por Sulfatos. El daño del concreto debido a causas químicas es el resultado de muchos procesos, los cuales se agrupan bajo el término "ataque por sulfatos", uno de los cuales es el más importante en una situación dada y depende de la composición y propiedades del concreto, así como de las condiciones del ambiente.

  Es por ello que el correcto entendimiento del mecanismo es importante para el diseño de estructuras de concreto expuestas tanto a suelos con alto contenido de sulfatos, así como a aguas cuya concentración de los mismos sea alta.

  El término "ataque por sulfatos" significa el deterioro que sufre la pasta de cemento al interactuar con sulfatos a temperatura ordinaria, cuando la fuente de ellos es externa.

  El proceso físico-químico que involucra a los sulfatos en el concreto se manifiesta de muchas formas tales como expansión, fisuramiento y pérdida de resistencia, entre otras. Esta última es usualmente atribuida a la reducción de la capacidad adhesiva del principal producto de la hidratación del cemento Portland, llamado hidrato de silicatotricálcico. Como sea, el fisuramiento y desconchamiento son generalmente asociados a reacciones expansivas, tal como la formación de etringita.

Las especificaciones y métodos de prueba para la resistencia al ataque de sulfatos son sujetos a cuestionamiento, debido a que se basan en mecanismos hipotéticos, mismos que no son enteramente correctos (Figura 3. 19).



Figura 3. 19 Ataque al concreto por sulfatos.

- Carbonatación. La causa más frecuente de daño en estructuras de concreto es conocida como carbonatación. La carbonatación es la transformación del hidróxido de calcio, producido durante la hidratación del cemento, en carbonato de calcio. Para que esta reacción pueda llevarse a cabo es necesario que exista CO_2, el cual generalmente es tomado de la atmósfera.

  El efecto que el fenómeno de la carbonatación tiene en el concreto reforzado y presforzado es que además de disminuir la resistencia del concreto, puede llegar a inhibir la protección que el ambiente alcalino del concreto le proporciona al acero de refuerzo contra la corrosión (Figura 3. 20) (Román, 2006).



Figura 3. 20 Prueba de la fenolftaleína para diagnosticar la carbonatación en el concreto.

- Penetración de Cloruros. Un fenómeno que se encuentra frecuentemente asociado a la carbonatación es el producido por la presencia de cloruros en el interior del concreto.

  Los cloruros pueden introducirse en el concreto cuando entran en contacto con el ambiente, tales como el agua de mar o sales descongelantes, aditivos acelerantes de fraguado y para endurecimiento del concreto. La penetración de los cloruros empieza en la superficie y posteriormente se mueve hacia dentro dependiendo de la cantidad de cloruros que entren en contacto con el concreto, de la permeabilidad del concreto y la cantidad de humedad presente (Villegas, 2008).

  Las fuerzas de tensión generadas por la expansión del óxido, hacen que el concreto se someta a extraordinarios esfuerzos de compresión que lo pulverizan.

  El depósito de las sales no se considera tan dañino, debido a que no rompe con la capa pasiva del acero. Sin embargo, si el concreto tiene un alto contenido inicial de sales, las sales químicamente depositadas pueden ser liberadas si las zonas donde se hallan son alcanzadas por la carbonatación. En este caso, el concreto carbonatado no ofrece ninguna resistencia al avance de los cloruros.

Si en la estructura afectada el contenido de cloruros aumenta constantemente después de la carbonatación, se llegará a la producción de la corrosión si el contenido de cloruros alcanza un límite crítico. Si este mecanismo se da en estructuras expuestas a ciclos de humedad y secado alternados, el proceso puede avanzar rápidamente.

Se puede asegurar que la valoración del riesgo de pérdida prematura de durabilidad en el concreto, está en función del contenido de cloruros, del frente de carbonatación y de la cantidad de cemento empleada para elaborar el concreto (Figura 3. 21) (Román, 2006).



Figura 3. 21 Ataque por cloruros en pilas.

- Reacciones álcali-agregado. La reacción álcali-agregado es un fenómeno de carácter expansivo, el cual produce agrietamientos que son generados por esfuerzos en el interior de estructuras y pavimentos de concreto. Lo que se conoce acerca de éste tipo de reacción es que ciertos agregados, tales como formas reactivas de Sílice, reaccionan con el Hidróxido de Potasio, Sodio y Calcio que están en el cemento y forman un gel alrededor de los agregados; cuando el gel alrededor del agregado es expuesto a humedad, se expande creando fuerzas que causan grietas por tensión.

La reacción álcali-agregado puede pasar inadvertida por algún tiempo, ya que puede tardar en desarrollarse más de 30 años, antes de que se desarrollen severos trastornos asociados a esta reacción. Es por eso que conviene estudiarlo para estar en posibilidad de prevenirlo (Figura 3. 22) (Villegas, 2008).

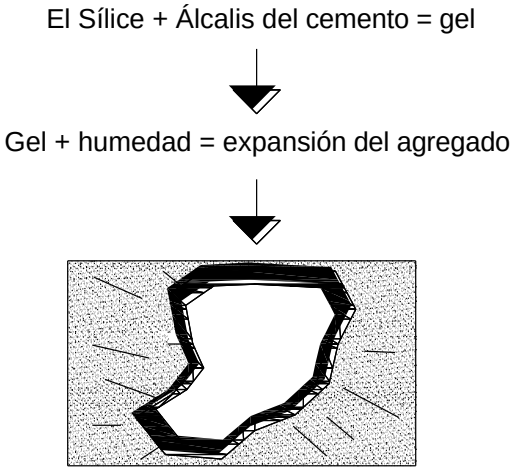


Figura 3. 22 Proceso de reacción álcali-agregado.

3.2.4 TRÁNSITO DE AVENIDAS Y SOCAVACIÓN

El tránsito de avenidas es un fenómeno que afecta a los puentes de manera importante, en especial en lugares donde se registran huracanes y avenidas extraordinarias que superan las solicitaciones para las cuales fue diseñado el puente, en la mayoría de los casos los daños que sufre la estructura de un puente ante el tránsito de avenidas son de socavación ya que se supera la profundidad de la cimentación y esto ocasiona el volteo de la estructura.

También se pueden dañar los terraplenes de acceso, esto repercute en la interrupción del servicio del puente quedando incomunicadas las poblaciones. Este tipo de daño se atribuye, principalmente, a que no están correctamente protegidos los terraplenes ante la erosión y la socavación, a todos estos parámetros hay que sumarle que el nivel del agua de los ríos aumenta, así como su velocidad, lo que hace que se desborden a falta de mayor área hidráulica.

Los puentes que no fallan por estas circunstancias o que los daños son mínimos, se debe a que la cuenca del río es pequeña y su área hidráulica es amplia.

La socavación es una de las fallas principales de puentes, el mecanismo de daño se presenta en las pilas, ya que pueden quedar sin apoyo y se genera un hundimiento excesivo al asentarse sobre el suelo, esto hace que la superestructura termine por colapsar (Figura 3. 23) (Estrada, 2012).



Figura 3. 23 Efectos en puentes por socavación.

3.2.5 DEFICIENCIA EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO

En todo proceso constructivo se sigue una secuencia de operaciones hasta llegar al término de la estructura.

En los últimos años se han encontrado puentes que presentan deficiencias constructivas en alguna de sus partes que pueden poner en riesgo la estabilidad de la estructura. Algunas de estas deficiencias por la cual los puentes pueden tener fallas son:

- Colocación inapropiada del acero de refuerzo. Las vigas y columnas generalmente son elementos demasiado congestionados; los empalmes requieren traslapes de varillas que en ocasiones da el resultado por lo cual puede ser una carpeta de acero a través de la cual no puede pasar el concreto durante la colocación y la compactación. El resultado es un vacío, que puede ser visible, lo que sería peor alrededor del refuerzo (Figura 3. 24).

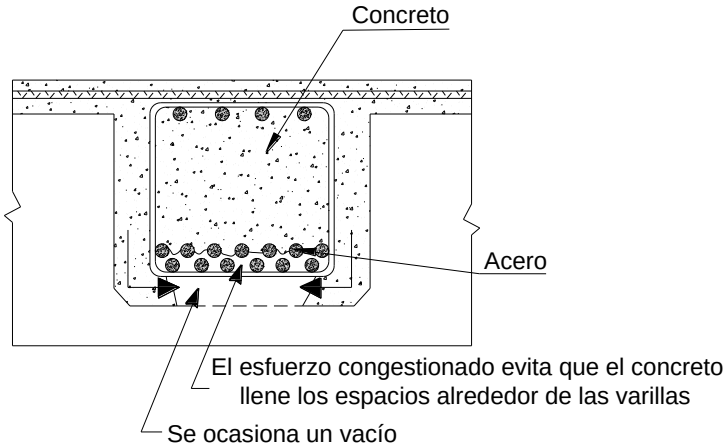


Figura 3. 24 Problemas por colocación inapropiada de acero de refuerzo.

- Retiro prematuro de la cimbra. El retiro de la cimbra (incluyendo el apuntalamiento) antes de que el concreto haya alcanzado su resistencia apropiada puede generar esfuerzo de compresión y de tensión, causando agrietamiento, deflexión y su posible colapso (Figura 3. 25).

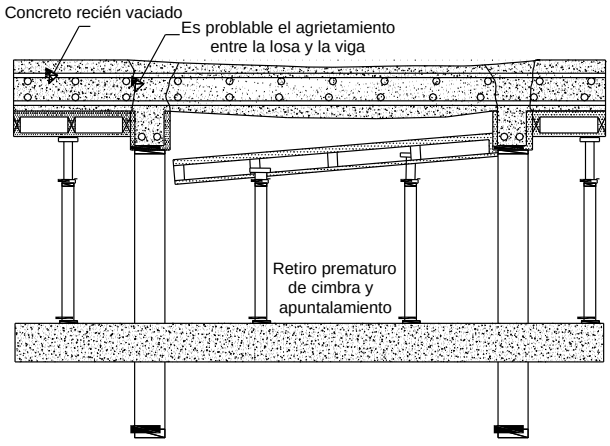


Figura 3. 25 Retiro prematuro de cimbra.

- Colocación inadecuada de las cimbras para columnas. Las cimbras circulares de cartón se usan ampliamente en la construcción de columnas redondas. Típicamente, las columnas son coladas previamente a la colocación de las cimbras para losas y vigas. La elevación exacta de la parte inferior de la losa o viga puede no ser determinada con precisión cuando son coladas las columnas. Si la columna es

colada demasiada alta y penetra el concreto de la losa o viga, pueden ocurrir esfuerzos de cortante críticos, debido a un área inadecuada de la capacidad de cortante entre la columna, losa o viga (Figura 3. 26).

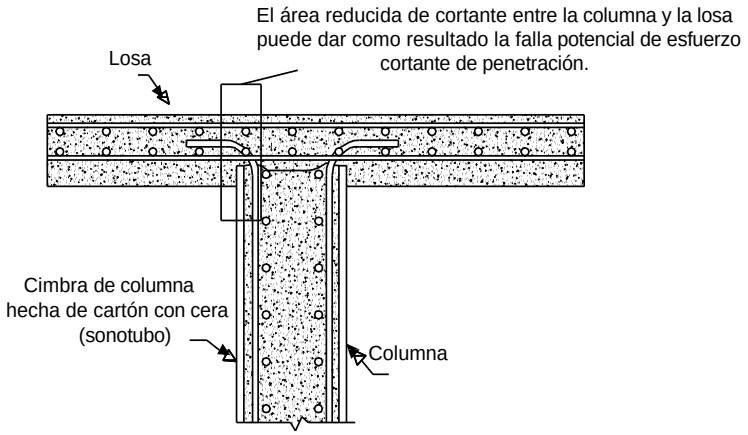


Figura 3. 26 Colocación inapropiada de la cimbra en columnas.

- Juntas frías. Las juntas frías son lugares de discontinuidad dentro de una estructura en donde el concreto puede no estar firmemente adherido a sí mismo. Algunos procedimientos de colocación en la construcción requieren de varias coladas, por ejemplo una presa o muros altos. Para lograr la adherencia y la impermeabilidad apropiada, la superficie del concreto endurecido debe estar limpia, libre de grasa, polvo, partes sueltas o residuos de lechada. En ocasiones no se siguen los procedimientos adecuados de colado y limpieza apropiados o es difícil que se logre una adherencia entre los colados, esto da como resultado debilidad en la estructura.

  Otro tipo de junta fría puede ocurrir dentro de un colado planeado, si una parte del concreto en un colado fragua, y después sobre éstas se coloca el resto del concreto; durante el colado se forman natas, originando un plano debilitado. Entonces puede ocurrir una fuga cuando la estructura es puesta en servicio (Figura 3. 27).



Figura 3. 27 Agrietamiento por juntas frías.

- Segregación. Las principales causas de la segregación son: la mezcla con alto revenimiento, los métodos incorrectos para colocar el concreto y la vibración excesiva. Lo anterior provoca que la superficie superior tenga excesiva pasta y finos, y por lo tanto una excesiva relación agua-cemento, afectando su resistencia (Figura 3. 28).

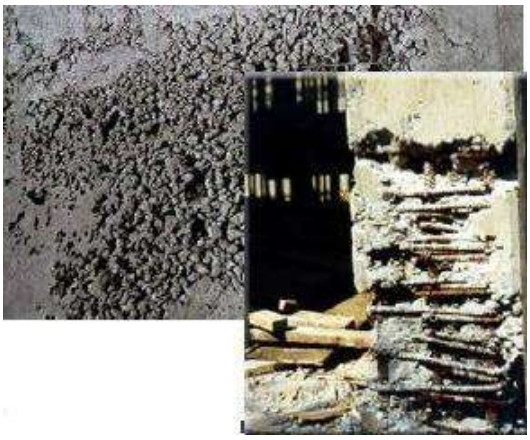


Figura 3. 28 Problemas por segregación en el concreto.

- Agrietamiento por asentamiento plástico. Este agrietamiento es causado por asentamiento del concreto fresco alrededor de un esfuerzo fijo, dejando una grieta por encima de la varilla y un posible hueco por debajo de la misma. La probabilidad de agrietamiento depende del recubrimiento y del revenimiento.

El asentamiento del concreto plástico o fresco es causado por el bajo contenido de arena y alto contenido de agua; por las varillas grandes; por el escaso aislamiento térmico; por la baja humedad; por el tiempo insuficiente entre la corona de las columnas y la colocación de la losa y la viga; por la vibración deficiente y el movimiento de las cimbras (Figura 3. 29).



Figura 3. 29 Problemas por asentamiento plástico.

- Agrietamiento por contracción plástica. La contracción plástica es causada por la rápida evaporación del agua de mezclado mientras que el concreto está en su estado plástico y en las primeras etapas del fraguado inicial. La contracción da como resultado agrietamiento cuando produce esfuerzo de tensión más grande que la capacidad de esfuerzo del concreto recién colado. El agrietamiento por contracción plástica raramente fractura el agregado, pero se separa alrededor del mismo (Villegas, 2008) (Figura 3. 30).



Figura 3. 30 Agrietamiento por contracción plástica.

3.2.6 SISMO

Los antecedentes históricos de puentes dañados o que han sufrido colapso, data desde 1923 durante el sismo de Kanto en Japón (Iwasaki, 1972). Iwasaki reporta los tipos de daños y pérdidas económicas que sufrió Japón de 1923 hasta 1964, en donde se colapsaron más de seiscientos puentes con diferentes estructuraciones.

Los puentes en México se han comportado razonablemente bien durante la ocurrencia de sismos; no se han reportado daños severos ni colapsos y en la mayoría solo se ha llegado a observar fallas en los topes laterales de las pilas (construidos para impedir el deslizamiento lateral de la superestructura); además, se ha podido apreciar el agrietamiento en muros de contención, daños en juntas de dilatación, falla en las uniones de la columna y su cabezal, etc.

Revisiones post-sísmicas han demostrado que el daño inducido en los puentes puede ser de diversas formas y en diferentes elementos estructurales, dependiendo del tipo de movimiento sísmico, condiciones de sitio, configuración estructural y detallado específico de los elementos.

En pocos casos se ha reportado daño en la superestructura de los puentes por lo que se han identificado como principales causas del colapso las siguientes:

- Desplazamiento relativo de los apoyos, lo que ocasiona escasa longitud de asiento en puentes simplemente apoyados o apoyados en el tercio medio del claro. Lo anterior se debe principalmente a una longitud de asiento pequeña o a la falta de elementos restrictores al movimiento y/o topes sísmicos. En puentes simplemente apoyados este mecanismo de falla se presenta principalmente cuando los desplazamientos relativos de las columnas comunes a un claro es grande.
- Golpeteo de las partes adyacentes en estructuras de puentes.
- Asentamiento y rotación de los estribos.

- Fallas en columnas, debido a resistencia a la flexión inadecuada, poco confinamiento del concreto y como consecuencia pandeo del refuerzo; longitud de traslape inadecuado, ductilidad a la flexión inadecuada, resistencia al cortante inadecuada.
- Problemas de detallado en uniones viga-columna.

En México las fallas que se han producido en puentes debido a sismos, no han sido tan numerosas y de hecho, la mayoría de las fallas en la Red Carretera Mexicana y en los puentes urbanos existentes en el Distrito Federal han sido de otro tipo (Hernández et al., 2010) (Figura 3. 31).



Figura 3. 31 Fallas en puentes por sismo.

Según una investigación elaborada por Rivera (2007) solo existe una pequeña cantidad de sismos en los que los puentes han presentado daños moderados, como los de Michoacán (1985) y Manzanillo (1995). Durante la ocurrencia de sismos relativamente recientes (Tehuacán y Oaxaca en 1999 y Tecomán en 2003) el sector comunicaciones y transportes, ha registrado menos costos por daños en comparación con otros sectores, en los que los montos sí son elevados: vivienda, salud o escuelas. No obstante que se tiene un nivel físico de daño moderado, la interrupción del tráfico casi siempre ha sido necesario y se presenta un fuerte impacto socio-económico.

La escasez de daños en comparación con las presentes en edificios ha hecho que en el pasado no se despertará del todo el interés por reglamentar el diseño sísmico de puentes. De hecho, se tiene como documento único en México el Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad, donde se trata el tema de puentes carreteros en forma explícita.

En nuestro país de forma reciente solo se tienen registrados una cantidad pequeña de puentes con daños atribuidos a algún sismo, Pese a ello, la ocurrencia de un sismo fuerte es inminente, sobre todo en la zona conocida como la brecha sísmica de Guerrero en las costas del Pacífico. La SCT reportó los daños de los siguientes puentes bajo el sismo de Tecomán: El puente Coahuayana, el puente Barranca del Muerto, el puente Nexpa, el puente Las Adjuntas y el puente Cihuatlán.

3.2.6.1 SISMOS RECIENTES QUE OCASIONARON DAÑO EN PUENTES

Los principales daños en puentes carreteros se presentaron durante la ocurrencia de un par de sismos en la zona de subducción de las costas del pacifico al sur de la República Mexicana. Pueden existir otro número de movimientos sísmicos que hayan afectado a los puentes costeros en México, sin embargo, son dos principalmente de los que se tiene un mayor número de documentación y reportes: El sismo de Manzanillo en 1995 y el sismo de

Tecomán en 2003. Los estados con mayor cantidad de daños son Colima, Michoacán, Jalisco y Guerrero.

3.2.6.2 SISMO DE MANZANILLO EN 1995

El sismo de Manzanillo ocurrió el 9 de octubre del año de 1995 aproximadamente a las 9:35 am. La estimación indicó que se produjo entre los límites costeros de los estados de Colima y Jalisco, más o menos a 24 kilómetros de la ciudad de Manzanillo (epicentro: 18.79°N, 104.47°W) con una profundidad cercana a los 20 kilómetros y una magnitud calculada de Mw= 8.0. En la ciudad de Manzanillo se registraron aceleraciones del orden de 0.4g.

Los daños se presentaron principalmente a lo largo de las costas de los estados mencionados, además de originar un tsunami entre Manzanillo y Chamela que alcanzó alturas de ola aproximadamente de 5metros. El tsunami dejó a su paso una zona de 200 kilómetros de longitud con inundaciones entre 2 y 5 metros.

Algunas presas instrumentadas por la CFE solo presentaron aceleraciones pequeñas debido a la lejanía del epicentro, no obstante algunas de ellas tuvieron amplificaciones importantes en sus componentes verticales. Las instalaciones portuarias del antiguo muelle y el puerto de San Pedrito en Manzanillo presentaron algunos daños en sus pilotes y en losas.

El daño en estructuras de mampostería y adobe fue el que predominó, observándose que, como en otros temblores intensos, la mampostería simple o el adobe no resisten adecuadamente los movimientos sísmicos.

El daño a líneas vitales se presentó principalmente en algunos puentes carreteros cercanos a la zona epicentral, aunque también hubo daños menores en algunas gasolineras y en el aeropuerto de Manzanillo.

Se pudo observar y cuantificar el daño en algunos de los puentes construidos en la carretera costera del pacifico, entre las ciudades de Lázaro Cárdenas en Michoacán y Puerto Vallarta en Jalisco. El proyecto ejecutivo de los puentes que resultaron afectados por el sismo data de primordialmente de principios de los 70, época en que la ingeniería sísmica en México se encontraba en pleno desarrollo. A pesar de los daños observados, ninguna estructura falló ni tampoco fue necesaria la interrupción del tránsito.

En la carretera Melaque-Puerto Vallarta se localizan 58 puentes en aproximadamente 270 kilómetros de longitud, destacando el número de puentes con un solo claro entre 10 y 35 metros. En todas las estructuras de más de cuatro claros se tenían en los apoyos intermedios pilas de concreto reforzado. Además de esta carretera también se inspeccionaron otras donde el daño se presentó solo en siete puentes. Los daños consistieron básicamente de grietas en elementos estructurales y en accesos, así como asentamientos diferenciales; algunas juntas de calzada fueron dañadas.

En la Tabla 3. 1 se presenta el resumen de los daños observados.

Tabla 3. 1 Resumen de daños observados en puentes bajo el sismo de Manzanillo en 1995.

PUENTE	CARRETERA	KILOMETRAJE	LONGITUD DE PUENTE (m)	No. DE CLAROS	DAÑOS OBSERVADOS
Canoas	Melaque - Pto. Vallarta	19+000	72.80	2	Falla en la pila central y en un estribo
Purificación	Melaque - Pto. Vallarta	28+700	294.15	9	Falla de topes laterales en un estribo; grietas en un talud
Careyes	Melaque - Pto. Vallarta	52+070	20.40	1	Asentamiento en un acceso
Careyitos	Melaque - Pto. Vallarta	52+890	32.20	2	Grietas en el alero de un estribo y en la unión del alero y el cuerpo de otro estribo
Chamela principal	Melaque - Pto. Vallarta	63+350	45.70	2	Pérdida de recubrimiento en la unión de trabes y diafragmas extremos del claro central
Toro 2	Melaque - Pto. Vallarta	103+500	93.30	5	Agrietamientos en la corona; aumento de la separación entre losas y acceso
Río Ameca	Melaque - Pto. Vallarta			4	Grietas en un diafragma de la superestructura; juntas cerradas en su parte inferior
Ing. Manuel López de la Vega	Melaque - Pto. Vallarta			17	Falla de topes laterales
San Patricio	Guadalajara - Barra de Navidad	260+400	10.50	1	Agrietamiento en un alero de estribo; accesos con grietas y asentamientos
Jaluco 2	Guadalajara - Barra de Navidad	260+800	31.50	3	Grietas en algunos pilotes y coronas; accesos con asentamientos. Desalineamientos de tramos
Jaluco 1	Guadalajara - Barra de Navidad	260+900	42.00	4	Grietas en pilotes y coronas; accesos con grietas y asentamientos diferenciales
Cihuatlán	Manzanillo - Melaque	43+920	420.00	14	Desplazamiento lateral de los tramos 11 y 12, aguas arriba; asentamiento diferencial en el lado aguas arriba de la pila 12; destrucción de las juntas de calzada sobre las pilas 10, 11 y 12 y falla de los topes laterales en las pilas 2 a 9
El Rincón	Manzanillo - Melaque	40+900	420.30		Agrietamientos de un alero y asentamientos en accesos
El Marabasco	Manzanillo - Melaque	43+720		14	Grietas en topes laterales
Coahuayana	Lim. Estados Mich./Col. En Manzanillo	239+000	390.00	13	Asentamientos en accesos; agrietamientos entre pila y cabezal del estribo del lado de Cihuatlán; desprendimiento de juntas de calzada y fallas en los topes laterales

En la Figura 3. 32 se muestra la ubicación de estos puentes.

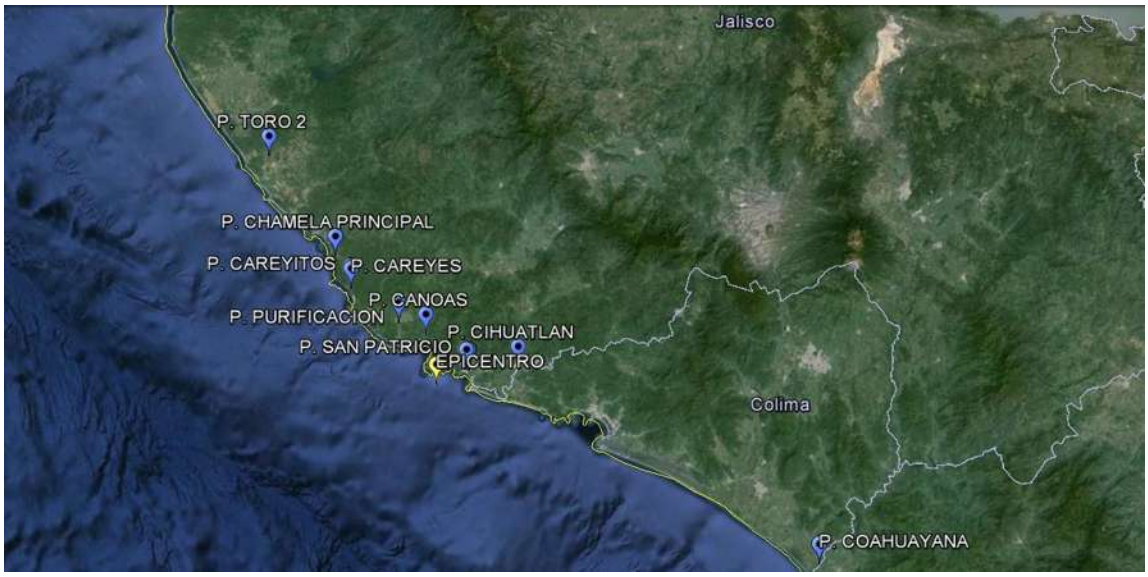


Figura 3. 32 Ubicación de puentes afectados por el sismo de Manzanillo en 1995.

3.2.6.3 SISMO DE TECOMÁN EN 2003

El sismo de Tecomán en las costas de Colima el día 21 de enero de 2003 aproximadamente a 60 kilómetros de Colima y de Manzanillo, tuvo una magnitud de consideración de 7.8 (7.8 MW a veces 7.5 MW y 7.6 MS), pero una intensidad máxima moderada (VIII en escala MMI) en comparación con algunos otros movimientos registrados en México y alrededor del mundo. El sismo se generó en la zona de subducción del pacifico, en la brecha producida por las rupturas de los sismos de 1973 de Michoacán-Colima (M 7.6) y Manzanillo (M 8).

Las afectaciones se presentaron de principalmente en el estado de Colima, no obstante, Jalisco y Michoacán también tuvieron daños moderados. Se considera que los daños fueron menores a lo observado en otras partes del mundo bajo acciones sísmicas similares, posiblemente por la lejanía de los centros de población (efectos de atenuación de Young).

Los daños producidos se presentaron principalmente en estructuras construidas con técnicas de la zona como es el adobe y mampostería sin reforzar, en donde los efectos locales del suelo jugaron un papel importante.

Existe un gran parecido con las experiencias vividas en EU con los sismos de Loma Prieta y Northridge, los cuales además de evidenciar las vulnerabilidades en estructuras similares a las descritas anteriormente, acentúo el problema de la respuesta en vialidades elevadas (urbanas y carreteras). A partir de ello se implementaron programas de reparación y se puso en vigencia una reglamentación más apropiada. En México, lamentablemente, los programas estratégicos solo se presentan después de la ocurrencia de grandes catástrofes como el sismo de 1985 y no atendiendo la prevención en eventos de impacto local o moderados como es el caso de los sismos de Manzanillo en 1995 o el de Tehuacán en 1999.

3.2.6.4 BREVE DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS PUENTES DAÑADOS

Las siguientes descripciones están basadas en los reportes SIPUMEX 2011 y en el informe sobre el sismo de Tecomán de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.

- El puente “Coahuayana” es un puente tipo que se encuentra localizado en la carretera Playa Azul-Manzanillo en el estado de Colima utilizado para salvar el río de su mismo nombre. El puente pertenece a la Red básica de la SCT y fue construido en el año de 1963 pero tuvo trabajos de reconstrucción en el año de 2002. El camión de diseño utilizado fue el T3-S3-R4 y el TDPA es de 5053 vehículos, donde el 13% corresponde a camiones.

  Cuenta con trece claros simplemente apoyados de igual longitud de 30.9 metros que juntos suman la cantidad total de 401.2 metros. Su ancho total es de 8 metros (8.75 metros en el libro de CENAPRED) y es totalmente recto en súper y subestructura. La sección transversal es constante y está compuesta por un sistema

de losa con dos vigas (losa nervada). En este caso las vigas fueron reforzadas utilizando torones externos.

La subestructura está conformada por estribos de concreto reforzado enterrados con pilotes con cabezal y doce pilas de concreto reforzado tipo muro y cimentado también a base de pilotes con cabezal. La conexión cuenta con apoyos de neopreno/acero de 5.7 centímetros en la unión pila-superestructura.

Durante el temblor de 1995 el puente sufrió algunos daños: topes laterales dañados, asentamientos de los accesos, agrietamientos entre la pila y el cabezal de los estribos, y el desprendimiento de las juntas en la calzada. Cuando ocurrió el sismo de 2003 se estaban llevando a cabo el reforzamiento en la subestructura que incluía la colocación de pilotes adicionales en la cimentación de las pilas y la ampliación y encamisado de las zapatas debido a problemas de hundimientos y socavación. Estos problemas han estado presentes desde su construcción pero se agravaron durante el sismo de 1985 y el de 1995.

Según el Informe del sismo de Tecomán los daños ocasionados en el 2003 se debieron a problemas constructivos, no de diseño, tal es el caso de las uniones deficientes entre la zapata y los pilotes. En cuatro de los claros intermedios se presentaron desplazamientos laterales de hasta 15 centímetros y los topes sísmicos fueron dañados pero cumplieron con su función de evitar el colapso de la superestructura.

En general los trabajos de reparación incluyen el reencarpetamiento, arreglo de juntas de expansión y filtraciones en la losa, además se reconstruyeron y nivelaron de los apoyos que se dañaron durante el sismo del 2003. Posteriormente se llevó a cabo un programa de reparación de los topes sísmicos con base en diferentes propuestas. Las reparaciones más importantes consisten en una re-cimentación de algunas pilas en 1998 y 2002.

A continuación se presenta en la Figura 3. 33 una serie de imágenes tomadas del reporte oficial de la SCT.



a) El puente presenta desplazamiento vertical



b) Pila no. 12. Esta pila sufrió asentamiento



c) Fractura de los topes antisísmicos de la pila no. 6.



d) Reparación de uno de los estribos como consecuencia del asentamiento



e) Pila no. 12 presenta fractura de sus topes antisísmicos y requiere recimentación



f) Reconstrucción de la zapata de la pila no. 9. Los pilotes y la conexión son deficientes.

Figura 3. 33 Imágenes del puente Coahuayana después del sismo de 2003.

- El puente "Nexpa" corresponde a una estructura clasificada como "tipo" por SIPUMEX. Se localiza en la carretera Playa Azul-Manzanillo en el estado de Michoacán, su principal función es permitir la circulación en la carretera evitando

el río Nexpa. El puente pertenece a la Red básica de la DGCC/SCT y fue construido en el año de 1975 pero en 1997 fue sometido a trabajos de reconstrucción. La carga viva utilizada en el diseño fue la de un camión HS-20 y su TDPA es de 578 vehículos de los cuales solo el 9% corresponde a camiones.

La configuración del puente está dada por siete claros simplemente apoyados, rectos y sin esviajamiento, los cuales tienen una sección transversal de la superestructura compuesta por un sistema de losa y cuatro vigas de concreto presforzado. El claro más pequeño cuenta con una longitud de 14.8 metros mientras que el claro más grande tiene 35.5 metros, la suma de todos los claros suma una longitud de 224 metros. El ancho total de la sección transversal es de 10 metros con banquetas de 50 centímetros a cada lado.

La subestructura cuenta con estribos de concreto reforzado enterrados y cimentados en pilas cilíndricas de concreto reforzado, las pilas que soportan a la superestructura solo consisten de una sola columna con un cabezal extremo, estas pilas también están cimentadas en cilindros de concreto reforzado enterrados en el terreno. La unión de los cabezales con las vigas cuenta con placas de neopreno.

El puente ha presentado daños en diferentes componentes como problemas de socavación en sus caballetes, fisuras y daños aislados en la losa por sobrecarga y la flecha excesiva en las vigas. Además se tiene un proyecto de rehabilitación de la estructura en general y el incremento en las dimensiones de sus topes sísmicos, el cual fue aprobado en marzo de 1997 por la DGCC.

En la Figura 3. 34 se muestra imágenes del puente Nexpa



a) Vista general de la subestructura



b) Se observa que la superestructura sufrió daño estructural por sobrecarga, así como la inyección de grietas con resina epoxi



c) Vista de la pila sobre el cauce

Figura 3. 34 Imágenes del puente Nexpa

- El puente "Cihuatlán" tiene su ubicación en el kilómetro 43+400 de la carretera Manzanillo-Barra de Navidad cerca del límite entre Jalisco-Colima y del poblado con el mismo nombre. El puente presentó algunos daños en sus topes sísmicos durante la ocurrencia del sismo de 2003.

A continuación, en la Figura 3. 35, se presentan las imágenes del puente Cihuatlán.



a) Puente Cihuatlán, que pasa sobre el río del mismo nombre.



b) Vista general desde la margen izquierda aguas arriba



c) Fractura de los topes antisísmicos



d) Fractura y desprendimiento del concreto en un tope antisísmico

Figura 3. 35 Imágenes del Puente Cihuatlán

- El puente "Las Adjuntas" está ubicado en el tramo "Tecomán-Manzanillo" del kilómetro 319+200 de la carretera federal de Playa Azul a Manzanillo. Es un puente de concreto reforzado con una superestructura compuesta por losa y vigas, las pilas están construidas a base de columnas cuadradas y entre cada una de ellas existe una especie de diafragma que la hacen parecer más a una pila tipo muro con cabezal extremo y con apoyos de neopreno de hasta 41 milímetros. Originalmente constaba de siete tramos de poco más de 14 metros cada uno con un ancho total de circulación de 9 metros. El esviaje que posee con respecto a las pilas es de alrededor de 11 grados y además cuenta con diafragmas intermedios de concreto reforzado. En agosto de 2003 se elaboró un proyecto técnico de reestructuración por parte de la DGCC. En un principio las trabes eran de concreto reforzado pero se sustituirían algunas de ellas por vigas AASTHO presforzadas, se aumentarían las dimensiones y armado de los topes sísmicos, y además se agregarían tres pilas cilíndricas de dimensiones mayores.

A continuación se presentan algunas imágenes de los problemas del puente "Las Adjuntas" antes de ser intervenido (Figura 3. 36).



a) Vista general desde la margen izquierda aguas arriba. Se observa problemas de socavación de las pilas



b) La placa de neopreno en el apoyo extremo está mal colocada.

Figura 3. 36 Imágenes del puente Adjuntas.

- El puente "Barranca del Muerto" está localizado en el km 26+600 de la carretera Colima-Guadalajara muy cerca del límite entre ambos estados. Es una estructura compuesta por dos claros de 30 y 45 metros de longitud con trabes de concreto presforzado de 2 metros de peralte; el ancho total de la superestructura es de 9.10 metros y su corona tiene 8.10 metros. Cuenta con una pila tipo muro que medida desde la parte baja de desplante tiene una altura de 26.70 metros, la sección transversal cuadrada con las esquinas en medio circulo, además está aligerada internamente por medio de nueve huecos circulares de 72 centímetros. Tiene un ancho de 8.65 metros y posee un cabezal extremo de 9.25x1.61metros con placas de neopreno donde descansan las cuatro vigas de la superestructura.

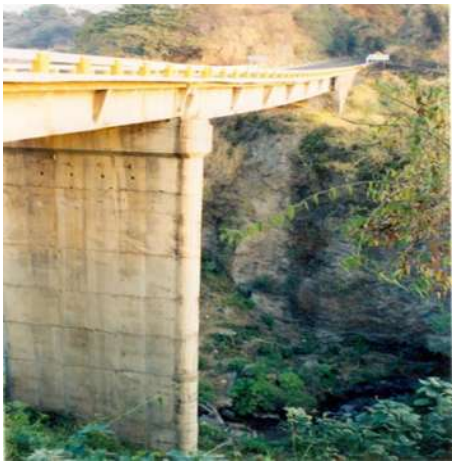
En la Figura 3. 37 se observa la configuración general del puente "Barranca del Muerto".



a) Vista inferior de uno de los claros. Se observa deflexión en las trabes



b) Vista general de una de las márgenes. Se observa que presenta flecha la superestructura



c) Vista general de la superestructura aguas abajo.

Figura 3. 37 Imágenes del puente Barranca del Muerto

Existen otro tipo de puentes que durante la revisión posterior al sismo de Tecomán presentaron algunos daños, sin embargo, no se sabe a ciencia cierta si los daños ya existían con anterioridad y el sismo solamente acrecentó el problema.

- El puente "La Grulla" ubicado en la carretera Colima-Manzanillo consta de una estructura de concreto reforzado con la superestructura compuesta de cuatro tramos de una sección cajón. La subestructura la componen pilas de columnas circulares y cabezales. El acero de la sección en los estribos está expuesto y posiblemente se deba a problemas constructivos, donde además se observaron algunas grietas inclinadas como consecuencia de asentamientos diferenciales por hundimientos en los accesos del puente.

- El puente "La Lupita" también se encuentra ubicado en la misa carretera de Colima-Manzanillo y tiene una subestructura compuesta por pilas de doble columna rectangular las cuales están conectadas por dos vigas que corren longitudinalmente por la parte baja de la sección cajón de la superestructura. En este puente se observaron algunas grietas inclinadas en las secciones extremas de las vigas, se presume que las grietas existían desde hace tiempo pero que la longitud y anchura se incrementó con el sismo de 2003.

Existen otros dos puentes localizados en la carretera Aeropuerto-Colima (7 y 4 kilómetros de la ciudad). Ambas estructuras poseen un esviajamiento y están construidos a base de vigas presforzadas con una y dos pilas tipo marco respectivamente. Los daños observados corresponden a grietas de los topes laterales. El puente localizado a 4 kilómetros fue construido en el año de 1999 y presenta esencialmente la falla de los topes sísmicos y grietas diagonales en algunas columnas de las pilas, no obstante también fueron detectadas deficiencias constructivas en la unión viga-pila y sus apoyos de neopreno.

Algunos puentes de la zona conurbada de la ciudad de Colima (entrada por carretera Colima-Tecomán) también presentaron fallas en sus topes laterales. Los puentes tienen una configuración a base de vigas de concreto presforzado y pilas tipo marco que tienen entre tres y cinco columnas de concreto reforzado o sobre pilas tipo muro. (Figura 3. 38)

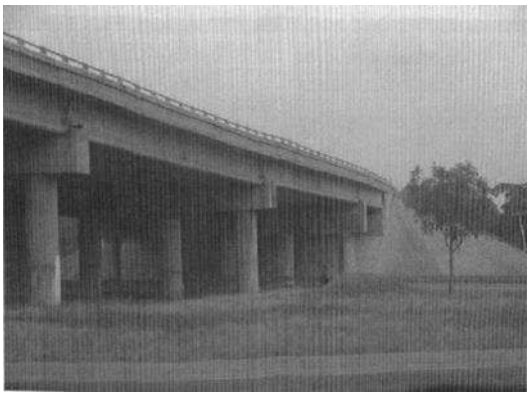
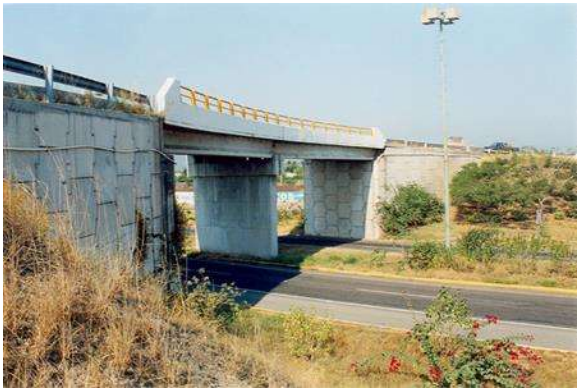


Figura 3. 38 Puente de la salida hacia Colima que sufrió daños en sus topes antisísmicos.

A continuación se muestran las imágenes del puente que la SCT nombró como Tecomán Izq. (Figura 3. 39) y Tecomán Der. (Figura 3. 40).



a) Vista general del puente en dirección a Manzanillo



b) Se observa el desplazamiento transversal del claro con respecto a los accesos



c) Se observa la fractura del tope antisísmico en una de las pilas centrales.



d) Fractura de la carpeta como consecuencia del movimiento transversal de la superestructura

Figura 3. 39 Imágenes del Puente Tecomán Izq.



a) Vista general en dirección a Colima



b) Se observa la fractura del tope antisísmico



c) Se observa el asentamiento de acceso así como el corrimiento del bordillo



d) Puede observarse la fractura del tope antisísmico

Figura 3. 40 Imágenes del puente Tecomán Der.

- El puente Carlos de la Madrid posee cinco claros y se encuentra sobre el libramiento oriente de la ciudad de Colima. Presentó daños como los encontrados en otros puentes y que son típicos en estas estructuras cuando se presenta un evento sísmico como la falla de los topes antisísmicos y el desfase de las vigas. En este puente el movimiento del suelo se podía apreciar en la base de las columnas y se encontraron daños por el choque entre las vigas y el apoyo de los estribos como consecuencia de la poca holgura entre ambos.

- Los puentes Gonzalo de Sandoval y el puente Central de Autobuses ubicados sobre el libramiento oriente de Colima, Igualmente presentaron la falla de los topes antisísmicos y asentamientos en los estribos. La falta de holgura también ocasionó daños en algunos puentes peatonales, que por lo general están compuestos por dos vigas de concreto reforzado apoyados sobre pilas de concreto reforzado.

En la Figura 3. 41 se observa la ubicación de los puentes mencionados anteriormente.

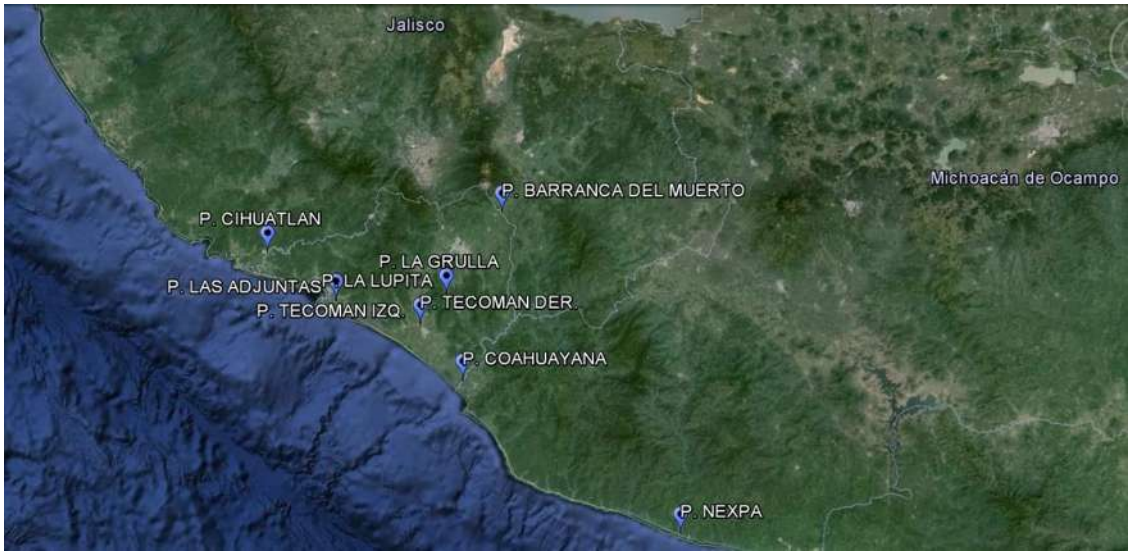


Figura 3. 41 Ubicación de los puentes dañados en el sismo de Tecomán en 2003.

3.2.7 CLIMA

Las condiciones climatológicas en las que se ubica ya sea, una obra en proceso o una estructura de concreto terminada, tienen gran influencia en el diseño de las mezclas y en la definición de los procedimientos constructivos a ser empleados. Estas condiciones se caracterizan principalmente por las temperaturas y las precipitaciones pluviales que se presenten a lo largo del año en el sitio y dependen de su posición geográfica y de su altitud.

En lo que respecta a la durabilidad del concreto, la temperatura tiene gran influencia en los efectos nocivos que pudiesen presentarse en él. Así pues, se deberán cuidar diversos aspectos durante la colocación de la mezcla del concreto, de acuerdo al clima en el que se esté trabajando.

En México se encuentran identificadas cuatro regiones de acuerdo al riesgo de exposición a temperaturas que puedan causar efectos nocivos por congelamiento y deshielo, pues este es la principal causa de preocupación para el diseño y fabricación de mezclas.

No sólo en el caso de clima frío tendrán que considerar las condiciones de fabricación y exposición del concreto, sino también en clima húmedo, cálido o seco (Figura 3. 42).

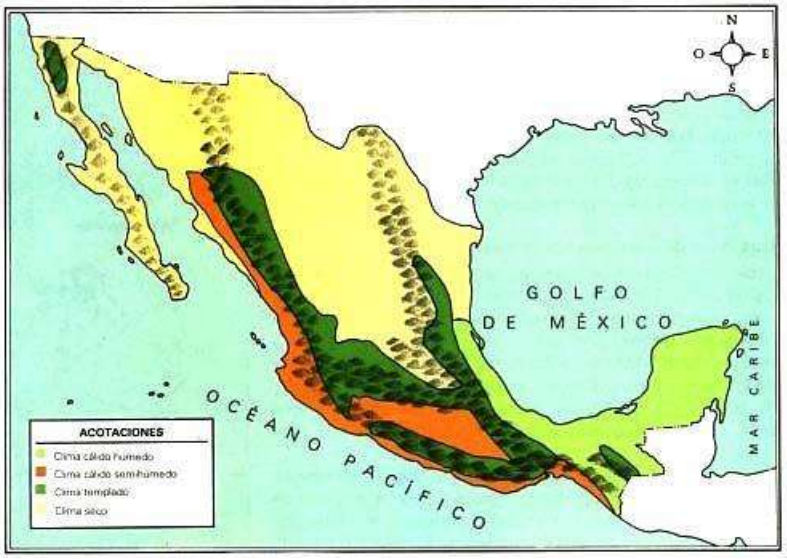


Figura 3. 42 Climas de México.

En el Anexo A, se muestra los daños de los puentes que están calificados con 4 y 5 de los estados de estudio, de acuerdo con la calificación de SIPUMEX.

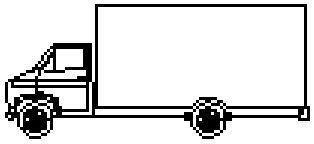
3.3. CAMBIOS DE CARGAS VEHICULARES PARA EL DISEÑO DE PUENTES Y SU NORMATIVA

La infraestructura carretera de México se ha construido asumiendo una serie de condiciones específicas sobre el peso, las dimensiones y la frecuencia de los vehículos que se utilizarán durante un periodo de diseño determinado.

Como se comentó en el Capítulo 1, los primeros puentes en construirse fueron en el año 1926, por medio de la primera colección de “Proyectos Tipo”. Los puentes construidos de 1926 a 1939 fueron proyectados de una sola vía de circulación de una sola banda de camiones H-15 con carga móvil de 13.6 toneladas y H-20 con carga móvil de 18.1 toneladas (Tabla 3. 2). No todas las superestructuras de esa colección son igualmente

susceptibles a los efectos de las cargas vivas. Es más, no todas las partes de una misma superestructura son igualmente afectadas por las cargas móviles.

Tabla 3. 2 Carga de diseño H-15 y H-20.

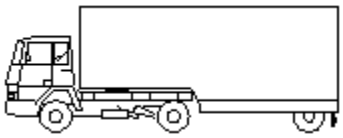


VEHÍCULO	No. DE EJES	CARGA POR EJE (Ton)		CARGA TOTAL (Ton)
		EJE 1	EJE 2	
H-15	2	2.7	10.9	13.6
H-20	2	3.6	14.5	18.1

Posteriormente, en 1946 al haber realizado la segunda colección de "Proyectos Tipo", los puentes se calcularon para el paso simultáneo de dos camiones H-15 y H-20. La mayoría de los puentes en México fueron diseñados con este tipo de carga, definido por el reglamento AASHTO.

Para el año de 1963, en la cuarta colección de "Proyectos Tipo", la carga con la cual se diseñaron estos proyectos fue con una carga HS-15, con una carga móvil de 24.5 toneladas y con una carga HS-20, con una carga móvil de 32.7 toneladas (Rincón y Solís, 2000) (Tabla 3. 3).

Tabla 3. 3 Carga de diseño HS-15 y HS-20.

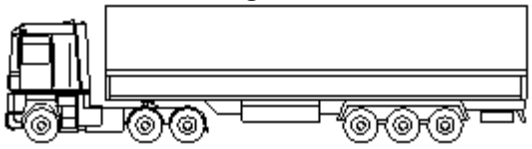


VEHÍCULO	No. DE EJES	CARGA POR EJE (Ton)			CARGA TOTAL (Ton)
		EJE 1	EJE 2	EJE 3	
HS-15	3	2.7	10.9	10.9	24.5
HS-20	3	3.6	14.5	14.5	32.7

Hasta el año 1972 las cargas móviles utilizadas para el proyecto de puentes carreteros en México fueron la HS-15 y HS-20. A partir de 1972 hasta 1980, se generalizó el uso de

carga HS-20 y fue después de 1980 cuando comenzaron a utilizarse las cargas T3-S3 y T3-S2-R4 con pesos de 46 toneladas y 77.5 toneladas respectivamente (Álvarez, 2008) (Tabla 3. 4 y Tabla 3. 5 respectivamente).

Tabla 3. 4 Carga de diseño T3-S3



VEHÍCULO	No. DE EJES	CARGA POR EJE (Ton)						CARGA TOTAL (Ton)
		EJE 1	EJE 2	EJE 3	EJE 4	EJE 5	EJE 6	
T3-S3	6	5.5	9.0	9.0	7.5	7.5	7.5	24.5

Tabla 3. 5 Carga de diseño T3-S2-R4



VEHÍCULO	No. DE EJES	CARGA POR EJE (Ton)									CARGA TOTAL (Ton)
		EJE 1	EJE 2	EJE 3	EJE 4	EJE 5	EJE 6	EJE 7	EJE 8	EJE 9	
T3-S2-R4	9	5.5	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	77.5

Las regulaciones de pesos y dimensiones de los vehículos en nuestro país han tratado de evitar que, en lo referente a dichos aspectos, la infraestructura se utilice para condiciones más severas que aquéllas para las cuales fue originalmente diseñada y construida.

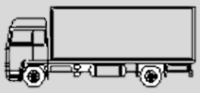
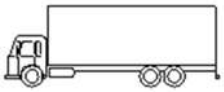
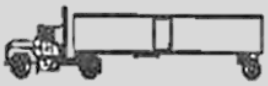
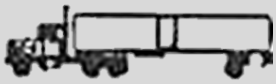
Sin embargo, tanto la situación económica del país como la tecnología han sido de naturaleza muy dinámica y el desarrollo de ambos ha generado una presión por parte de algunos grupos industriales y de transportistas y comerciantes para que se permitan mayores pesos y dimensiones en los vehículos del autotransporte.

La infraestructura carretera nacional se ha visto inmersa en un continuo proceso de evolución o modernización, el cual también ha traído como consecuencia que en el curso de los últimos años, se haya puesto en vigor distintas versiones de la Reglamentación de Pesos y Dimensiones.

El 24 de diciembre de 1960 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, como el "Capítulo XI del Reglamento del Capítulo de Explotación de Caminos de la Ley de Vías Generales de Comunicación", esta reglamentación tuvo como uno de sus objetivos principales establecer regulaciones acordes con la infraestructura carretera y las necesidades de transportación existentes. No fue aplicada sino hasta 1962, fecha en que apareció el "Instructivo sobre el Peso y Dimensiones de los Vehículos".

Mediante esta reglamentación, los caminos se clasificaron en A y B. También, se incluyeron los siguientes tipos de vehículos: C2, C3, T2-S1, T2-S2, T3-S1, C2-R2, T3-S2 y C3-R2. La circulación de los dos últimos fue restringida a caminos tipo A. No se establecieron regulaciones para los vehículos de autotransporte de pasajeros (Tabla 3. 6).

Tabla 3. 6 Vehículos del "Instructivo sobre el Peso y Dimensiones de los Vehículos", año 1962.

NOMENCLATURA	No. DE EJES	No. DE LLANTAS	CARGA TOTAL (Ton)	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
C2	2	6	14.5	
C3	3	8	20.0	
T2-S1	3	10	23.5	
T2-S2	4	14	32.5	
T3-S1	4	14	32.5	
C2-R2	4	14	32.5	
T3-S2	5	18	41.5	
C3-R2	5	18	41.5	

En virtud del crecimiento experimentado por la economía nacional entre 1960 y 1980, los volúmenes de carga a movilizar se incrementaron notablemente. Lo anterior demandó la implantación de un sistema de transporte carretero de mayor capacidad y por consiguiente, la utilización de vehículos de mayores pesos y dimensiones a los autorizados en 1960.

En la reglamentación de 1980 se incluyeron los vehículos de pasajeros tipo B2, B2c, B3 y B4, así como a los vehículos de carga C2, C3, C4, T2-S1, T2-S2, T3-S2, T3-S3, C2-R2, C3-R2, C3-R3, T2-S1-R2, T3-S1-R2, T3-S2-R2, T3-S2-R3 y T3-S2-R4 (Tabla 3. 7 y Tabla 3. 8).

Tabla 3. 7 Vehículos del "Instructivo sobre el Peso y Dimensiones de los Vehículos", año 1980.

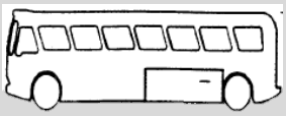
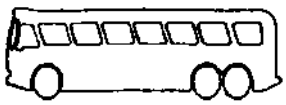
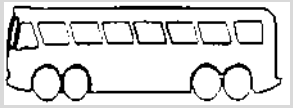
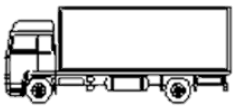
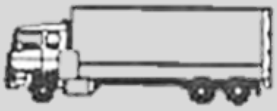
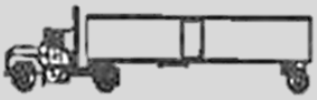
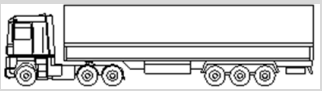
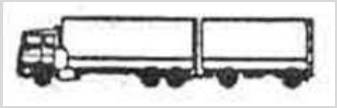
NOMENCLATURA	No. DE EJES	No. DE LLANTAS	CARGA TOTAL (Ton)	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
B2	2	6	14.5	
B3	3	8	20.0	
B4	4	10	25.5	
C2	2	6	14.5	
C3	3	8	20.0	
C4	4	14	28.0	
T2-S1	3	10	23.5	

Tabla 3. 8 Vehículos del "Instructivo sobre el Peso y Dimensiones de los Vehículos", año 1980 (Continuación).

NOMENCLATURA	No. DE EJES	No. DE LLANTAS	CARGA TOTAL (Ton)	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S2	4	14	32.5	
T3-S2	5	18	41.5	
T3-S3	6	22	24.5	
C2-R2	4	14	32.5	
C3-R2	5	18	41.5	
C3-R3	6	22	50.5	
T2-S1-R2	5	18	41.5	
T3-S1-R2	6	22	50.5	
T3-S2-R2	7	26	59.5	
T3-S2-R3	8	30	68.5	
T3-S2-R4	9	34	77.5	

Esta reglamentación eliminó la regulación del peso bruto vehicular máximo (PBV) que limitaba el daño en puentes.

Por otra parte, los caminos se reclasificaron en A, B y C. En los caminos tipo A se permitieron los mayores pesos y dimensiones vehiculares. En los caminos tipo B sólo se permitieron los vehículos tipo B2, B3c, B3, B4, C2, C3, T2-S1, T2-S2 y T3-S2, con pesos por eje máximos inferiores a los permitidos en caminos tipo A. En caminos tipo C sólo se permitieron las unidades simples (tipos B2, B3, B4, C2 y C3) con pesos por eje máximos inferiores a los permitidos en caminos A y B.

Debido a la crisis económica que prevaleció durante los años 1980 a 1993, la demanda de transporte de carga experimentó una importante contracción. En este periodo, se incrementaron las longitudes y anchos máximos permitidos para los tractocamiones.

En la reglamentación de 1993, su objetivo principal fue subsanar algunas de las siguientes deficiencias observadas hasta esa fecha.

- La falta de un sistema adecuado de control de pesos y dimensiones sobre las carreteras nacionales generó que se presentaran notables violaciones a la reglamentación de ese año, contribuyendo esto al acelerado deterioro de la infraestructura. Para solucionar este problema, se decretó la instalación de centros de control de pesos y dimensiones sobre las carreteras y la expedición por, parte del fabricante o reconstructor, de una constancia de pesos y dimensiones (para vehículos de carga) o de capacidad y dimensiones (para los vehículos de pasaje) así como de una placa de especificaciones que portará el vehículo.
- La insuficiente congruencia entre la clasificación de caminos vigente hasta esa fecha y los pesos y dimensiones de los tipos de vehículos que estaban en circulación, generó importantes problemas de seguridad. Por esta razón, esta reglamentación reclasificó los caminos con base a una clasificación ampliada desde A hasta D (Mendoza y Reyes, 1994).

A raíz de todo esto, el 4 de septiembre de 1995, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-1995 sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal, en la cual maneja diecisiete tipos de vehículos.

Con todo esto se ha demostrado que los sistemas de carga viva vehicular especificada en el reglamento de la AASHTO que se emplea en México para el diseño estructural de los puentes carreteros, establecen cargas inferiores a las que transporta los grandes vehículos articulados que circulan por las vías principales de la red carretera mexicana y consecuentemente, esto es una gran desventaja en cuestión a la capacidad de carga de estas estructuras.

3.4. CLASIFICACIÓN DE LOS PUENTES POR SUS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS (PUENTES TÍPICOS)

De acuerdo con el Capítulo 2, una vez realizada el análisis estadístico de los puentes de los seis estados en estudio, se procedió a realizar un análisis estadístico general.

Gracias a este análisis estadístico general, se pudo clasificar los puentes de acuerdo a las siguientes características:

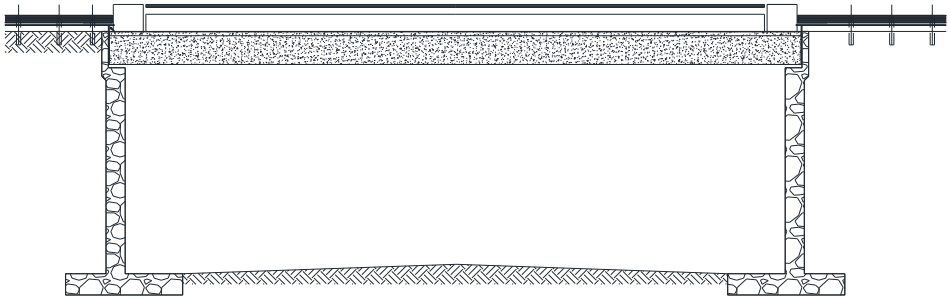
- Número de claros.
- Estribos: Tipo de estribo, Tipo de material.
- Pilas: Tipo de pilas, Tipo de material.
- Superestructura: Tipo de material.

Posteriormente, se eligieron los puentes más representativos para poderlos estudiar. A estos puentes representativos se les nombrará “Puentes Típicos”.

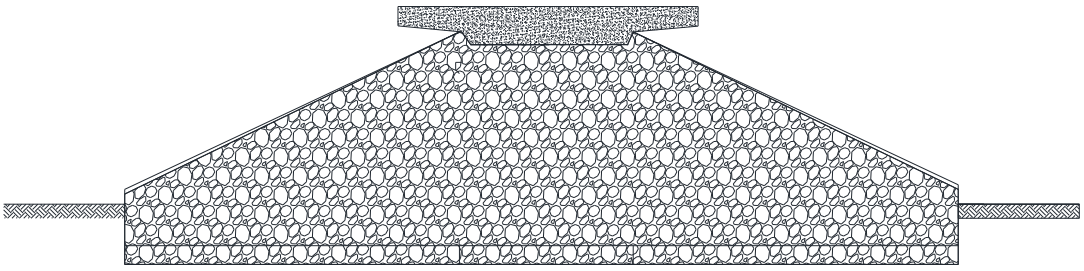
En total, se obtuvieron doscientos noventa configuraciones, de las cuales sólo se tomarán las primeras veintiséis configuraciones, ya que representarán las principales configuraciones de los puentes en los seis estados en estudio.

Tabla 3. 9 Características del Puente Típico 1

PUENTE TÍPICO			1
No. DE CLAROS			1
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Mampostería
	PILAS	TIPO	-
		MATERIAL	-
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	-
		A	-
	MÁXIMA (m)	DE	-
		A	-
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	4.8
		A	45.7
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	5.0
		A	35.9
No. DE PUENTES			479



a) Elevación

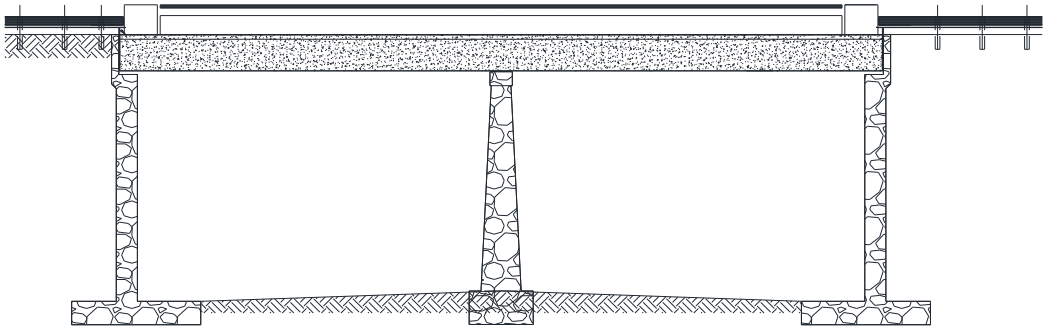


b) Corte Transversal

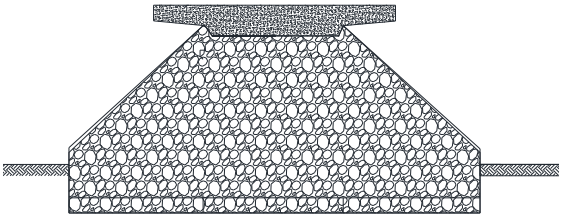
Figura 3. 43 Puente Típico 1.

Tabla 3. 10 Características del Puente Típico 2.

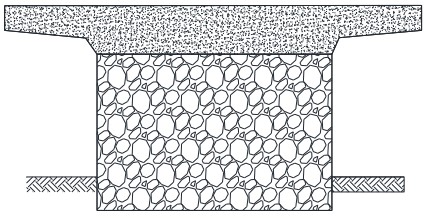
PUENTE TÍPICO			2
No. DE CLAROS			2
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Mampostería
	PILAS	TIPO	Pila Sólida
		MATERIAL	Mampostería
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	3.9
		A	27.7
	MÁXIMA (m)	DE	3.9
		A	27.7
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	7.8
		A	55.4
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	6.4
		A	40.6
No. DE PUENTES			163



a) Elevación.



b) Corte Transversal Estribo.

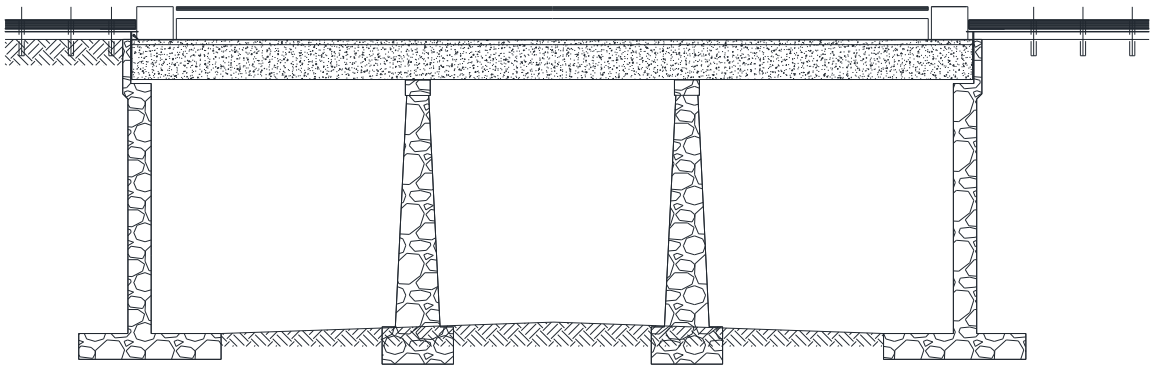


c) Corte Transversal Pila.

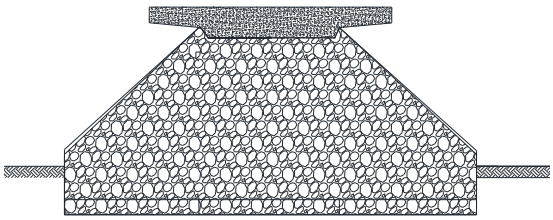
Figura 3. 44 Puente Típico 2.

Tabla 3. 11 Características del Puente Típico 3.

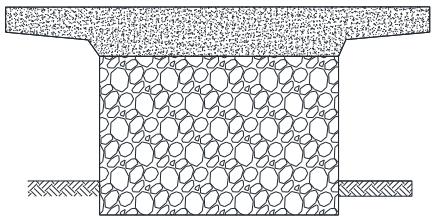
PUENTE TÍPICO			3
No. DE CLAROS			3
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Mampostería
	PILAS	TIPO	Pila Sólida
		MATERIAL	Mampostería
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	3.0
		A	27.5
	MÁXIMA (m)	DE	3.8
		A	36.5
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	10.6
		A	83.6
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	6.7
		A	37
No. DE PUENTES			136



a) Elevación.



b) Corte Transversal Estribo.

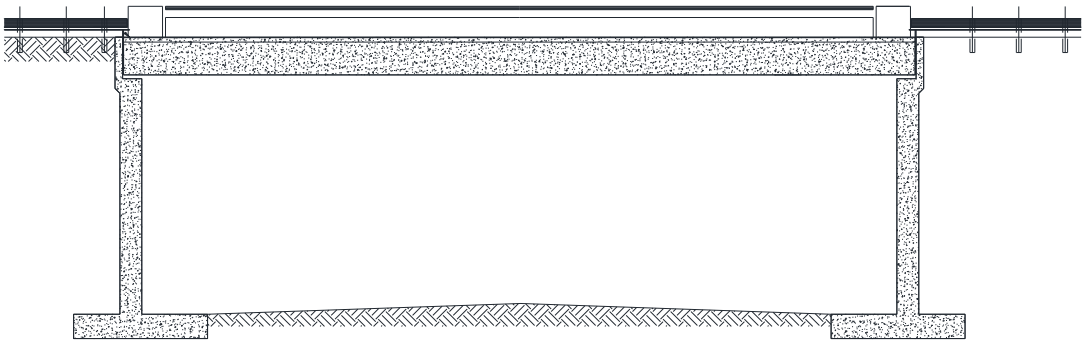


c) Corte Transversal Pila.

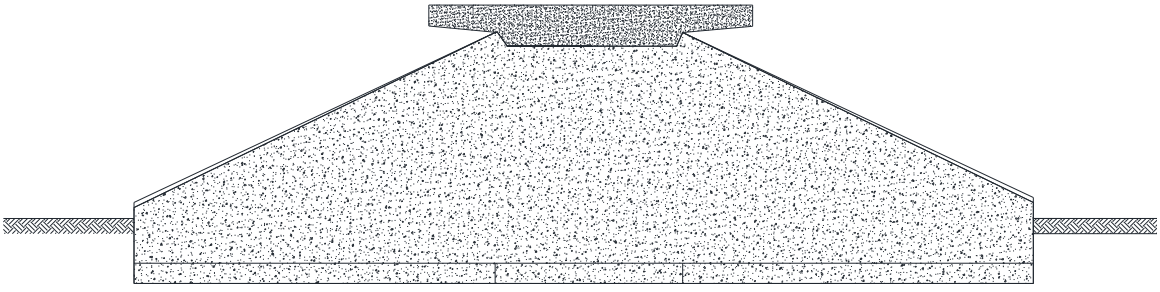
Figura 3. 45 Puente Típico 3.

Tabla 3. 12 Características del Puente Típico 4.

PUENTE TÍPICO			4
No. DE CLAROS			1
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Concreto Reforzado
	PILAS	TIPO	-
		MATERIAL	-
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Presforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	-
		A	-
	MÁXIMA (m)	DE	-
		A	-
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	11.0
		A	61.0
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	5.0
		A	40.5
No. DE PUENTES			73



a) Elevación

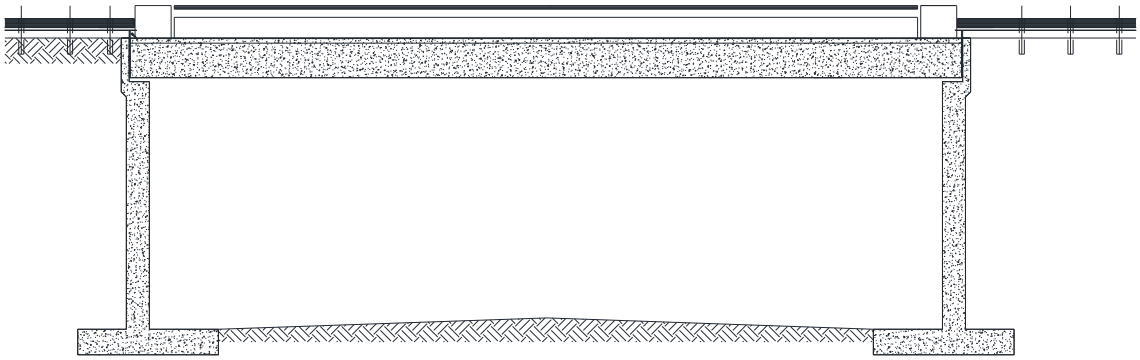


b) Corte Transversal.

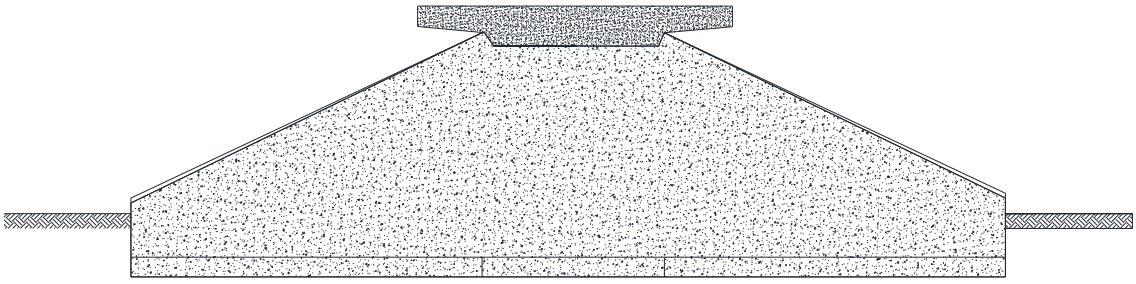
Figura 3. 46 Puente Típico 4.

Tabla 3. 13 Características del Puente Típico 5.

PUENTE TÍPICO			5
No. DE CLAROS			1
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Concreto Reforzado
	PILAS	TIPO	-
		MATERIAL	-
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	-
		A	-
	MÁXIMA (m)	DE	-
		A	-
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	6.3
		A	34.0
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	2.6
		A	31.6
No. DE PUENTES			56



a) Elevación.

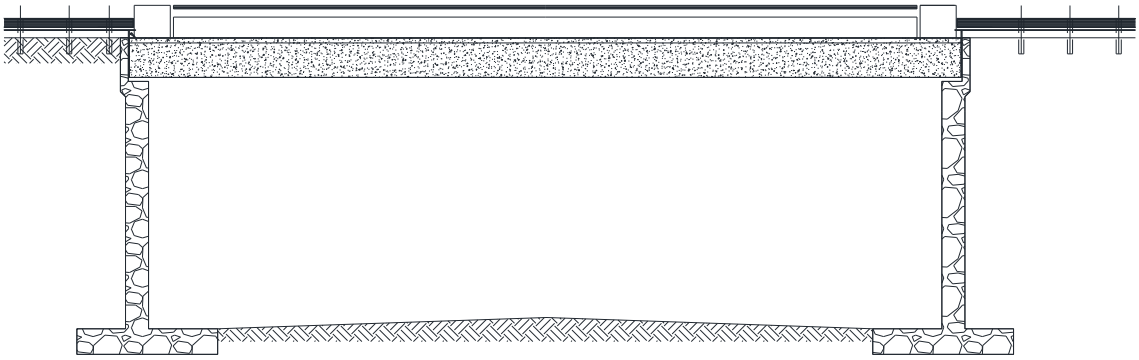


b) Corte Transversal

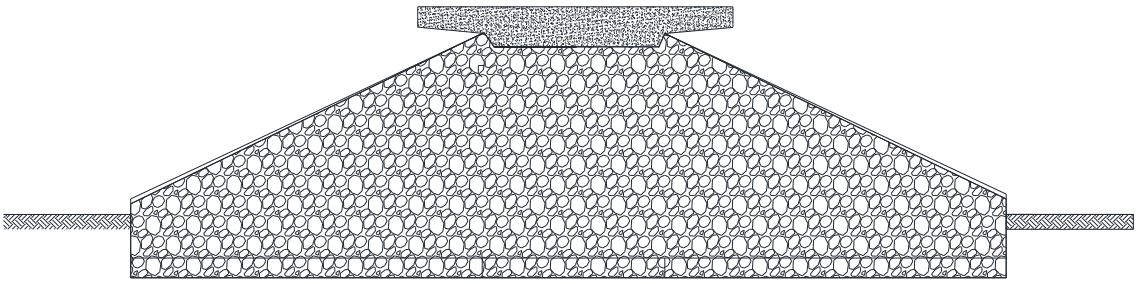
Figura 3. 47 Puente Típico 5.

Tabla 3. 14 Características del Puente Típico 6.

PUENTE TÍPICO			6
No. DE CLAROS			1
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Mampostería
	PILAS	TIPO	-
		MATERIAL	-
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Presforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	-
		A	-
	MÁXIMA (m)	DE	-
		A	-
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	10.6
		A	36.7
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	5.1
		A	25.0
No. DE PUENTES			50



a) Elevación

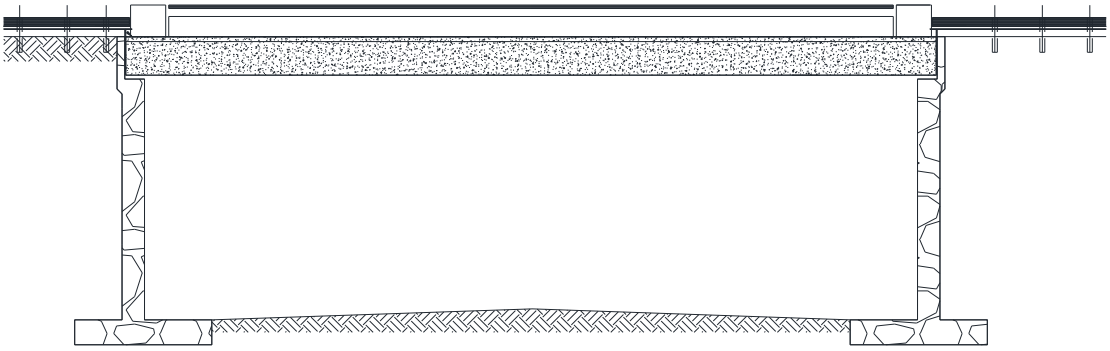


b) Corte Transversal.

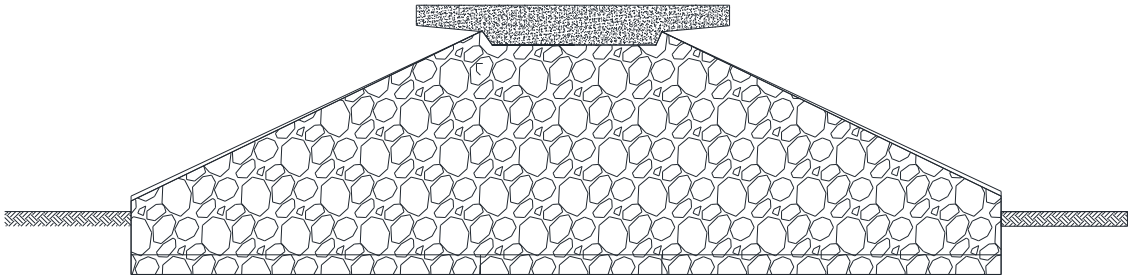
Figura 3. 48 Puente Típico 6.

Tabla 3. 15 Características del Puente Típico 7.

PUENTE TÍPICO			7
No. DE CLAROS			1
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Concreto Ciclópeo
	PILAS	TIPO	-
		MATERIAL	-
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	-
		A	-
	MÁXIMA (m)	DE	-
		A	-
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	6.5
		A	32.0
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	7.4
		A	14.5
No. DE PUENTES			41



a) Elevación.

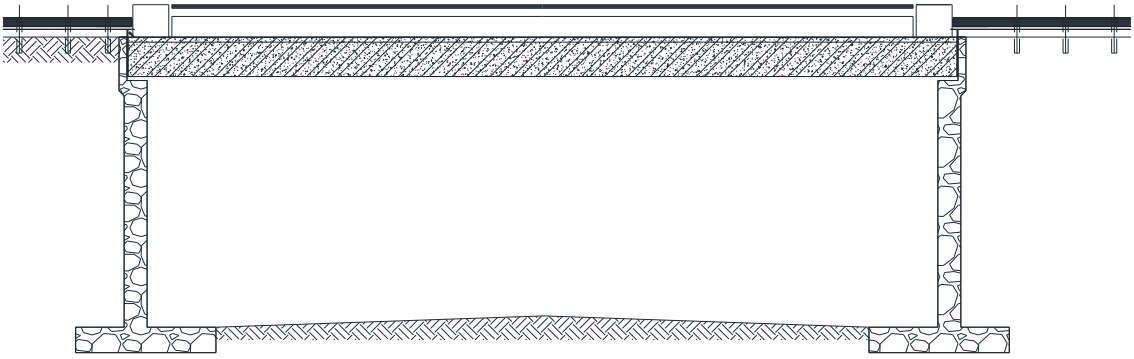


b) Corte Transversal.

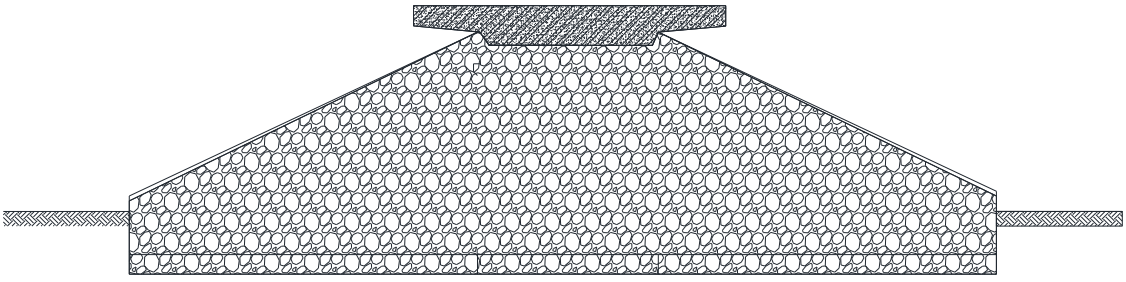
Figura 3. 49 Puente Típico 7.

Tabla 3. 16 Características del Puente Típico 8.

PUENTE TÍPICO			8
No. DE CLAROS			1
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Mampostería
	PILAS	TIPO	-
		MATERIAL	-
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto y Acero
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	-
		A	-
	MÁXIMA (m)	DE	-
		A	-
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	6.5
		A	51.0
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	7.8
		A	14.3
No. DE PUENTES			41



a) Elevación.

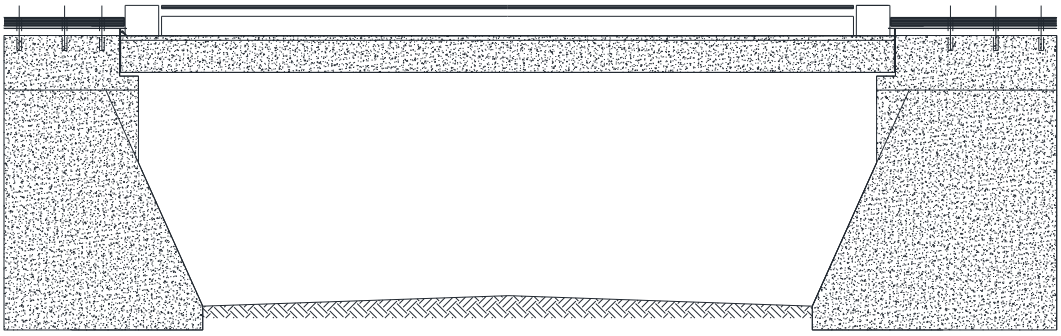


b) Corte Transversal.

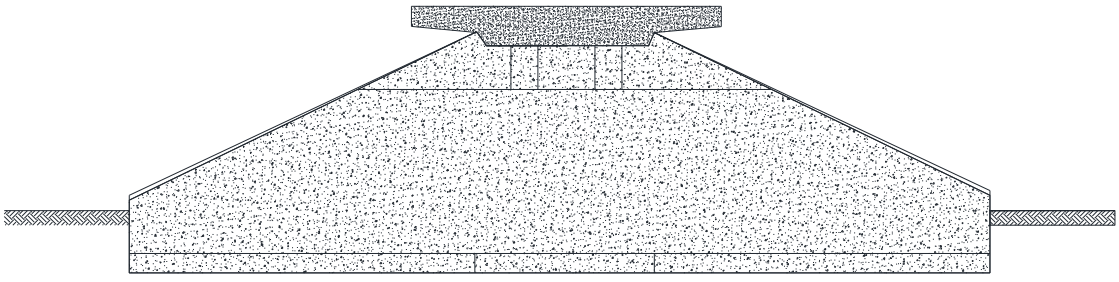
Figura 3. 50 Puente Típico 8.

Tabla 3. 17 Características del Puente Típico 9.

PUENTE TÍPICO			9
No. DE CLAROS			1
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Enterr. Col./ Pilotes con Cabez.
		MATERIAL	Concreto Reforzado
	PILAS	TIPO	-
		MATERIAL	-
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Presforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	-
		A	-
	MÁXIMA (m)	DE	-
		A	-
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	13.5
		A	35.8
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	3.4
		A	22.8
No. DE PUENTES			36



a) Elevación.

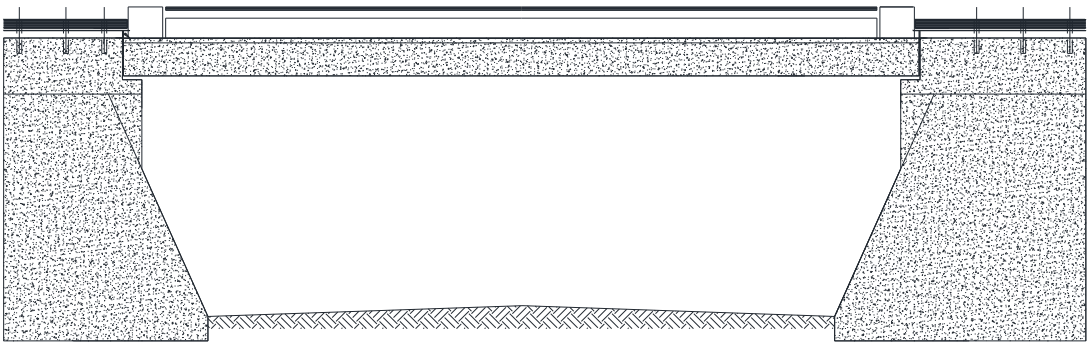


b) Corte Transversal.

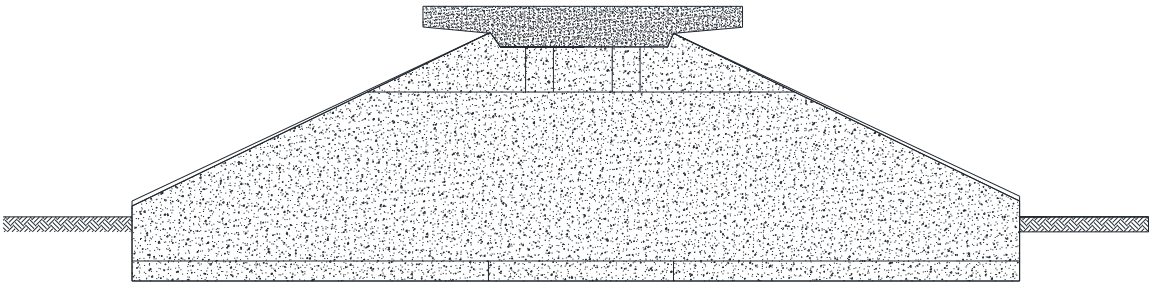
Figura 3. 51 Puente Típico 9.

Tabla 3. 18 Características del Puente Típico 10.

PUENTE TÍPICO			10
No. DE CLAROS			1
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Enterr. Col./ Pilotes con Cabez.
		MATERIAL	Concreto Reforzado
	PILAS	TIPO	-
		MATERIAL	-
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	-
		A	-
	MÁXIMA (m)	DE	-
		A	-
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	10.5
		A	47.3
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	6.0
		A	21.8
No. DE PUENTES			32



a) Elevación.

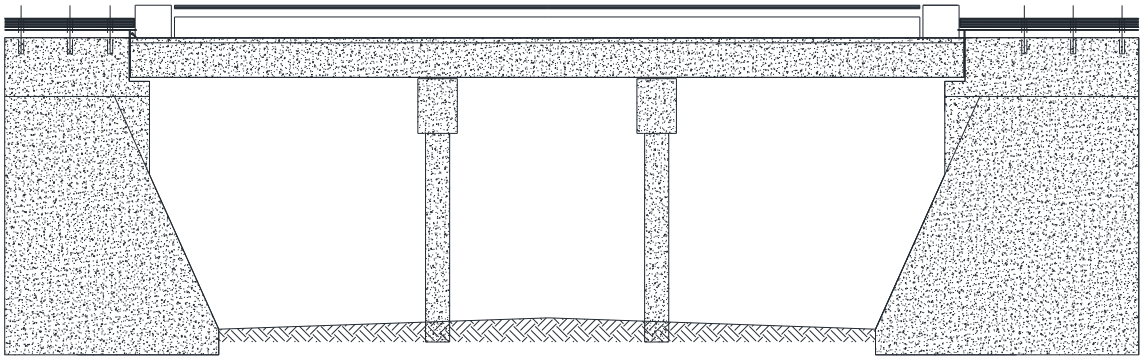


b) Corte Transversal.

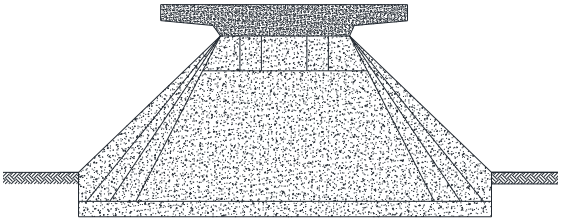
Figura 3. 52 Puente Típico 10.

Tabla 3. 19 Características del Puente Típico 11.

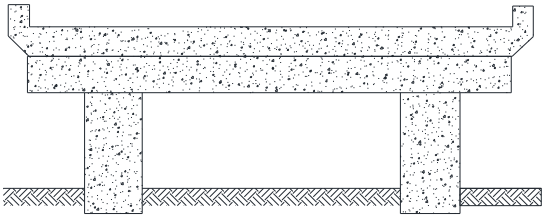
PUENTE TÍPICO			11
No. DE CLAROS			3
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Enterr. Col./ Pilotes con Cabez.
		MATERIAL	Concreto Reforzado
	PILAS	TIPO	2 o más Columnas, Cabez. Común
		MATERIAL	Concreto Reforzado
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Presforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	10.0
		A	39.3
	MÁXIMA (m)	DE	16.7
		A	54.0
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	40.0
		A	147.3
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	5.1
		A	21.8
No. DE PUENTES			22



a) Elevación.



b) Corte Transversal Enterr. Col./Pilotes con Cabez.

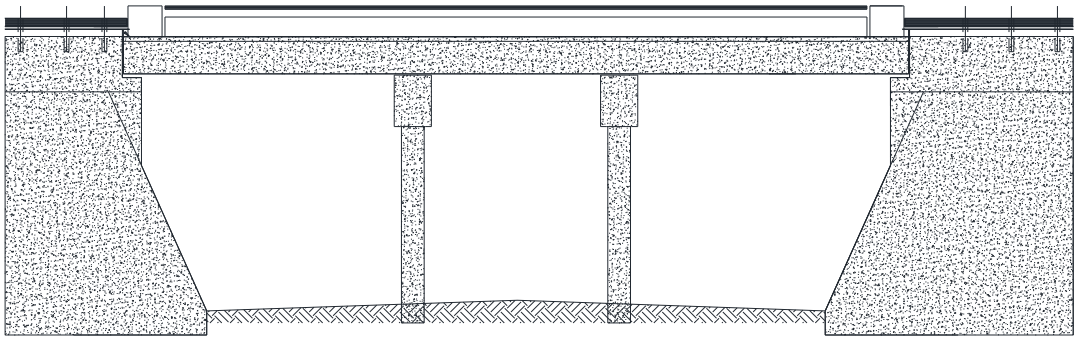


c) Corte Transversal 2 o más columnas, cabezal común.

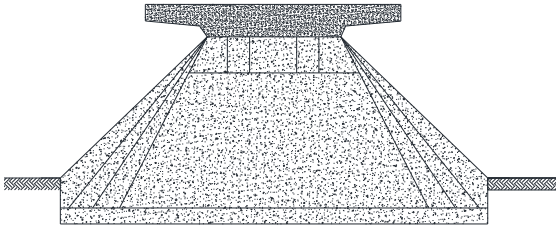
Figura 3. 53 Puente Típico 11.

Tabla 3. 20 Características del Puente Típico 12.

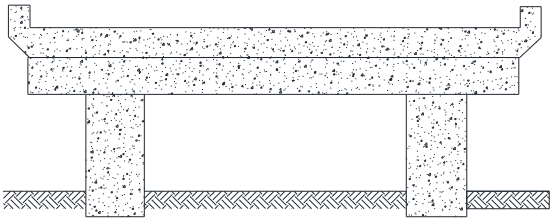
PUENTE TÍPICO			12
No. DE CLAROS			3
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Enterr. Col./ Pilotes con Cabez.
		MATERIAL	Concreto Reforzado
	PILAS	TIPO	2 o más Columnas, Cabez. Común
		MATERIAL	Concreto Reforzado
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	9.1
		A	30.0
	MÁXIMA (m)	DE	10.5
		A	33.0
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	30.9
		A	93.0
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	6.0
		A	18.0
No. DE PUENTES			18



a) Elevación.



b) Corte Transversal Enterr. Col./ Pilotes con cabez.

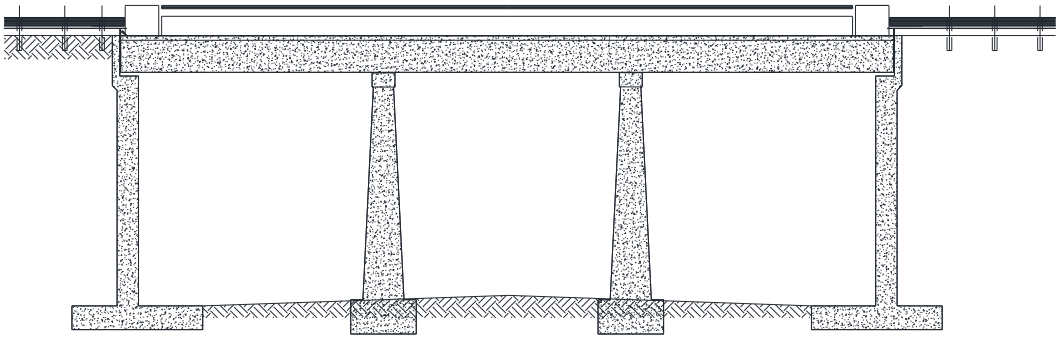


c) Corte Transversal 2 o más columnas, cabezal común.

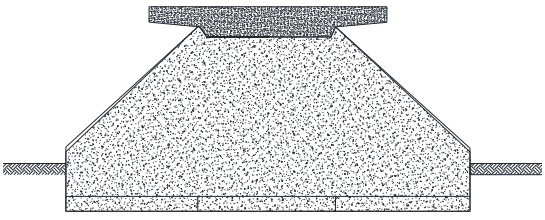
Figura 3. 54 Puente Típico 12.

Tabla 3. 21 Características del Puente Típico 13.

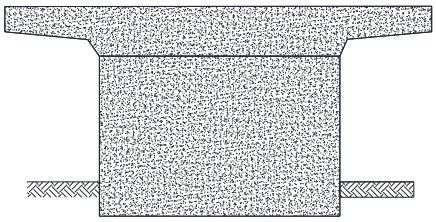
PUENTE TÍPICO			13
No. DE CLAROS			3
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Concreto Reforzado
	PILAS	TIPO	Pila Sólida
		MATERIAL	Concreto Reforzado
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	7.5
		A	28.8
	MÁXIMA (m)	DE	7.5
		A	35.0
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	22.5
		A	87.1
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	7.8
		A	18.4
No. DE PUENTES			17



a) Elevación.



b) Corte Transversal Estribo.

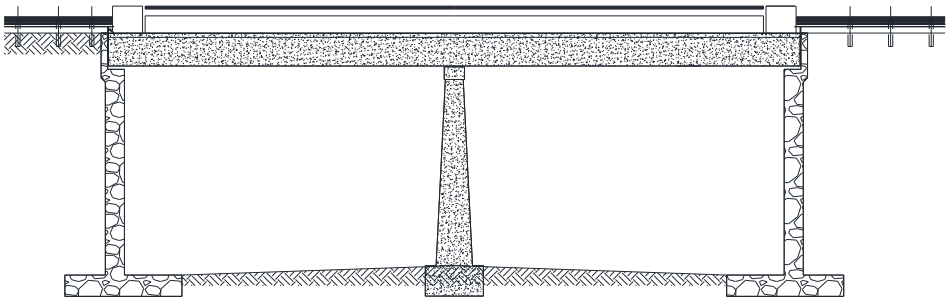


c) Corte Transversal Pila.

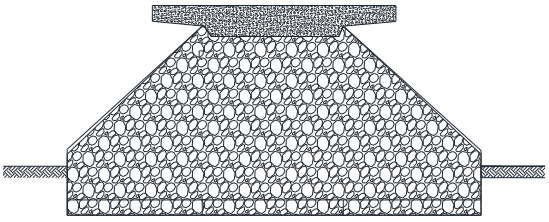
Figura 3. 55 Puente Típico 13.

Tabla 3. 22 Características del Puente Típico 14.

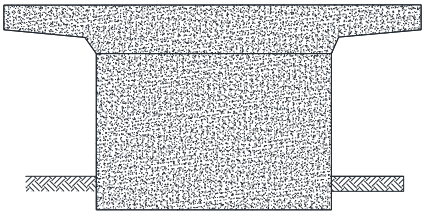
PUENTE TÍPICO			14
No. DE CLAROS			2
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Mampostería
	PILAS	TIPO	Pila Sólida
		MATERIAL	Concreto Reforzado
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Presforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	15.3
		A	30.9
	MÁXIMA (m)	DE	16.5
		A	45.5
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	31.8
		A	76.4
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	4.8
		A	13.5
No. DE PUENTES			16



a) Elevación.



b) Corte Transversal Estribo.

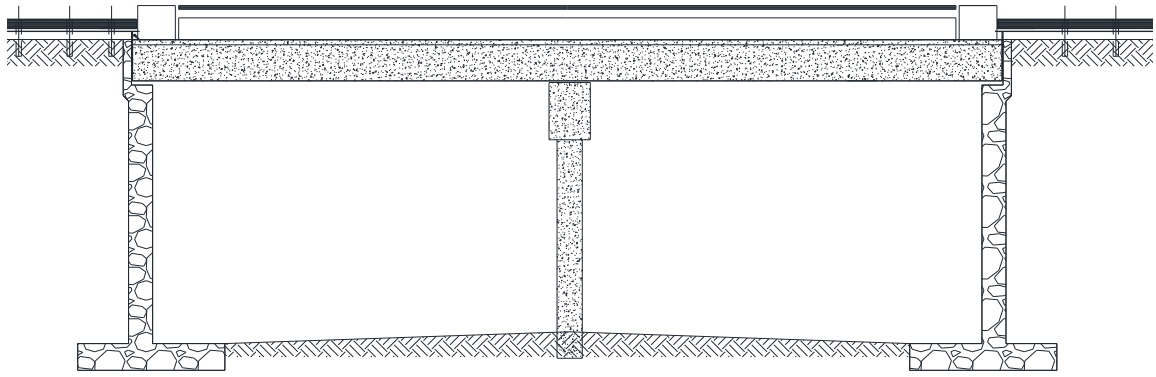


c) Corte Transversal Pila.

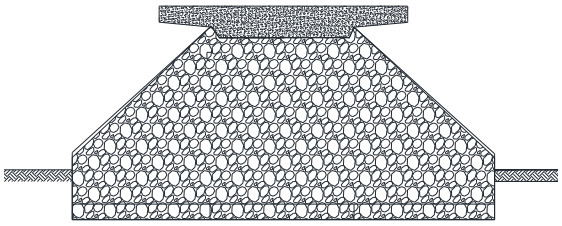
Figura 3. 56 Puente Típico 14.

Tabla 3. 23 Características del Puente Típico 15.

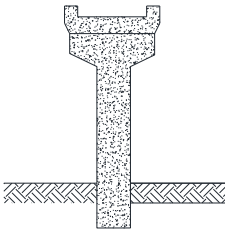
PUENTE TÍPICO			15
No. DE CLAROS			2
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Mampostería
	PILAS	TIPO	Columna sola con cabezal
		MATERIAL	Concreto Reforzado
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto presforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	15.5
		A	20.7
	MÁXIMA (m)	DE	15.6
		A	21.0
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	31.1
		A	41.5
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	4.1
		A	11.0
No. DE PUENTES			15



a) Elevación.



b) Corte Transversal Estribo.

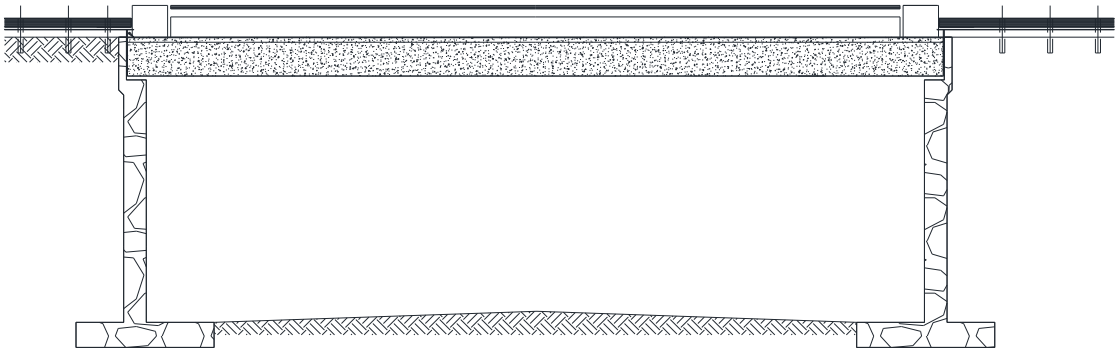


c) Corte Transversal columna sola con cabezal

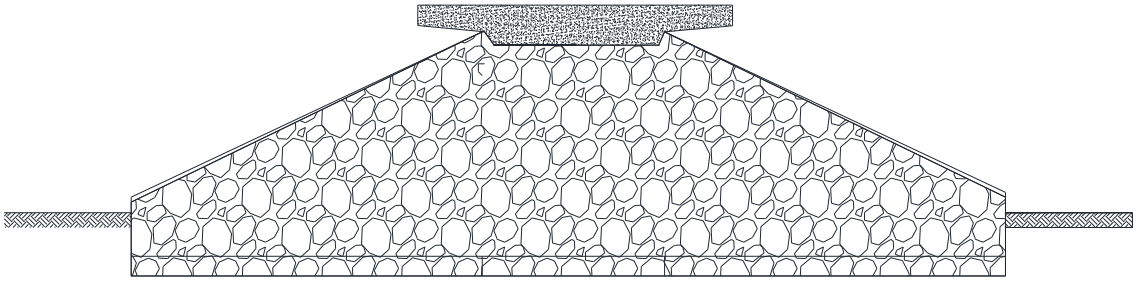
Figura 3. 57 Puente Típico 15.

Tabla 3. 24 Características de Puente Típico 16.

PUENTE TÍPICO			16
No. DE CLAROS			1
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Concreto ciclópeo
	PILAS	TIPO	-
		MATERIAL	-
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto presforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	-
		A	-
	MÁXIMA (m)	DE	-
		A	-
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	12.0
		A	31.0
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	2.6
		A	21.5
No. DE PUENTES			14



a) Elevación.

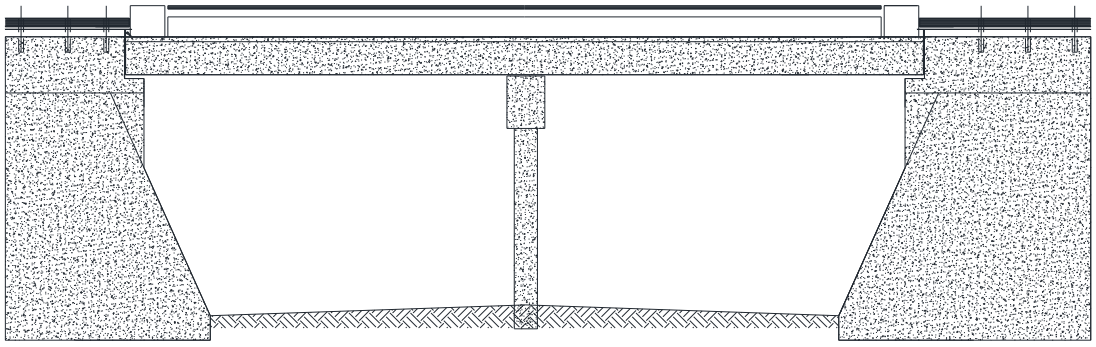


b) Corte Transversal.

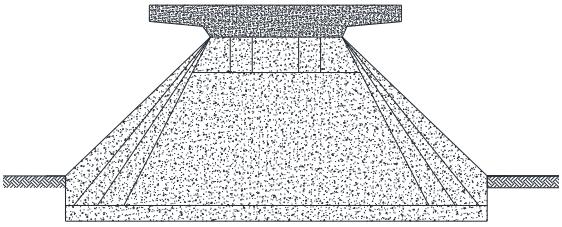
Figura 3. 58 Puente Típico 16.

Tabla 3. 25 Características del Puente Típico 17.

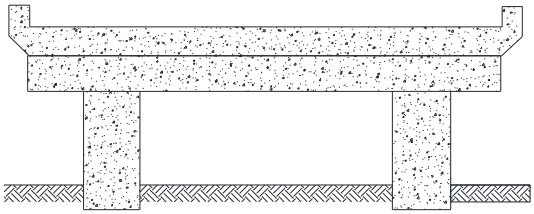
PUENTE TÍPICO			17
No. DE CLAROS			2
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Enterr. Col./ pilotes con cabez.
		MATERIAL	Concreto Reforzado
	PILAS	TIPO	2 o más columnas, cabez. Común
		MATERIAL	Concreto Reforzado
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto presforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	12.2
		A	35.6
	MÁXIMA (m)	DE	18.0
		A	35.9
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	35.9
		A	71.7
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	6.0
		A	18.6
No. DE PUENTES			14



a) Elevación.



b) Corte transversal enterr. Col./ pilotes con cabez.

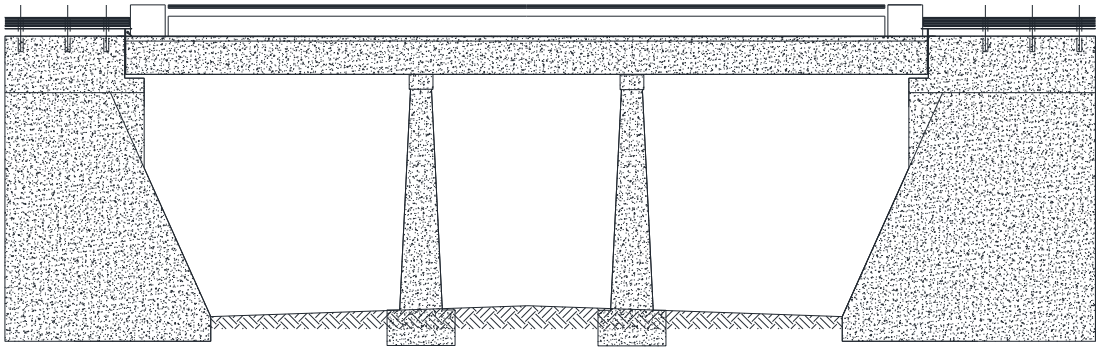


c) Corte transversal 2 o más columnas, cabezal común.

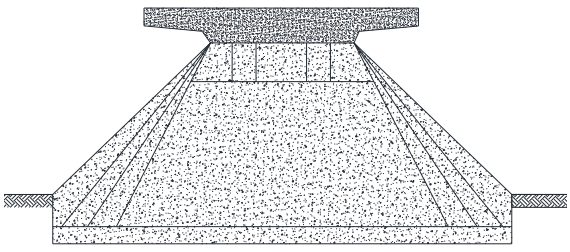
Figura 3. 59 Puente Típico 17.

Tabla 3. 26 Características del Puente Típico 18.

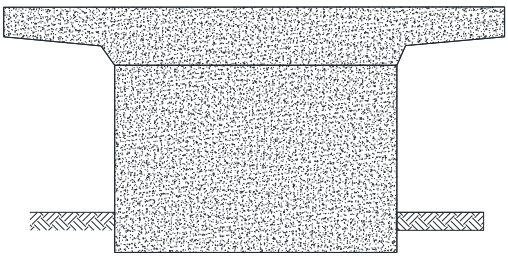
PUENTE TÍPICO			18
No. DE CLAROS			3
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Enterr. Col./ pilotes con cabez.
		MATERIAL	Concreto Reforzado
	PILAS	TIPO	Pila sólida
		MATERIAL	Concreto Reforzado
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	13.4
		A	27.7
	MÁXIMA (m)	DE	13.5
		A	28.3
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	40.3
		A	83.8
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	8.8
		A	14.5
No. DE PUENTES			14



a) Elevación.



b) Corte transversal enterr. Col./ pilotes con cabez.

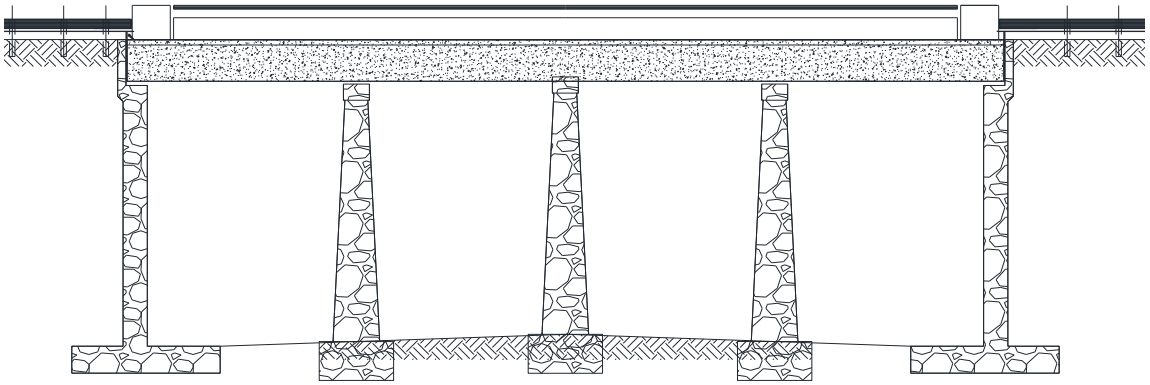


c) Corte transversal pila.

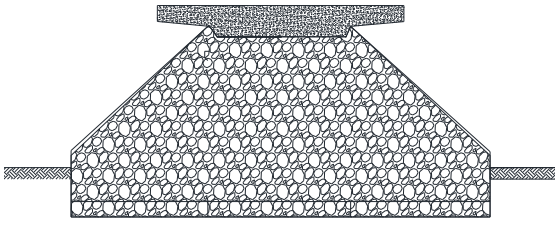
Figura 3. 60 Puente Típico 18.

Tabla 3. 27 Características del Puente Típico 19.

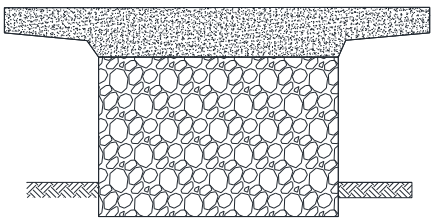
PUENTE TÍPICO			19
No. DE CLAROS			4
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Mampostería
	PILAS	TIPO	Pila sólida
		MATERIAL	Mampostería
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	5.2
		A	24.3
	MÁXIMA (m)	DE	5.2
		A	25.8
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	20.8
		A	102.0
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	8.0
		A	14.9
No. DE PUENTES			14



a) Elevación.



b) Corte transversal, estribo.

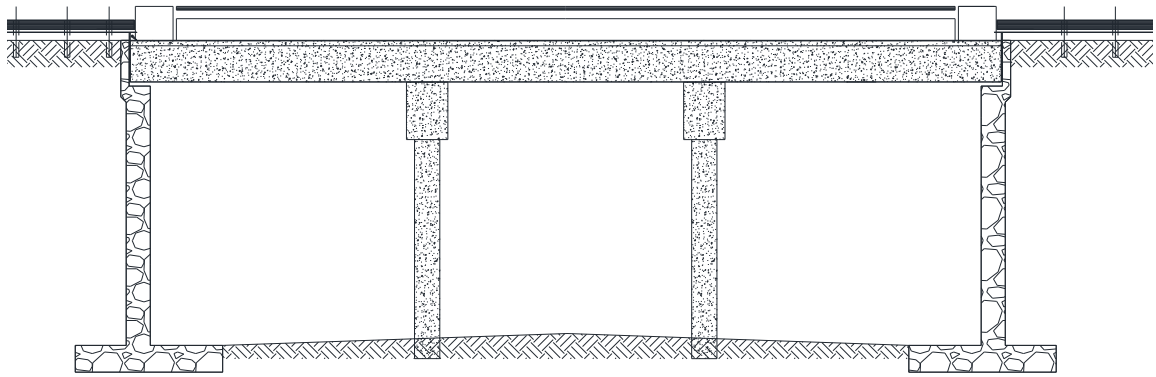


c) Corte transversal, pila.

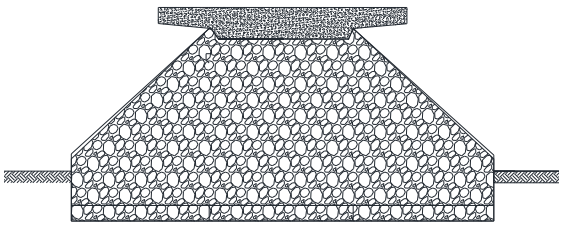
Figura 3. 61 Puente Típico 19.

Tabla 3. 28 Características del Puente Típico 20.

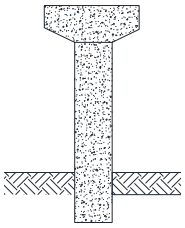
PUENTE TÍPICO			20
No. DE CLAROS			3
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Mampostería
	PILAS	TIPO	Columna sola
		MATERIAL	Concreto Reforzado
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	10.1
		A	34.8
	MÁXIMA (m)	DE	10.6
		A	35.3
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	31.2
		A	104.6
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	7.9
		A	11.6
No. DE PUENTES			13



a) Elevación.



b) Corte transversal, estribo.

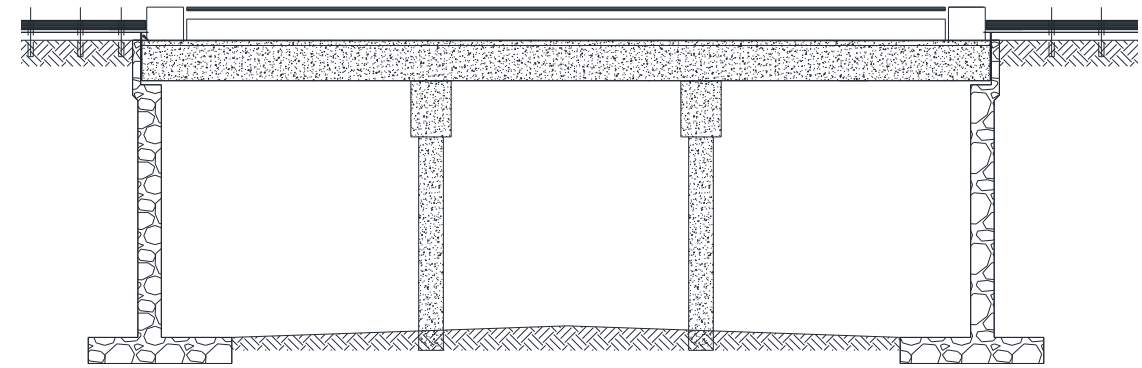


c) Corte transversal, columna sola.

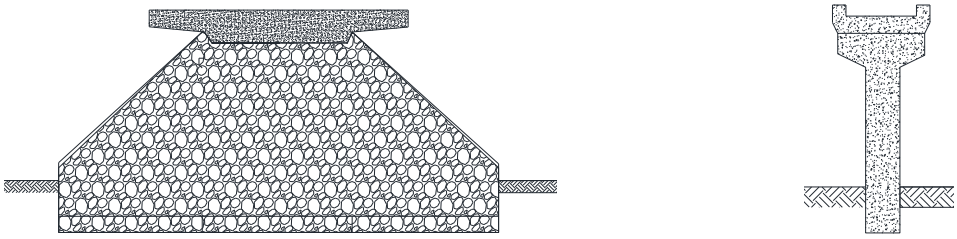
Figura 3. 62 Puente Típico 20.

Tabla 3. 29 Características del Puente Típico 21.

PUENTE TÍPICO			21
No. DE CLAROS			3
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Mampostería
	PILAS	TIPO	Columna sola con cabezal
		MATERIAL	Concreto Reforzado
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	15.4
		A	35.2
	MÁXIMA (m)	DE	15.4
		A	36.9
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	46.2
		A	107.3
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	9.0
		A	11.2
No. DE PUENTES			13



a) Elevación.



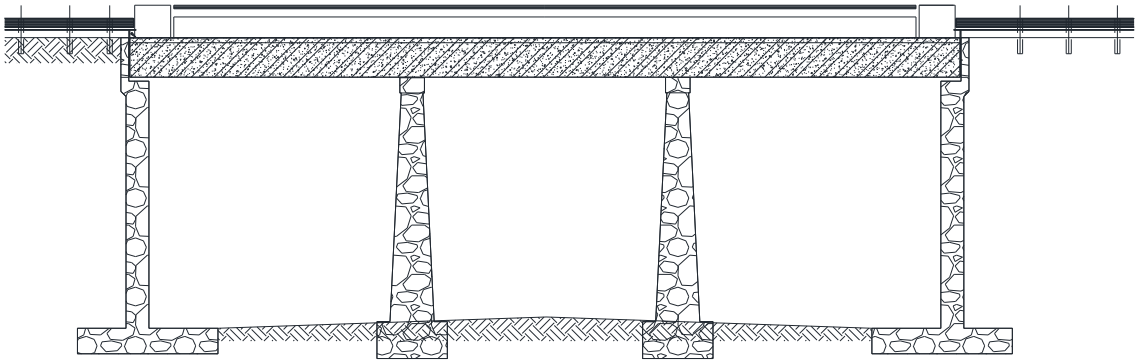
b) Corte transversal, estribo

c) Corte transversal, columna sola con cabezal

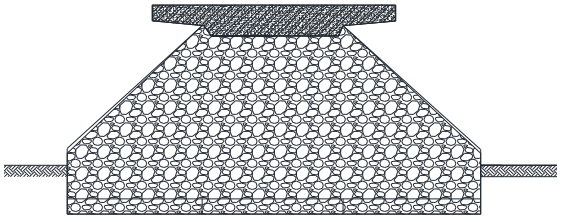
Figura 3. 63 Puente Típico 21.

Tabla 3. 30 Características del Puente Típico 22.

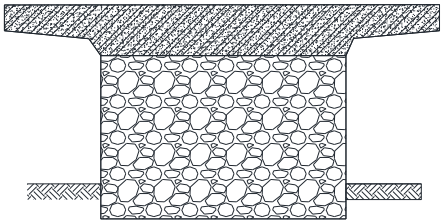
PUENTE TÍPICO			22
No. DE CLAROS			3
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Mampostería
	PILAS	TIPO	Pila sólida
		MATERIAL	Mampostería
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto y acero
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	5.2
		A	22.9
	MÁXIMA (m)	DE	6.8
		A	37.2
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	20.0
		A	97.0
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	7.6
		A	11.7
No. DE PUENTES			13



a) Elevación.



b) Corte Transversal Estribo.

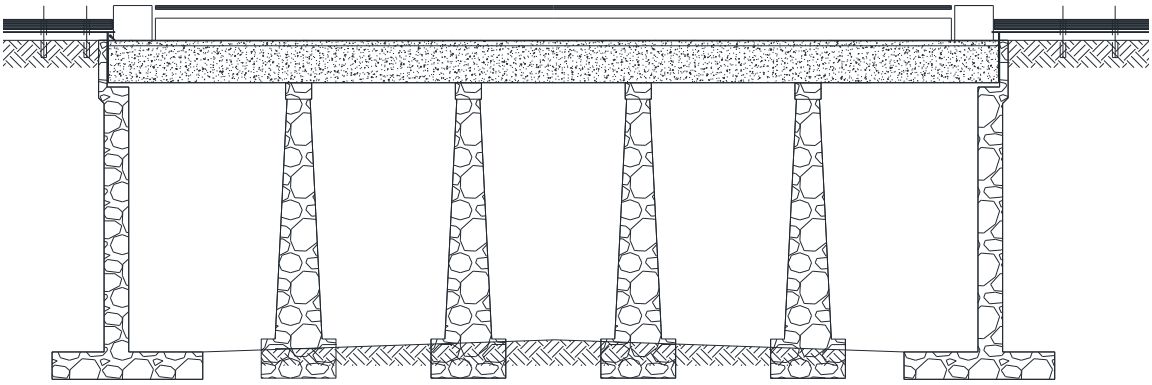


c) Corte Transversal Pila.

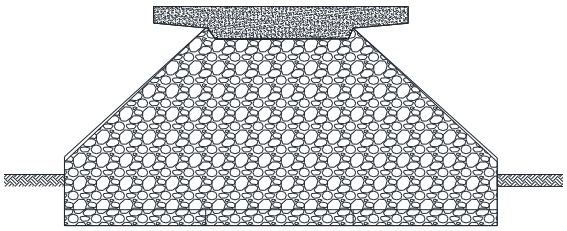
Figura 3. 64 Puente Típico 22.

Tabla 3. 31 Características del Puente Típico 23.

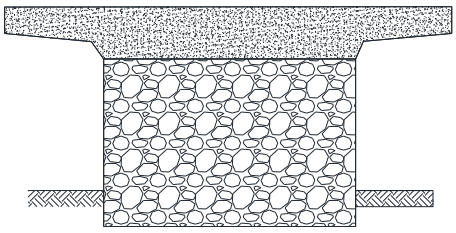
PUENTE TÍPICO			23
No. DE CLAROS			5
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Mampostería
	PILAS	TIPO	Pila sólida
		MATERIAL	Mampostería
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	3.5
		A	20.6
	MÁXIMA (m)	DE	3.9
		A	20.6
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	18.0
		A	103.1
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	7.6
		A	12.8
No. DE PUENTES			13



a) Elevación.



b) Corte transversal, estribo.

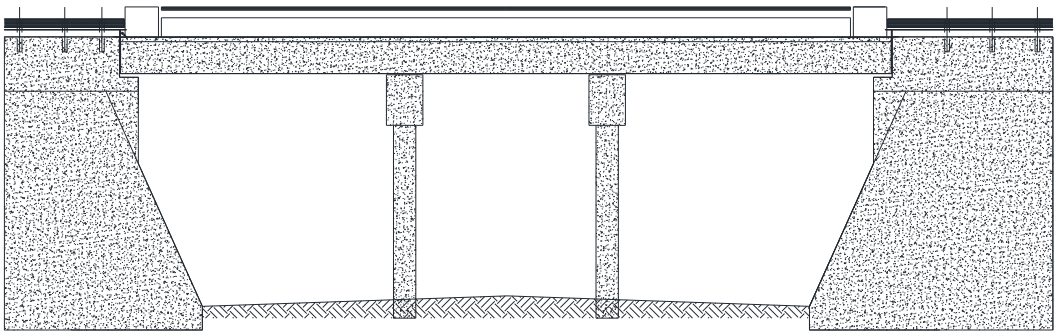


c) Corte transversal, pila sólida.

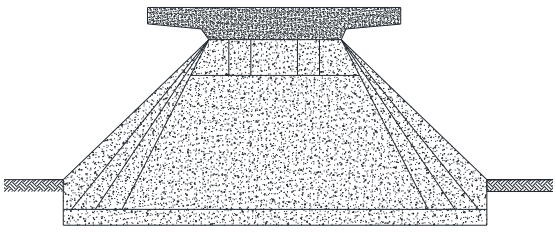
Figura 3. 65 Puente Típico 23.

Tabla 3. 32 Características del Puente Típico 24.

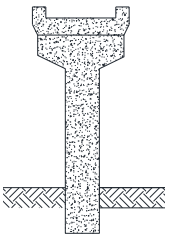
PUENTE TÍPICO			24
No. DE CLAROS			3
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Enterr. Col./ pilotes con cabez.
		MATERIAL	Concreto Reforzado
	PILAS	TIPO	Columna sola con cabezal
		MATERIAL	Concreto Reforzado
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto Reforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	13.6
		A	32.7
	MÁXIMA (m)	DE	13.8
		A	50.0
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	41.2
		A	100.7
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	9.1
		A	10.1
No. DE PUENTES			11



a) Elevación.



b) Corte transversal, enterr. Col./ pilotes con cabez.

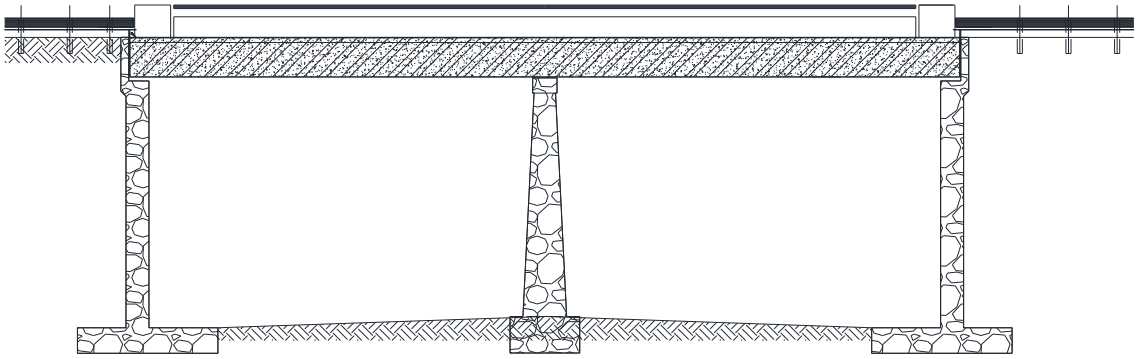


c) Corte transversal, columna sola con cabezal

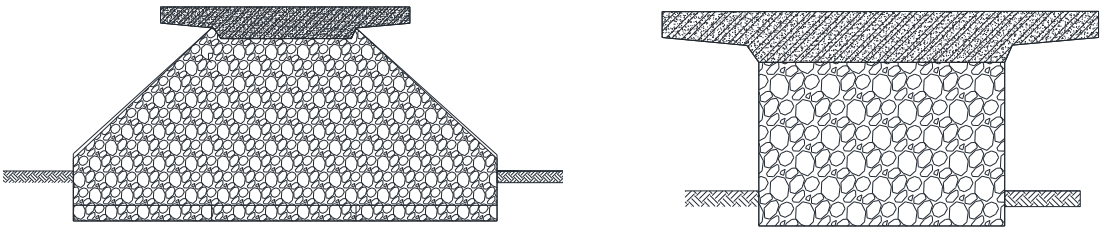
Figura 3. 66 Puente Típico 24.

Tabla 3. 33 Características del Puente Típico 25.

PUENTE TÍPICO			25
No. DE CLAROS			2
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Mampostería
	PILAS	TIPO	Pila sólida
		MATERIAL	Mampostería
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto y acero
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	3.0
		A	20.4
	MÁXIMA (m)	DE	3.0
		A	20.4
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	8.3
		A	40.8
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	8.9
		A	25.0
No. DE PUENTES			10



a) Elevación.

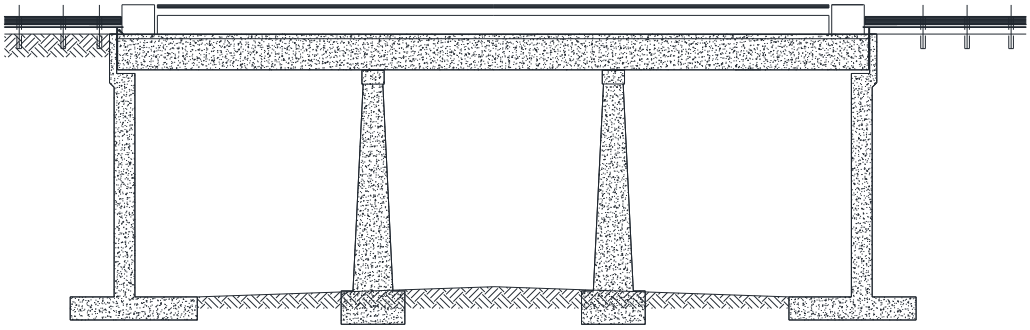


a) Corte Transversal Estribo. b) Corte Transversal Pila.

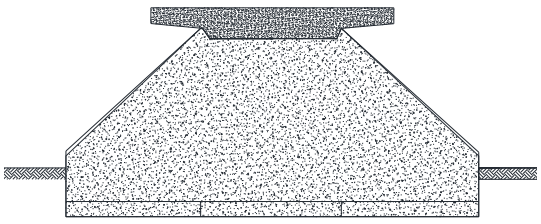
Figura 3. 67 Puente Típico 25.

Tabla 3. 34 Características del Puente Típico 26.

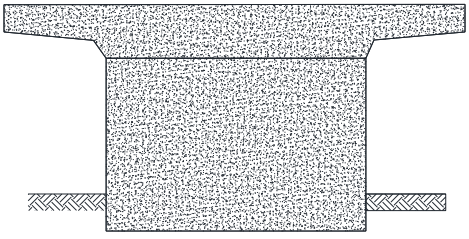
PUENTE TÍPICO			26
No. DE CLAROS			3
SUBESTRUCTURA	ESTRIBOS	TIPO	Estribo con aleros integrados
		MATERIAL	Concreto Reforzado
	PILAS	TIPO	Pila sólida
		MATERIAL	Concreto Reforzado
SUPERESTRUCTURA		MATERIAL	Concreto presforzado
LONGITUD DE CLARO	MÍNIMA (m)	DE	10.6
		A	30.4
	MÁXIMA (m)	DE	22.5
		A	30.9
LONGITUD TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	47.0
		A	91.8
ANCHO TOTAL DEL PUENTE (m)		DE	8.0
		A	18.5
No. DE PUENTES			10



a) Elevación.



b) Corte Transversal Estribo.



c) Corte Transversal Pila.

Figura 3. 68 Puente Típico 26.

CAPÍTULO 4

TÉCNICAS ACTUALES DE REPARACIÓN Y REFUERZO

4.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un amplio conocimiento del concreto y el acero utilizado en estructuras, ya que han venido utilizando desde el siglo XIX. Cuando se diseña una estructura de concreto se concibe para resistir las solicitaciones de cargas ordinarias y extraordinarias a las que estará expuesta durante el tiempo que preste servicio. A dicha estructura se le asigna un tiempo de vida estimado en función de un estudio probabilístico realizado de acuerdo con estructuras de características similares. Las estructuras de concreto reforzado, por lo general, alcanzan una vida útil mayor que 50 años, sin embargo, su capacidad se puede reducir por varios factores, y en caso extremo, pueden llegar a colapsarse y por consiguiente la pérdida de vidas humanas.

En pocos casos prácticos se consideran las condiciones ambientales a los que se expone la estructura. Esto resulta muy importante para asegurar el buen desempeño de los miembros estructurales, y para predecir el deterioro que puede sufrir el material de construcción, aumentando con ello la incertidumbre en los que a seguridad estructural se refiere.

Cada vez es más común encontrarse con estructuras deterioradas, lo cual exige una intervención ya sea demoliendo y reconstruyendo o reparando y reforzando.

Antes de realizar cualquier tipo de intervención es preciso conocer su estado, las causas de su deterioro y los factores de su propagación, según se indica brevemente en los siguientes pasos:

- Examen visual y acústico.
- Profundidad de carbonatación.
- Espesor de recubrimiento de hormigón.
- Ancho y profundidad de fisuras.
- Resistencia mecánica por esclerometría.
- Resistencia mecánica por ultrasonido.
- Resistencia a tracción por arrancamiento.
- Porosidad.
- Contenido de humedad.
- Cloruros y otros agentes químicos.
- Grado de corrosión de la armadura.
- Otras acciones sobre la estructura.

El reforzamiento en una estructura generalmente es consecuencia de alguno de los factores siguientes: como primer aspecto se puede mencionar el cambio de destino o de uso de una estructura lo que puede originar que tenga que soportar cargas superiores a las previstas en el proyecto original, o a que la distribución de las mismas sea diferente a las inicialmente consideradas. En estos casos puede que la capacidad resistente de los elementos estructurales no sea la adecuada para las nuevas solicitaciones, por lo que se estará en la necesidad de proceder a reforzar la obra o determinados miembros de la misma. Un segundo aspecto es la necesidad de reforzamiento como consecuencia de una disminución de resistencia de los elementos estructurales, motivada por las acciones de carácter accidental (choque, sismo, hundimiento etc.), que hayan dañado la estructura siendo preciso restablecer la resistencia o capacidades resistentes iniciales. En este punto también se pueden incluir como fenómenos de daño las acciones químicas que dan lugar a una caída de la resistencia del concreto como pueden ser la acción de los sulfatos, el ion cloruro, la acción álcali-agregado, fuego, carbonatación, etc. El tercer aspecto a considerar

es el reforzamiento necesario debido a errores que se hayan producido en el proyecto estructural y, que como consecuencia de estos, todos o algunos elementos no tengan la suficiente capacidad para soportar las acciones de servicio.

Como último aspecto se pueden citar los errores que se producen durante la construcción y por desgracia son frecuentes, estos problemas en las estructuras suelen estar motivados por situaciones como: mala colocación del acero, defectos en el doblado, amarrado, diferencia en la posición del acero, o bien una deficiente calidad y secciones del acero (Cottier, 2000). Los elementos a reparar dependerán de la magnitud de daños que presente el elemento estructural, los cuales deberán ser evaluados según la complejidad de cada caso.

Uno de los principales objetivos que se persiguen al reparar y reforzar un puente es el de incrementar la capacidad de la superestructura y subestructura para soportar las nuevas cargas de diseño, ya que la mayoría fueron diseñados con cargas que ya están obsoletas.

En la actualidad existe una amplia gama de materiales y sistemas de aplicación de materiales para reparación, refuerzo y protección de estructuras de concreto. Algunos de estos materiales han sido desarrollados para usarse conjuntamente con otros formando un sistema de reparación o protección. Se deberá tener en cuenta que para la aplicación de cada uno de los materiales de reparación, funcionará de mejor manera según sean las condiciones climáticas determinadas.

Hoy día los métodos de refuerzo y rehabilitación pueden ser clasificados con varios enfoques. Uno de ellos trata sobre el nivel de modificación en la estructura existente. Dos clasificaciones salen de este enfoque:

- Modificación del sistema estructural global. Lo que involucra modificaciones al sistema estructural que son diseñadas para que las demandas de diseño, generalmente regidas por desplazamientos, en la estructura existente sean menores que sus capacidades. Entre los métodos se incluye adición de muros, contraventeos

de acero y aisladores en la base. No es muy común encontrar esquemas de utilización de métodos de energía pasiva en marcos de concreto reforzado porque para que funcionen de manera efectiva, los desplazamientos requeridos generalmente sobrepasan las capacidades de desplazamientos de los componentes existentes.

- Modificación de componentes del sistema estructural original. Lo que se busca es incrementar la capacidad de la deformación de los componentes originales, que ya no cumplen con un reglamento para que no alcancen su estado límite último, mientras estas edificaciones responde al nuevo nivel de diseño. El método más representativo es el de encamisado de columnas y trabes (Rioboó, 2004).

Para ello se han adoptado diversas alternativas entre las que destacan cuatro principales, cuyo propósito es el de aumentar la resistencia de los elementos y/o reducir las acciones que actúan sobre ellos.

4.2 POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRAS (FRP)

Un polímero reforzado con fibra (FRP) es un material compuesto, que consta de dos materiales básicos: fibras y una resina polimérica. Las fibras quedan encapsuladas en la resina y proveen principalmente rigidez y alta resistencia a tensión, mientras que la resina se encarga de proteger a las fibras y de transferir los esfuerzos del elemento estructural que se pretende reforzar a cada uno de los filamentos (Orozco, 2011). Su principal uso es para incrementar la capacidad de carga de una estructura existente.

El material FRP se diseña solo para que resista la tensión. Por consiguiente, elementos estructurales sujetos a tensión directa o a tensión inducida por flexión, cortante o flexo-compresión son viables a ser reforzados con FRP. El FRP también puede ser usado para proveer confinamiento (como los estribos en columnas), lo cual permite incrementar la capacidad a compresión y la ductilidad del elemento estructural. Aunque se sabe que el

FRP laminado tiene cierta resistencia a la compresión y al cortante directo, no existe suficiente información científica en la actualidad como para tomarla en cuenta en el diseño (Peña y Ehsani, 2008).

Las propiedades de un material compuesto dependen de las características y proporción de sus materiales constitutivos, así como de otros muchos factores, como la posible orientación de las fibras. No obstante, las siguientes características son comunes en los materiales compuestos utilizados en el refuerzo de estructuras:

- Elevada resistencia, con comportamiento tensión-deformación lineal hasta la rotura (frágil).
- Alto módulo de elasticidad, alta resistencia a tensión.
- Buen comportamiento a la fatiga.
- Excelente durabilidad, al no ser afectados por problemas de corrosión o ataque químico.
- Posibilidad de orientación de las fibras, optimizando así su comportamiento en una dirección.
- Comportamiento lineal hasta la rotura.
- Poco peso.
- Buenas propiedades dieléctricas.
- Transparencia a los rayos X.

En cuanto a las fibras, se pueden encontrar orientadas en una única dirección o formando una malla bidireccional. Por lo que las propiedades del material compuesto son el resultado del porcentaje de fibras y de la orientación de las mismas (Salaverría, 2003). Pueden emplearse para el refuerzo por flexión y cortante, cuidando que la orientación de las fibras sea paralela al esfuerzo en el elemento (Jara y Jara, 2010).

Aunque los materiales compuestos han venido siendo utilizados en la industria desde hace unos 40 años, las primeras investigaciones sobre su posible aplicación como armadura de refuerzo de estructuras de concreto datan de 1985 (Del Río, 2009).

La aplicación de los polímeros reforzados con fibras para el reforzamiento y reparación de estructuras de concreto ha tenido un rápido desarrollo, particularmente en Norteamérica, donde muchos puentes de concreto se encuentran deteriorados o están sometidos a esfuerzos mayores a los que se diseñaron (Padilla, Landa y Flores, 2007).

Hasta la fecha esta técnica de refuerzo no ha sido muy utilizada en México, de hecho solo en una oportunidad ha podido ser probada. En contraste en Japón, en abril de 1992 y mayo de 1995 se han rehabilitado 73 puentes, mientras en la tecnología aeroespacial y en la industria manufacturera se les ha empleado desde hace más de 25 años (King, 2000).

Su facilidad y rapidez de aplicación, sin necesidad de interrumpir el tránsito, la convierten en una técnica muy atractiva. Desde el punto de vista del diseño tienen la gran ventaja de que su comportamiento es lineal hasta la falla.

Hay diferentes tipos de fibras como: vidrio, arámida, carbono, etc. (Figura 4. 1) y resinas disponibles como el poliéster, viniléster, epóxicas, etc., y cada una tiene sus ventajas y desventajas. En cuestión al refuerzo de las estructuras, los materiales más utilizados son a base de fibras de carbono (y en menor medida vidrio o arámida), con resinas epoxi (Del Río, 2009).



Figura 4. 1 Diversos tipos de fibras para refuerzo estructural.

Para el uso de este tipo de refuerzo, es particularmente importante que el material base y la superficie estén correctamente preparados.

Si bien las ventajas del uso de sistemas de refuerzo FRP son significativas, existen desventajas que el ingeniero debe considerar en su proyecto. Por ejemplo, las resinas epóxicas son susceptibles a degradación cuando están expuestas directamente a radiación ultravioleta. Por consiguiente, las superficies de FRP directamente expuestas a la luz solar deberán ser protegidas con recubrimientos (pinturas) que absorban dicha radiación. Así mismo, las resinas epóxicas también están expuestas a degradación cuando la temperatura ambiente excede los 60 ºC. Aunque dicha temperatura no es factible a ser excedida por condiciones meteorológicas, si puede ser excedida en estructuras que alojan ciertos procesos industriales o si se presenta un incendio. En dichos casos, la superficie del FRP debe ser tratada con aislamiento térmico. Es importante hacer mención que el FRP no es un material propagador de flamas, de hecho, sus índices de propagación de incendio son equiparables a otros materiales constructivos como el block o ladrillo. Otra desventaja de los materiales FRP es su susceptibilidad a daño por abrasión, por lo que deberá protegerse con recubrimientos anti-abrasivos (por ejemplo, una capa de mortero) cuando se coloquen en superficies expuestas al tráfico humano o vehicular. Los materiales FRP también están expuestos al vandalismo; por ejemplo, daño con dispositivos punzocortantes, el cual puede ocurrir en estructuras abiertas como los puentes. Por consiguiente, las superficies FRP susceptibles a vandalismo deberán ser protegidas con capas de mortero u algún otro tipo de acabado que proporcione la protección deseada (Peña y Ehsani, 2008). Por otro lado, otra de las desventajas de estos sistemas de reforzamiento es su alto costo. Sin embargo, en ciertas situaciones los FRP son la solución más económica debido a los bajos costos de mano de obra y de mantenimiento (Padilla, Landa y Flores, 2007).

4.2.1 RESINAS SINTÉTICAS

Se entiende por resina sintética cualquiera de las resinas naturales modificadas químicamente o sintéticos polimerizados físicamente similares, incluyendo los materiales

termoplásticos tales como polivinil, poliestireno, y polietileno y materiales termo rígidos tales como poliésteres, epóxidos y siliconas que son utilizados con los estabilizadores, pigmentos y otros componentes para formar plásticos. Los fabricantes de los sistemas de FRP usan resinas que presentan las siguientes características:

- Compatibilidad y adherencia con el concreto.
- Compatibilidad y adherencia al sistema compuesto de FRP.
- Resistencia a los efectos ambientales, incluyendo la humedad, el agua del mar, las temperaturas extremas y los productos químicos que normalmente se asocian al concreto.
- Trabajabilidad.
- Capacidad de relleno.
- Vida consistente con la aplicación.
- Desarrollo de adecuadas propiedades mecánicas para los compuestos FRP.

El procedimiento del uso de la resina es el siguiente:

- Pintura base (Primer). Se utiliza para penetrar en la superficie del concreto, proporcionando y mejorando la saturación de la resina o el adhesivo del pegamento.
- Relleno de pasta. La pasta se utiliza para rellenar pequeñas superficies vacías, tales como agujeros por insectos y para proporcionar una superficie lisa que puede unirse al sistema de FRP. Al llenar estos huecos impide que se formen burbujas durante el curado de la saturación de la resina.
- La saturación de la resina. La saturación de la resina se utiliza para impregnar las fibras de refuerzo, fijarlas en su lugar, y proporcionar una ruta de carga de corte para transferir eficazmente la carga entre las fibras. La saturación de la resina también sirve como el adhesivo para sistemas de láminas mojadas, proporcionando una ruta de carga de cortante entre el elemento de concreto previamente preparada y el sistema FRP.
- Adhesivos. Los adhesivos se utilizan para enlazar el precurado del laminado de FRP y del sistema montado cerca de la superficie al soporte del concreto. El

adhesivo proporciona una ruta de carga de cortante entre el elemento de concreto y el sistema de refuerzo de FRP. Los adhesivos son también utilizados para unir entre sí varias capas precuradas de láminas de FRP (ACI, 2008).

4.2.1.1 RESINAS EPÓXICAS

La resina epóxica es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o "endurecedor". Las resinas epoxi más frecuentes son producto de una reacción entre epiclorohidrina y bisfenol-a. El epoxi es un polímero que no se altera fácilmente por la acción del calor, y que tiende a solidificar al contacto con un agente endurecedor. Esta sustancia viene en presentaciones que van desde la consistencia viscosa, hasta el estado sólido con un elevado punto de fundido. Se caracteriza por su gran impermeabilidad, es decir, aísla superficies de la acción de la humedad, tiene un alto grado de adherencia, y también ofrece una alta resistencia al calor y al frotamiento intenso. Entre las principales aplicaciones que tienen son:

- Pinturas y acabados. Los epoxis se usan mucho en capas de impresión, tanto para proteger de la corrosión como para mejorar la adherencia de las posteriores capas de pintura. También se emplea en decoraciones de suelos de alta resistencia, como el terrazo, fabricación de piletas de dicho material, frentes para automóviles, etc.
- Adhesivos. Las resinas epoxídicas son un tipo de adhesivos llamados estructurales o de ingeniería; el grupo incluye el poliuretano, acrílico y cianoacrilato. Estos adhesivos se utilizan en la construcción de aviones, automóviles, bicicletas y esquíes. Sirven para pegar gran cantidad de materiales, incluidos algunos plásticos y se puede conseguir que sean rígidos o flexibles, transparentes o de color, de secado rápido o lento. En general, si el secado de un adhesivo epoxídico se realiza con calor, será más resistente al calor y a los agentes químicos que si se seca a temperatura ambiente. La resistencia a la tracción de este tipo de adhesivos puede llegar a superar los 350 kg/cm², lo que les convierte en el adhesivo más resistente del mundo.

- Materiales compuestos. Las resinas epoxi se usan tanto en la construcción de moldes como de piezas maestras, laminados, extrusiones y otras ayudas a la producción industrial. Los resultados son más baratos, resistentes y rápidos de producir que los hechos de madera, metal, etc. Los compuestos de fibras y epoxi, aunque son más caros que los de resinas de poliéster o de éster de vinilo, producen piezas más resistentes. Además, las resinas epoxi pueden ser infiltradas en espumas metálicas (metal foams) para crear los materiales compuestos denominados IPC (Interpenetrating Phase Composites).

4.2.1.2 RESINAS DE POLIÉSTER

El poliéster es una categoría de elastómeros que contiene el grupo funcional éster en su cadena principal. Los poliésteres que existen en la naturaleza son conocidos desde 1830, pero el término poliéster generalmente se refiere a los poliésteres sintéticos (plásticos), provenientes de fracciones pesadas del petróleo. El poliéster termoplástico más conocido es el PET. El PET está formado sintéticamente con etilenglicol más tereftalato de dimetilo, produciendo el polímero o poltericoletano. Como resultado del proceso de polimerización, se obtiene la fibra, que en sus inicios fue la base para la elaboración de los hilos para coser y que actualmente tiene múltiples aplicaciones, como la fabricación de botellas de plástico que anteriormente se elaboraban con PVC.

Las resinas de poliéster (termoestables) se usan también como matriz para la construcción de equipos, tuberías anticorrosivas y fabricación de pinturas. Para dar mayor resistencia mecánica suelen ir reforzadas con cortante, también llamado endurecedor o catalizador, sin purificar.

El poliéster es una resina termoestable obtenida por polimerización del estireno y otros productos químicos. Se endurece a la temperatura ordinaria y es muy resistente a la humedad, a los productos químicos y a las fuerzas mecánicas. Se usa en la fabricación de fibras, recubrimientos de láminas, etc.

En la Tabla 4. 1, se muestran algunas características de estas dos resinas (Carmas Composites, 2013).

Tabla 4. 1 Características de resina epóxica y resina de poliéster.

CARACTERÍSTICAS DE LA RESINA	EPOXICA	POLIÉSTER
Costo	Elevado	Bajo
Facilidad de uso	Fácil de usar	Dificil
Impermeabilidad al agua	Muy buena	No
Módulo de flexión	Excelente	Muy bueno
Módulo de tensión	Excelente	Muy bueno
Tolerancia a ultravioletas	Bajo	Muy bueno
Uso de compuestos avanzados con carbono o Kevlar	Excelente	No recomendable
Sellando o reparando madera	Excelente	Bueno
Rellenado en compuestos	Excelente	Bueno
Adhesivado en similares	Excelente	No
Curado en superficies finas	Polimeriza en superficies finas	Generalmente debe ayudarse con un anti-tacking

Con la tabla anterior se observa que la resina epóxica es más utilizada para los polímeros reforzados con fibras (FRP).

4.2.2 POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRAS DE VIDRIO (GFRP)

Desarrollado por primera vez a mediados de los años 30’s, los polímeros reforzados con fibra de vidrio se ha convertido en un elemento básico en la industria de la construcción. Esta es la fibra más empleada en los PRF, especialmente en aplicaciones industriales debido a su gran disponibilidad, sus buenas características mecánicas y a su bajo costo.

Existe una gran variedad de fibras de vidrio disponibles en el mercado, en las que figuran distintas características, entre las que destacan:

- Aislamiento eléctrico.
- Resistencia química.
- Alta resistencia mecánica.

- Elevado módulo de elasticidad.
- Propiedades dieléctricas.
- Transparencia a los rayos X.

También existen vidrios que aúnan dos o más de estas características. Las diferencias radican básicamente en los silicatos presentes en el vidrio, normalmente un silicato alcalino y uno alcalinotérreo.

Las principales características de la fibra de vidrio son:

- Alta adherencia fibra-matriz.
- Resistencia mecánica, con una resistencia específica (tracción/densidad) superior a la del acero.
- Características eléctricas: aislante eléctrico, buena permeabilidad, dieléctrica y permeable a las ondas electromagnéticas.
- Incombustibilidad. No propaga la llama ni origina humos o toxicidad.
- Estabilidad dimensional (bajo coeficiente de dilatación).
- Compatibilidad con las materias orgánicas.
- Imputrescibilidad, insensible a roedores e insectos.
- Débil conductividad térmica (ahorro de calefacción).
- Excesiva flexibilidad.
- Bajo costo.

El proceso de fabricación consiste en el estiramiento a muy alta temperatura, por tracción mecánica o por acción de fluidos en movimiento, de una veta de vidrio fundido y su inmediata solidificación.

Existen diferentes composiciones comerciales, a las que se les asignan letras que representan diferentes características:

- E: Electrica. Baja conductividad eléctrica.

- A: Alkali. Alta resistencia a los ácidos sódicos.
- C: Chemical. Alta durabilidad química.
- S: Strength. Alta tensión de rotura.

En la Tabla 4. 2 se muestra algunas de las propiedades de las fibras anteriormente comentadas.

Tabla 4. 2 Propiedades de las fibras de vidrio.

FIBRAS	DENSIDAD (g/cm3)	RESISTENCIA A TRACCIÓN (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)	ALARGAMIENTO EN ROTURA A 27º	DIÁMETRO FILAMENTOS (µm)
E_glass	2.58	3450	72.5	0.048	8.9 - 20.3
A_glasss	2.50	3040	69.0		
C_glass	2.62	3626	72.5		
S_glass	2.48	4590	86.0	0.057	5.3 - 9.9

Se puede observar que dentro de los distintos tipos de fibra de vidrio, la de tipo S tiene una alta resistencia a tracción y alto modulo elástico (Salaverría, 2003).

En la Figura 4. 2 se muestra algunos de los tejidos de las fibras de vidrio utilizadas para refuerzo de estructuras.

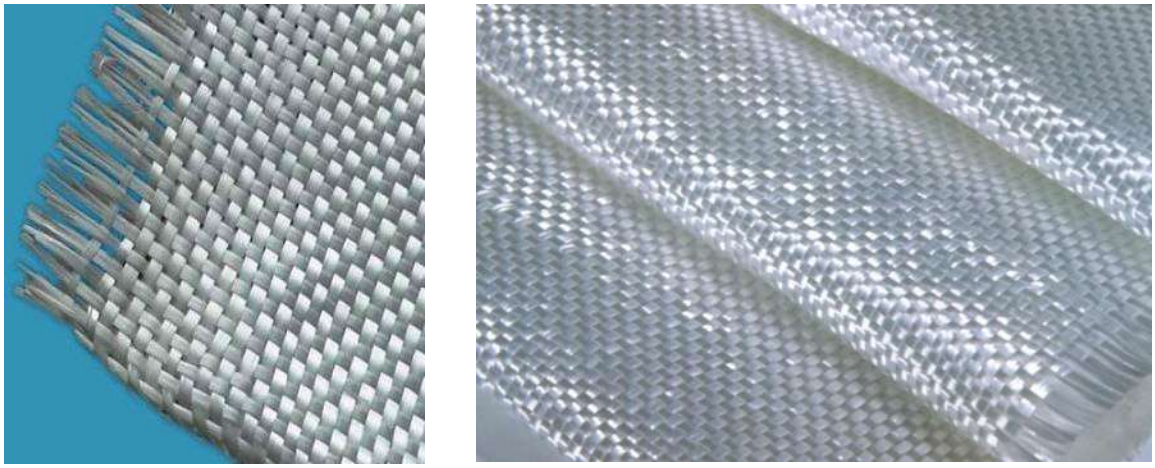


Figura 4. 2 Tejidos de fibras de vidrio para refuerzo estructural.

Su uso principal es para el reforzamiento a flexión, cortante, confinamiento de elementos estructurales tales como vigas, columnas, losas, muros por las siguientes causas:

- Incremento de cargas.
- Incremento de volumen de tráfico en puentes.
- Estructuras con vibración.
- Reforzamiento sísmico.
- Envoltura de columnas (confinamiento).
- Paredes de mampostería no reforzadas.
- Daño de partes estructurales.
- Envejecimiento de materiales de construcción (corrosión).
- Impacto de vehículos.
- Fuego.
- Cambio en el sistema estructural.
- Defectos de diseño o construcción.
- Refuerzo insuficiente, entre otras.

Sus principales ventajas son:

- Es flexible, puede colocarse envolviendo elementos de forma compleja.
- Su alta resistencia.
- Bajo de peso.
- No se corroe.
- Resistente a sustancias ácidas.
- Bajo impacto estético.
- Económico (Sika, 2013).

4.2.2.1 MODO DE EMPLEO

- PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE. La superficie debe de estar limpia y sana. Puede estar seca o húmeda, pero libre de agua empozada o hielo. Remover polvo, lechada, grasa, compuestos curadores, impregnaciones, grasas, partículas extrañas, material suelto o cualquier otro elemento que impida la adherencia. Cuando la superficie sea irregular debe ser nivelada con un mortero de reparación adecuado La resistencia en adherencia del concreto debe ser verificada, después de la preparación de superficie por un ensayo aleatorio de resistencia a tensión (ACI 503R) a criterio del ingeniero. La mínima resistencia a tensión debe ser de 15 kg/cm^2 con falla del concreto.

- MÉTODO DE LIMPIEZA. Para la preparación de la superficie de concreto se recomienda utilizar chorro de arena o cualquier otro procedimiento de limpieza mecánica aprobado que provea textura rugosa a la superficie.

- MEZCLADO DEL EPÓXICO. El consumo de la resina epóxica depende de la rugosidad de la superficie y la práctica que se tenga en el procedimiento de impregnación del tejido, sin embargo, el consumo teórico aproximado es de 350 g/m^2 de producto para la imprimación de la superficie del sustrato y 730 g/m^2 para la saturación o impregnación del tejido.

- APLICACIÓN. Antes de la colocación del tejido, la superficie de concreto debe ser imprimada y sellada usando el epóxico. El material puede ser aplicado por aspersión, brocha o rodillo. El tejido debe ser saturado o impregnado en forma manual o mecánica. La instalación debe ser realizada por un aplicador autorizado o personal calificado.

- CORTE DEL TEJIDO. El tejido puede ser cortado a la longitud apropiada usando tijeras de tipo industrial o para trabajo pesado. Debe evitarse el uso de cualquier elemento de corte sin filo que pueda debilitar o deshilachar la fibra.

- PRECAUCIONES. Los cálculos de diseño deben ser realizados por un ingeniero independiente, debidamente acreditado. El sistema de barrera de vapor, no se debe encapsular elementos de concreto en zonas donde se presente ciclo de hielo – deshielo.

- MEDIDAS DE SEGURIDAD. Los tejidos no son reactivos. Sin embargo, debe tenerse precaución con el polvo de vidrio de la superficie cuando se manipule el producto. Debe utilizarse guantes para evitar irritación de la piel. Igualmente debe de protegerse contra el polvo que se disperse en el aire durante el proceso de cortado. Es recomendable utilizar máscaras de protección adecuadas para este caso.

- ALMACENAMIENTO. Se debe de proteger el material de posible ataque mecánico o contaminación, (Figura 4.3) por tal razón se debe almacenar en su empaque bien cerrado (Sika, 2013).



Figura 4. 3 Modo de aplicación de los polímeros reforzados con fibras de vidrio.

4.2.3 POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRAS DE ARAMIDAS (AFRP)

Las fibras arámida o poliamida aromática, se fabrican cortando una solución del polímero a través de una hiladora. Esto produce una fibra con una estabilidad térmica alta, una alta resistencia y una alta rigidez debido a uniones fuertemente organizadas del polímero semicristalino. Son elementos compuesto por fibras paralelas de fibras arámidas embebidas en una resina epóxica.

A finales de los años 60, la empresa du Pont desarrolló una nueva clase de polímeros, poliamidas aromáticas para-orientadas (aramidas), que poseían internamente cadenas moleculares rígidas en una configuración extendida. Las poliamidas aromáticas no son adecuadas para hilados viscosos; sin embargo, bajo determinadas condiciones de concentración, disolvente, peso molecular y temperatura pueden llegar a formar soluciones líquido-cristalinas. Estas soluciones pueden fluir a través de un hilador consiguiendo un producto fibroso de muy alta orientación.

La curva esfuerzo-deformación de las aramidas es casi lineal hasta su rotura. Hay dos tipos de aramida: las meta-aramidas y las para-aramidas.

Las características singulares de esta fibra orgánica son su buena resistencia al impacto y su alta capacidad de absorción de energía, que la hacen singularmente interesante para la fabricación de piezas que deben soportar impactos.

La fibra de aramida es sensible a los esfuerzos de compresión y también a la humedad, con algunos límites. Su temperatura de descomposición es superior a 420 ºC. La fibra de aramida es resistente a la llama, autoextinguible y resistente a muchos agentes químicos.

Los nombres comerciales de esta fibra pueden ser:

- Kevlar (Du pont de Nemours).
- Nomex (Du pont de Nemours).
- Twaron (Azko BV).
- Teijinconex (Teijin Ltd.).
- Techmora (Teijin Ltd.).

En la Figura 4. 4 se muestran algunos tejidos de las fibras de arámidas.

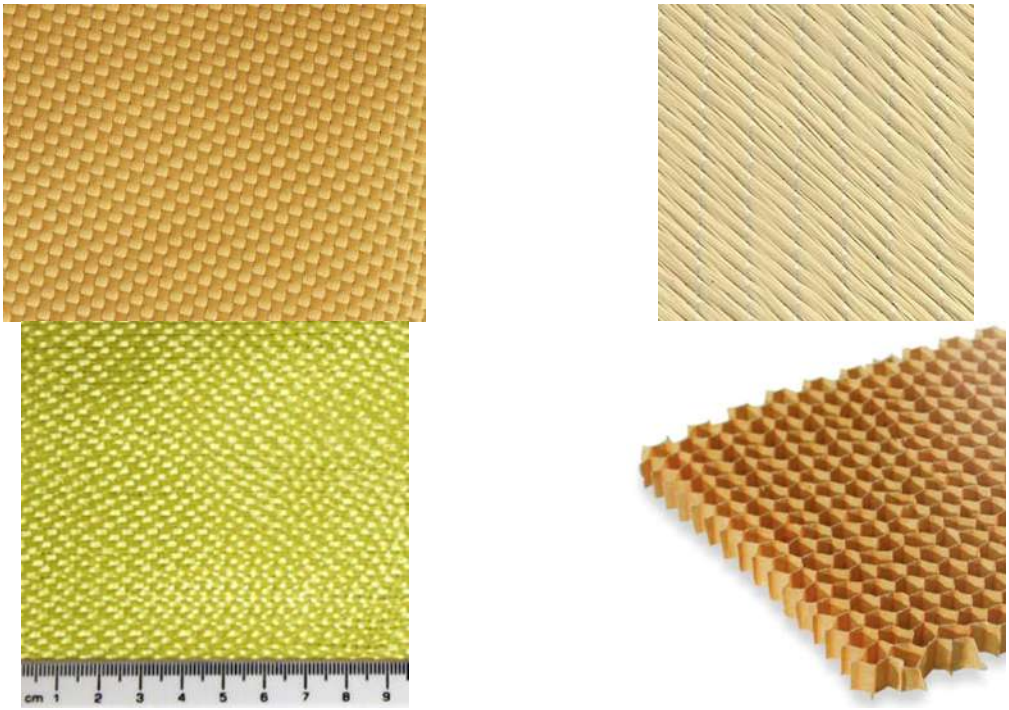


Figura 4. 4 Tejidos de las fibras de aramidas.

En la Tabla 4. 3 se muestra algunas de las propiedades de estás fibras de arámida (Salaverría, 2003).

Tabla 4. 3 Propiedades de las fibras de arámida.

NOMBRE COMERCIAL	DENSIDAD (g/cm3)	RESISTENCIA A TRACCIÓN (MPa)	MÓDULO ELÁSTICO (GPa)	DIÁMETRO FILAMENTOS (μm)
Twaron ST	1.44	3000	75	12
Twaron IM	1.44	3000	95	12
Twaron HM	1.45	3150	125	12
Kevlar 29	1.44	3400	83	12
Kevlar 49	1.44	3600	131	12
Kevlar 149	1.47	3600 - 4100	186	12

El uso recomendado para este tipo de fibras es:

- Mejorar la resistencia de las estructuras de concreto y mampostería sujetas a cargas explosivas.
- Mejorar la resistencia de las estructuras de concreto y mampostería al impacto o desgaste excesivo.

- Todas las aplicaciones de refuerzo en ambientes sensibles a cargas eléctricas donde no se puede usar la fibra de carbono debido a su conductividad.
- Vertical.
- Horizontal.
- Exterior.
- Interior.
- Concreto.
- Mampostería.
- Vigas de madera.
- Acero.

Algunas características que tiene este material son:

- Muy alta resistencia en relación al peso.
- Alta dureza.
- No es corrosivo.
- No es conductivo.
- Es de fácil aplicación.
- No afecta el aspecto de las estructura.

También es importante conocer los beneficios con este tipo de fibras:

- Puede agregar resistencia significativa a una estructura sin agregar una carga muerta de importancia.
- Resiste alto impacto y condiciones de carga de corta duración.
- No contribuirá en forma alguna a la corrosión galvánica.
- No impactará en áreas que tengan equipos sensibles a la electricidad.
- Puede ser aplicado rápidamente, inclusive en áreas de acceso limitado.
- Fácil de ocultar, no cambiará significativamente las dimensiones existentes de las estructuras, se adapta alrededor de superficies con formas complejas (BASF, 2013).

4.2.3.1 MODO DE EMPLEO

- PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE. Deberá aplicarse a substratos que hayan sido reparados con selladores, resinas, pintura, etc.

- APLICACIÓN. Las fibras de arámida se deben de aplicar con una resina epóxica.

  - El laminado debe ser cortado a las dimensiones adecuadas (que dependerán de los requerimientos de cada proyecto) utilizando cizallas especialmente diseñadas para cortar laminado de arámida o tela de la marca KEVLAR.
  - Las secciones del laminado ya cortado pueden ser almacenadas enrollándolas con cuidado en rollos de aproximadamente 600 mm. No se doble o plegar el tejido. El tejido debe ser mantenido libre de polvo, aceites, humedad y otros contaminantes en todo momento. El laminado no debe estar expuesto a la luz solar directa por periodos de tiempo prolongado.
  - Aplicar el tejido directamente sobre la superficie no curada previamente aplicada con algún adhesivo. No hay necesidad de mojar previamente el tejido con el adhesivo antes de aplicar el tejido sobre la superficie.
  - Usar un rodillo acanalado o un jalador para presionar el tejido contra el substrato hasta que se vean señales de que el adhesivo esté sangrando a través del tejido. El rodillo acanalado o jalador deben ser pasados solamente siguiendo la dirección principal de las fibras en el tejido.
  - Aplicar una capa de adhesivo sobre el tejido para terminar de encapsular el laminado.

- MANUTENCIÓN. Se requiere de inspecciones periódicamente al material aplicado y reparar las áreas localizadas que lo necesiten.

- ALMACENAMIENTO. El tejido de fibra de arámida debe almacenarse en un área seca y fresca, a una temperatura entre 10 y 32ºC y lejos de la luz directa solar,

flamas o de cualquier otro peligro. La vida útil es de 3 años si es almacenado sin abrir de su paquete original.

- SEGURIDAD. Mientras se esté manipulando la fibra de refuerzo (Figura 4.5), use ropa de trabajo adecuada para minimizar el contacto. Este producto es para el uso de profesionales y de la industria y deben ser instalados por aplicadores calificados y entrenados (BASF, 2013).



Figura 4. 5 Modo de aplicación de los polímeros reforzados con fibras de arámida.

4.2.4 POLÍMEROS REFORZADOS CON FIBRAS DE CARBONO (CFRP)

Los polímeros reforzados con fibra de carbono (CFRP, por sus siglas en inglés) han sido utilizados de forma importante y continua en las industrias automotriz y aeroespacial. Por ello, ingenieros, fabricantes y proveedores en estas áreas están familiarizados con las diversas aplicaciones, pues dichos polímeros tienen ya un largo periodo de desempeño probado. Sin embargo, su uso en ingeniería estructural para aplicaciones civiles como puentes y edificios es relativamente nuevo (Orozco, 2011).

Los primeros trabajos de investigación relacionados con el reforzamiento del concreto por medio de la adherencia de un material de refuerzo se llevaron a cabo en Francia en 1967 cuando L´Hermite et Bresson estudiaron el sistema de reforzamiento utilizando bandas de acero adheridas con resina epóxica. Apareciendo la primera conferencia técnica en el Coloquio RILEM denominada "Beton plaqué", las investigaciones continuaron en

diferentes laboratorios así como, las primeras aplicaciones en países como España, Alemania, Estados Unidos, Inglaterra, Suiza, Francia, etc. En 1985 con el objetivo de mejorar el sistema de reforzamiento y aminorar los mayores inconvenientes del sistema de placas de acero adheridas que son su peso y la degradación del acero debido a la corrosión, el Profesor Urs Meier del Swiss Federal Laboratories for Materials and Research (EMPA) de Dobendorf en Suiza ideo la forma de remplazar la placa de acero por una placa compuesta con una base de carbón y una matriz de resina epoxica lo que se llamó Material Compuesto (Cottier, 2000).

Entre las razones que justifican la rápida implantación de estos sistemas de refuerzo hay que destacar las siguientes:

- Los materiales compuestos de fibra de carbono son ligeros y fáciles de manejar. Por eso su colocación en obra es rápida y prácticamente no requiere la disposición de medios auxiliares. Esta circunstancia compensa en muchos casos la diferencia de costo con las bandas de acero, entre 6 y 10 veces más baratas en términos de costo de material que, sin embargo, son mucho más pesadas y precisan para su encolado de mayores medios auxiliares.
- Las bandas de fibra de carbono se adaptan mejor que las de acero a las posibles irregularidades de la superficie del concreto original. Ello reduce en muchas ocasiones las labores previas de preparación del elemento a reforzar.
- Los materiales compuestos de fibra de carbono pueden presentarse prácticamente en cualquier longitud, lo que evita la realización de juntas o empalmes.
- Los materiales compuestos de fibra de carbono no se ven afectados por problemas de corrosión o de ataques químicos. Sólo una excesiva radiación o impactos directos pueden provocar su deterioro. Por ello, al contrario de lo que sucede con las bandas de acero, no es necesario protegerlas pintándolas periódicamente.
- Por otra parte, en caso de ser necesaria su protección frente a fuego, los requerimientos de los refuerzos mediante bandas de fibra de carbono encoladas no son muy superiores a los que exigen los refuerzos mediante bandas de acero igualmente encoladas (Del Río, 2009).

Las fibras de carbono son de peso reducido, alta resistencia a la tensión y resistencia a la corrosión, tienen además baja relajación y elongación; comparadas con el acero son mucho más ligeras, mucho más delgadas y tienen una capacidad resistente a la tensión diez veces superior (King et al., 2000). Si se compara (Tabla 4.4) con las placas de acero comúnmente usadas para el refuerzo de concreto se pude ver que existen diferentes características donde la competencia es favorable a las fibras (Cottier, 2000).

Tabla 4. 4 Comparativa de los materiales compuestos y las láminas de acero para refuerzo.

CARACTERÍSTICAS	MATERIAL COMPUESTO	LAMINA DE ACERO
Peso propio	Muy bajo	Alto
Espesor general	Muy bajo	Bajo
Manejo	Fácil flexible	Complicado rígido
Intersecciones o cruces	Fácil	Difícil
Resistencia a la tensión	Muy alta	Alta
Comportamiento a la fatiga	Excelente	Adecuado
Capacidad de carga	En dirección longitudinal	Cualquier dirección
Longitud de placa	Cualquiera	Limitada
Corrosión	Ninguna	Sí
Conocimientos técnicos	Incipientes	Completos
Resistencia a los rayos UV	Solo con protección	Adecuado
Resistencia al fuego	Ninguna	Limitada

Estas fibras presentan módulos elásticos tan grandes como los del acero, con la ventaja de tener un peso específico de 3.5 veces menor en relación al acero, lo que genera que estos tipos de fibra tengan un alto módulo específico (relación entre módulo y peso específico). La fibra de carbono es seleccionada por ofrecer una mayor resistencia mecánica (Padilla et al., 2008).

Básicamente este tipo de refuerzo consiste en un sistema externo de fibras unidireccionales embebidas en una matriz epóxica que se adhiere a la superficie de las estructuras, formando un conjunto estructural similar a las placas de acero, pero con una altísima relación resistencia - espesor, con gran durabilidad y con una gran flexibilidad para la rehabilitación (King et al., 2000).

Para el caso particular del reforzamiento de estructuras de concreto, como es el caso de los puentes, es preferida la fibra de carbono por su superior resistencia a pesar de tener un costo más elevado. De igual manera, las resinas epóxicas son las más utilizadas para este fin, pues presentan una gran capacidad de adherencia a múltiples sustratos, tienen bajo flujo plástico, alta rigidez y buena resistencia a la fatiga.

El principal reto en muchas de las aplicaciones es incrementar la capacidad de carga de puentes existentes (algunos ya bastante viejos) sin afectar adversamente su apariencia estética (Figura 4. 6).



Figura 4. 6 Colocación de refuerzo con fibras de carbono sin afectar su apariencia.

En zonas sísmicas, las pilas de apoyo se pueden encamisar con CFRP para brindar mayor ductilidad y reducir el efecto de las solicitaciones laterales que demanda un terremoto (Figura 4. 7).



Figura 4. 7 Refuerzo para brindar mayor ductilidad a pilas.

En México, siguiendo la tendencia de los países desarrollados, es cada vez más común ver puentes de concreto reforzados con CFRP. El Sistema de Puentes de México (SIPUMEX) de la SCT permite efectuar una priorización de las necesidades de mantenimiento y rehabilitación, con lo que se logra una optimización de los recursos aplicables y al mismo tiempo se atiende a la seguridad de los usuarios.

Por medio de este sistema se determina, para los puentes identificados como vulnerables, la necesidad de reforzamiento y el diseño de éste a través de una licitación pública para la ejecución del estudio de evaluación y proyecto de ingeniería del procedimiento de reforzamiento a emplear. Es así como diversos centros de la SCT estatales ya han comenzado a solicitar a los ingenieros en estructuras alternativas de reforzamiento con sistemas CFRP para evaluarlas frente a otras alternativas tradicionales. En muchos de los casos, a pesar de que inicialmente se tenía la habitual percepción sobre sistemas nuevos de que son demasiado costosos, las alternativas técnico-económicas más favorables han sido precisamente los CFRP. En México (Figura 4.8) hoy en día existen numerosos proyectos de referencia en los que se han podido confirmar las bondades de reforzar puentes de concreto en estado vulnerable con estos materiales (Orozco, 2011).



Figura 4. 8 Puente reforzado con fibras de carbono.

4.2.4.1 BASES DEL DISEÑO DEL REFUERZO CON FIBRAS DE CARBONO

El reforzamiento de estructuras de concreto usando los materiales llamados compuestos hasta el momento se ha realizado utilizando únicamente las especificaciones y

formas de cálculo de las empresas fabricantes de las fibras, ya que aún no existe reglamento alguno que se ocupe de estos materiales. Es importante saber que debido a la importancia del tema y a los resultados obtenidos en los refuerzos ejecutados en diversas partes del mundo, el ACI en su comité ACI 440 ha desarrollado unos reportes preliminares en relación al procedimiento de diseño para el reforzamiento externo, resumiendo el estado del arte de este sistema de reforzamiento. En este documento se tratan también los sistemas de reforzamiento externo de estructuras existentes con materiales compuestos, las propiedades de cada uno de los materiales que los componen como son las fibras y resinas, y se hace referencia a estudios e investigaciones realizadas hasta la fecha.

Se comprende que por la poca experiencia con estos materiales los coeficientes recomendados por los fabricantes son aún conservadores al igual que lo que recomienda ACI, sin embargo cada ingeniero deberá evaluar el nivel de riesgo según las condiciones de trabajo de la estructura y definir el reforzamiento requerido, dando una solución óptima para cada caso, cumpliendo con los requerimientos de seguridad mínimos requeridos.

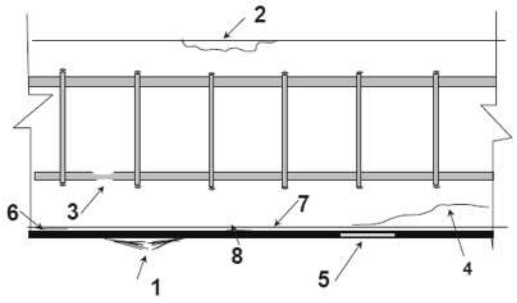
El diseño del reforzamiento debe cumplir con cada una de las etapas siguientes:

- Diseño a flexión, en los casos de elementos sin reforzamiento y con reforzamiento.
- Delaminación del concreto o cortante crítico.
- Verificación de la longitud de anclaje de la lámina.
- Capacidad de servicio.

Es importante que el diseñador revise cada una de las etapas anteriores puesto que la experiencia ha demostrado que la delaminación del concreto o la longitud de anclaje de la lámina son las que definen el diseño de la sección. Siendo entonces necesario diseñar un reforzamiento de tal forma que aún con la falla de la lámina por cualquiera de estas causas el elemento sea estable.

Otro aspecto importante que el diseñador debe tener presente son las posibles fallas que se pueden producir por la degradación del concreto así como por la oxidación del

acero de refuerzo por ataque químico, motivo por el cual es indispensable efectuar previamente a todo trabajo de reforzamiento, un estudio completo de patología de la estructura con el objetivo de conocer adecuadamente las características de los materiales que forman la estructura sus condiciones de estabilidad y químicas, al momento de estudiar su reforzamiento, logrando así un estudio completo garantizando la durabilidad de la estructura en su nueva etapa de trabajo (Figura 4. 9).



1.- Falla a tensión de la lamina
2.- Aplastamiento del concreto zona de compresión.
3.-Fluencia del acero o rotura del acero.
4.- Desprendimiento del concreto.
5.- Rotura preliminar.
6.- Falla de cohesión en la capa del adhesivo
7.- Falla de adhesión (superficie de la lamina)
8.- Falla de adhesión(superficie del concreto).

Figura 4. 9 Tipo probable de fallas en los sistemas con fibras de carbono.

En caso de requerir trabajos de reparación paralelos a los de reforzamiento se deberá estudiar los productos a emplear para que garanticen la durabilidad de la estructura en su conjunto (Cottier, 2000).

4.2.4.2 TIPO DE FIBRAS Y CONFIGURACIONES

Dentro de esta filosofía general, en la actualidad existen dos sistemas de refuerzo diferentes basados en materiales compuestos de fibra de carbono: hojas de tejido de fibra de carbono y los laminados de fibra de carbono. A continuación se describen los fundamentos y principales aplicaciones de cada uno de estos dos sistemas.

- HOJAS DE TEJIDO DE FIBRA DE CARBONO. Se trata de láminas u hojas flexibles compuestas de filamentos de fibra de carbono, generalmente orientados en un alto porcentaje (95 – 98 %) en una sola dirección, que no llevan incorporada la matriz de resina epoxi. Se presentan habitualmente en espesores entre 0,1 y 0,3 mm, con densidades superficiales entre 200 y 800 g/m^2, en rollos de hasta 100 m, con anchos de 300 a 600 mm. En función de su resistencia y módulo de elasticidad pueden clasificarse en dos grupos:

  - Hojas de fibras de bajo módulo de elasticidad: Son las más comúnmente utilizadas y presentan típicamente módulos de elasticidad del orden de 230,000 N/mm^2, resistencias a tracción del orden de 3,400 N/mm^2, y alargamientos a rotura en torno al 15 %.
  - Hojas de fibras de alto módulo de elasticidad: Su uso en refuerzo de estructuras de concreto es más limitado. Presentan módulos de elasticidad de hasta 440,000 N/mm^2, con resistencias a tracción del orden de 2,400 N/mm^2, y alargamientos en rotura en torno al 5 ó 6 %.

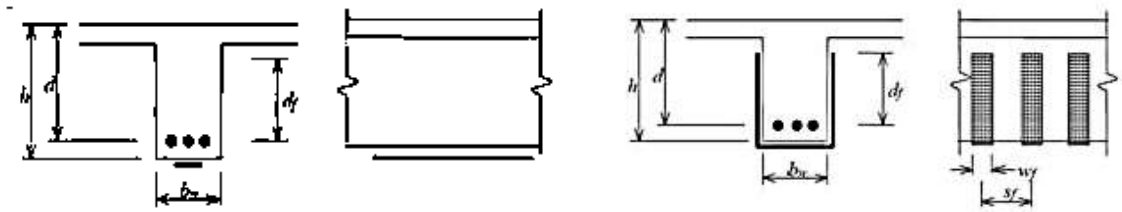
  Resulta evidente que tanto unas como otras proporcionan una elevada relación resistencia/peso y rigidez/peso, lo que facilita notablemente su manipulación. Su colocación en obra se realiza extendiendo sobre el concreto original una capa suficientemente fluida de resina epoxi que sirve como adhesivo, e impregnando después el tejido con la resina (igualmente fluida) que actuará como matriz. Las características finales del producto acabado dependen considerablemente de la cantidad y tipo de resina aportada, así como de las condiciones de ejecución. En general, para las hojas a base de fibras de bajo módulo elástico que comúnmente se utilizan, el módulo de elasticidad resultante en el tejido impregnado oscila entre 65,000 y 105,000 N/mm^2, con resistencias a tracción entre 1,000 y 2,000 N/mm^2, y alargamientos en rotura entre el 15 y el 20 %. En todo caso, la forma de rotura frágil que presentan los materiales compuestos obliga a limitar considerablemente las resistencias a tracción de diseño entre 500 y 900 N/mm^2, con alargamientos entre el 8 y el 10 %. El refuerzo mediante hojas de tejido de fibra de carbono

impregnadas “in situ” proporciona una gran adaptabilidad a casi cualquier superficie. Es aplicable tanto en refuerzos a flexión como a cortante. Asimismo puede utilizarse para mejorar la resistencia a compresión del concreto original envolviéndolo y confinándolo. En tal caso, además de seguir las recomendaciones generales antes enunciadas, se debe evitar la aplicación sobre esquinas “vivas”, siendo recomendable chaflanes con un radio mínimo de 30 ó 40mm.

- LAMINADOS DE FIBRA DE CARBONO. Se trata de productos preconformados que incorporan tanto la fibra de carbono como la matriz de resina. Por tanto, están listos para ser adheridos a la superficie de concreto, para lo cual generalmente se utiliza resina epoxi de dos componentes y consistencia pastosa para evitar el descuelgue.

  Su espesor oscila entre 1.2 y 1.4 mm y su ancho entre 50 y 200 mm, presentándose en rollos de hasta 500 m de longitud. Al tratarse de un producto terminado, sus propiedades mecánicas son más confiables que las resultantes de impregnar “in situ” un tejido de fibras. En general su módulo de elasticidad se sitúa entre 160,000 y 180,000 N/mm^2, con resistencias a la rotura entre 2,800 y 3,000 N/mm^2 y alargamientos últimos entre el 15 y el 20 %. Sin embargo, puesto que los materiales compuestos presentan una rotura frágil sin reserva plástica alguna, las tensiones de cálculo usuales se limitan entre 900 y 1,200 N/mm^2, lo que supone adoptar coeficientes de seguridad del orden de 3. Los laminados preconformados de fibra de carbono se utilizan básicamente como armadura de tracción en refuerzos a flexión. Su gran esbeltez no permite su uso como armadura de compresión. Por otra parte, su mayor espesor respecto a los tejidos de fibra de carbono requiere una mayor nivelación de la superficie de contacto. Existen también en el mercado productos preconformados de fibra de carbono ya doblados en ángulo recto para poder ser utilizados como cercos exteriores y servir por tanto como refuerzo a cortante. Estos laminados son adaptables a las medidas más usuales y sus características son similares a las de los laminados rectos antes descritos (Del Río, 2009).

Las configuraciones convencionalmente utilizadas son normadas por el ACI -440-2R. En la Figura 4. 10 se muestra la geometría de estas configuraciones (Peñaloza y Rodríguez, 2010).



a) Flexión b) Flexión y cortante

Figura 4. 10 Configuraciones convencionales de las fibras de carbono.

4.2.4.3 MODO DE EMPLEO DE LOS TEJIDOS DE CARBONO

- Primeramente la superficie de concreto deberá estar libre de cualquier impureza (agua, grasas, etc.) o partículas (residuos de concreto, áridos, trozos de metal, etc.), por lo que se deberá limpiar cuidadosamente.

- Seguidamente se debe quitar la lechada superficial de concreto haciendo para ello un abujardado (acabado rugoso) de ≈2 mm, pudiéndose hacer también manualmente con escarpa y martillo; así como también por chorro de arena o con cualquier técnica similar. Se procede entonces a liberar de polvo y partículas sueltas la superficie valiéndose para ello de una pistola de aire con compresor y también de un cepillo para quitar todas las partículas sueltas de la zona. Trazando sobre la superficie la posición del tejido de fibras de carbono.

- En este momento se preparan las bandas de fibra de carbono cortándolas con tijeras y teniendo el cuidado de pegar en la zona de corte una banda adhesiva para evitar que se deforme el final de la banda.

- Después de la preparación de las bandas, se procede a preparar la resina epoxi que es una resina bi-componente y pre-dosificada por el fabricante, la cual está

compuesta por una base y un endurecedor se hace entonces el vertido en uno de los depósitos de las resinas, con una mezcladora mecánica helicoidal durante 2 minutos aproximadamente, hasta obtener una mezcla uniforme.

- Se da inicio a la colocación de las bandas distribuyendo la resina epoxi sobre la superficie de concreto, utilizando para ello un rodillo con poco tejido; procurando dejar una capa abundante de resina. A razón de 700 g/m^2 ± 50 g. de material. El objetivo es llenar todas las imperfecciones del soporte y permitir una buena adherencia entre el concreto y el tejido de fibra de carbono.

- Posteriormente se procede a colocar el tejido de fibra de carbono debidamente alineado, presionándolo contra el concreto con otro rodillo, el cual deberá estar convenientemente encintado para ejercer una presión constante y evitar que queden partículas de materiales extraños. Se debe tener cuidado de la posición en que se colocan ya que este tejido presenta diversas configuraciones en ambos lados del tejido, por lo que deberá quedar el lado que presenta el tejido en sentido longitudinal a la banda; lo que permitirá luego aplicar la siguiente capa de resina epoxi. Esta operación se hace desde un extremo de la banda hasta el otro. Vigilando el paralelismo entre los bordes durante la fijación de la banda.

- Inmediatamente después de que está pegada la banda sobre la primera capa de resina epoxi, se procede a colocar una segunda capa de resina la cual se puede inicialmente aplicar con el mismo rodillo mencionado en el paso 5, en cantidades de 700 g/m^2 ± 50 g. de material; para seguidamente utilizar una espátula metálica para hacer que todo el tejido de fibra de carbono quede debidamente impregnado en ambos lados. Es importante al aplicar la resina en esta segunda capa, asegurarse que toda la resina es absorbida por el tejido.

  Esto es fácilmente apreciable ya que en el tejido se pueden distinguir las cantidades de resina que absorbe. Observando que cuando existan traslapes, éstos deberán ser de un mínimo de 20 cm. (Figura 4. 11) (Salaverría, 2003).



Figura 4. 11 Colocación de tejidos de carbono.

4.2.4.4 MODO DE EMPLEO DE LOS LAMINADOS DE CARBONO

Hay algunas consideraciones preliminares que se deben de tomar en cuenta para la aplicación de los laminados de carbono.

- TEMPERATURA AMBIENTE. Es posible que el ¨primer¨ y la resina a una temperatura ambiente baja puedan desarrollar una alta viscosidad y/o un grado de curado lento. Las condiciones para llevar a cabo la aplicación de los laminados de fibra de carbono deben ser evaluados minuciosamente, en especial en aquellos lugares en que se destacan por tener condiciones. No se deberá aplicar los laminados de fibra de carbono cuando la temperatura ambiente sea menor a 5° C.

- CONDENSACION DEL ROCIO. La presencia de humedad pueda inhibir la adherencia del primer y/o la resina. Si en determinado caso existiese goteras o infiltrado de agua, esta deberá ser tapadas y el agua drenada fuera del área de aplicación. Tampoco se podrá aplicar las láminas cuando haya llovido con anterioridad y exista condensación del agua de lluvia.

- DEFECTOS EN LA SUPERFICIE DEL CONCRETO. Las irregularidades del concreto y/o esquinas afinadas dentro de la sección a reforzar, pueden ser perjudiciales y propiciar la separación y delaminación de las láminas de carbono. En este sentido se recomienda que las irregularidades en el concreto deban ser niveladas y suavizadas. En lo que respecta a las esquinas afiladas, estas deban ser redondeadas a un radio de al menos 10mm.

- MANEJO DEL PRIMER Y LA RESINA. La viscosidad del “primer” y la resina puede ser ajustada por medio de calor. Sin embargo, no se recomienda diluir el primer y la resina utilizando solventes orgánicos. Después que la resina ha sido mezclada, esta deberá de utilizarse, sin pasarse del tiempo de expiración, de lo contrario se incrementaría la viscosidad y no se garantizaría el debido adherido de los laminados.

- MANEJO DE LOS LAMINADOS DE FIBRAS DE CARBONO. El manejo de los elementos laminados de fibras de carbono no deberá ser rudo, los laminados deberán ser almacenados y enrollados con radio máximo de 300mm. Cuando se tengan que adherir láminas de diferentes longitudes a una superficie de concreto, se recomienda no tener un traslape menor de 100mm para ser aplicadas en una dirección longitudinal. Tratándose de una sección lateral, no es necesario el traslape.

- PROGRAMA DE APLICACIÓN. Dependiendo de las circunstancias del sitio de trabajo, es posible que existan ciertas limitaciones con respecto a la disponibilidad de los materiales herramientas y andamios. El proceso de aplicación puede ser afectado por la vibración u otros factores. De cualquier forma se recomienda que se realice una vista previa al sitio de trabajo y que también se haga una planeación de las actividades a realizar, para garantizar buenos resultados.

Los pasos para la aplicación de los laminados de fibra de carbono son los siguientes:

- PREPARACIÓN PRELIMINAR. La superficie deteriorada del concreto (capas dañadas por el ambiente, excedentes de concreto, lubricantes, pintura, etc.) deberá ser removida y nivelada con un chorro de arena (sandblasteo).

  El polvo generado por la limpieza y nivelado de la superficie podrá removerse mediante aire a presión. Si el polvo ha sido removido por medio de un lavado con agua, la superficie, tendrá que ser secada.

- RESTAURACION DE LA SECCION TRANSVERSAL DE CONCRETO. Defectos en el concreto tales como desprendimiento del material, oquedades, corrosión, etc. deberán ser reparados y removidos. Si las barras de refuerzo están expuestas a la intemperie y existe corrosión en dichas barras, antes de restaurar el concreto se deberá aplicar una solución contra la oxidación. La restauración del

concreto será con un mortero a base de resina epóxica o con un mortero polimérico de tal forma que se iguale o se exceda la resistencia del concreto original.

Para el inyectado de fisuras se deberá levantar alguna resina epóxica o algún material similar.

Si a través de las fisuras o juntas, se observa el paso del agua, se recomienda impermeabilizar antes de efectuar la restauración del concreto.

- CORRECCION DE DEFECTOS EN LA SUPERFICIE DEL CONCRETO. Para la aplicación de las láminas de fibras de carbono, las diferencias entre las superficies del concreto no deberán exceder de 1mm.

  - Las oquedades en el concreto tales como pequeñas protuberancias deberán ser niveladas mediante discos. Las depresiones en las superficies del concreto tales como juntas, deberán ser rellenadas; mediante una macilla de resina epóxica o mortero.
  - Las esquinas afiladas deberán ser redondeadas el radio de redondeo no deberá ser menor a 10mm.

- APLICACIÓN DE LA CUBIERTA INICIAL (PRIMER). No se deben colocar ninguna cubierta de "primer" si la temperatura ambiente es menor de 5 °C., o si está lloviendo en el momento de la aplicación o existe condensación de agua de lluvia. Para poder seleccionar la clase de "primer" adecuado para cada caso, se deberá tomar nota de la temperatura imperante antes de aplicar el "primer".

  El sitio de trabajo deberá ser perfectamente ventilado el utilizar fuego está estrictamente prohibido, ya que el "primer" contiene solventes orgánicos. A este respecto, también es recomendable prevenir la inhalación de estos compuestos. Por lo anterior, en todo momento de la aplicación del "primer" se recomienda hacer uso

de cierta indumentaria de trabajo tal como: mascaras, gogles, o lentes y guantes de goma.

- El "primer" deberá ser mezclado perfectamente, alrededor de dos minutos en una mezcladora eléctrica, hasta llegar a una consistencia uniforme. El volumen del "primer" a preparar deberá encontrarse dentro del tiempo trabajable de la mezcla, ya que de lo contrario no llegara a formar una capa preliminar adecuada para la colocación de una resina y poder adherir posteriormente los laminados. El tiempo de vida por lote puede variar de acuerdo a la temperatura.
- La mezcla del "primer" deberá ser aplicada con un rodillo. Si existiese la necesidad de aplicar una segunda capa, se puede hacer siempre y cuando la primera capa haya penetrado el concreto. El volumen de aplicación variara de acuerdo con la porosidad o aspereza de la superficie del concreto.
- El curado de la cubierta inicial "primer" durara un mínimo de tres horas. Una práctica muy común, es permitir que el "primer" seque durante la noche.
- Las irregularidades causadas por la aplicación de la capa inicial "primer" deberán ser removidas. Si existiesen pequeñas oquedades se recomienda utilizar una masilla epóxica para corregirlas.

En la Tabla 4. 5 y la Tabla 4. 6 se muestran las propiedades del "primer", en función a la temperatura del sitio de trabajo y en base a las características de la superficie de aplicación.

Tabla 4. 5 Propiedades del primer en función a la temperatura del sitio de trabajo.

TIPO	ESTANDAR	VERANO	INVIERNO
Temperatura de aplicación, ºC	15 - 25	25 - 35	5 - 15
Tiempo de vida por bote, minutos			
@ 30 ºC		40	
@ 20 ºC	40	120	20
@ 10 ºC			
Tiempo de aplicación, horas			
@ 20 ºC	10	12	7
Porción de mezclado por peso			
(Resina: Hardener)	2 : 1	2 : 1	2 : 1
Viscosidad, eps	2000	2000	1300
Solvente	Ninguno	Ninguno	Ninguno

Tabla 4. 6 Propiedades del primer en base a las características de la superficie de aplicación.

GRADOS ESPECIALES	ALTO GRADO DE PENETRACIÓN	SUPERFICIE HUMEDA	
TIPO	-	STANDARD	INVIERNO
Temperatura de aplicación, ºC	5 - 35	15 - 25	5 - 15
Tiempo de vida por bote, minutos			
@ 30 ºC	120		
@ 20 ºC	120	40	20
@ 10 ºC	120		50
Tiempo de aplicación, horas			
@ 20 ºC	3	12	10
Porción de mezclado por peso			
(Resina: Hardener)	1 : 1	2 : 1	2 : 1
Viscosidad, eps	90	45000	45000
Solvente	Sí	Ninguno	Ninguno

- PEGADO DE LOS ELEMENTOS LAMINADOS DE FIBRAS DE CARBONO. Ninguna lámina de carbón deberá ser colocada si la temperatura ambiente es menor a 5ºC, o si está lloviendo en el momento de la aplicación o existe condensación del agua de lluvia. Antes de colocar alguna lámina de fibras de carbono se deberá tomar nota de la temperatura imperante y de la humedad de la superficie del concreto para poder seleccionar la clase de resina pertinente para cada caso.

  El sitio de trabajo deberá estar perfectamente ventilado. El uso de fuego está estrictamente prohibido, ya que la resina desprende compuestos tóxicos que puedan

ser inhalados. Por lo anterior se recomienda hacer uso, en todo momento en la aplicación de la resina, de indumentaria de trabajo: mascaras, gogles, o lentes y guantes de goma.

- Los laminados de fibras d carbono se deberán cortar utilizando tijeras y navajas ajustándose a las medidas especificadas. La longitud preferible será menor a 2m, de tal suerte que el número de tramos cortados será igual al número de láminas a colocar una jornada de trabajo de lo contrario pudiesen maltratarse los laminados.
- Se debe asegurar que la cubierta inicial "primer" es la superficie del concreto haya sido perfectamente curada.
- La resina deberá mezclar perfectamente, alrededor de 2 minutos, es una mezcladora eléctrica hasta llegar a una consistencia uniforme. El volumen de resina a preparar deberá estar dentro del tiempo útil de empleo (tiempo de trabajabilidad) que tenga el lote por aplicar, es decir, que se encuentre dentro del tiempo y que la mezcla es óptima para aplicarse, ya que de lo contrario no llegara a formar una liga adecuada para la colocación de las láminas de carbono. El tiempo de trabajabilidad del lote puede variar de acuerdo a la temperatura y al volumen de la resina mezclada.
- La mezcla de la resina deberá ser aplicada con un rodillo y se garantizará que sea uniformemente esparcida sobre la superficie del concreto. El volumen de aplicación variara de acuerdo con la porosidad o aspereza de la superficie de concreto. Se aplicara más resina en los ángulos internos y en las partes planas del concreto.
- Los laminados se colocaran donde ya se encuentra aplicada la capa de resina. Después de alisar la superficie con la mano, la superficie de papel se despega del laminado. Utilizando un rodillo y una espátula de goma se procederá a pegar perfectamente el laminado de la superficie del concreto. Para ello se pasan longitudinalmente, dos o tres veces de ser necesario, dichas herramientas, tratando de impregnar perfectamente la resina. Para realizar el

junteo o traslape de estos laminados en dirección longitudinal, es necesario realizar un traslape de longitud mínima de 10 cm cuando menos; para la dirección lateral no es necesario efectuar ningún traslape.

- De no ser necesaria ninguna corrección del laminado debida a alguna dislocación, el laminado deberá dejarse reposar al menos 30 minutos; dicha corrección se realizara presionando hacia abajo, o utilizando un rodillo, o una espátula.
- Se procede a aplicar una segunda capa de resina y siguiendo los pasos anteriores (Tabla 4. 7).
- En caso de requerir más de un laminado se repetirá el proceso a partir del cuarto punto.

Tabla 4. 7 Propiedades de la resina, en función de la temperatura y superficie de aplicación.

TIPO	ALTO GRADO DE PENETRACIÓN	STANDARD	INVIERNO
Temperatura de aplicación, ºC	5 - 25	15 - 35	5 - 15
Tiempo de vida por bote, minutos			
@ 30 ºC		40	
@ 20 ºC	40	110	20
@ 10 ºC			50
Tiempo de aplicación, horas			
@ 30 ºC		7	
@ 20 ºC	10	12	7
@ 10 ºC			12
Porción de mezclado por peso			
(Resina: Hardener)	2 : 1	2 : 1	2 : 1
Viscosidad, eps	20000	20000	10000

- CONTROL DE CALIDAD E INSPECCION.

- Después de la colocación de los laminados, se procede a efectuar una inspección. Para evaluar la calidad de la aplicación, se efectúa pruebas a tensión, así como una prueba de la composición de la resina (pruebas de viscosidad).
- Se elabora un reporte de supervisión.

- La frecuencia de prueba será una prueba de tensión por cada 2000m² o una por cada aplicación efectuada. De cualquier forma si el volumen de laminados es menor que 500m², la inspección puede ser pasada por alto.

- CONTROL EN EL PROCESO DE OBRA. Un inspector certificado deberá verificar en el sitio todos los aspectos de la calidad del material como su aplicación, incluyendo la preparación de la superficie, el correcto mezclado de la resina, la aplicación del "primer", resina y laminados, el curado del compuesto y la aplicación de las capas protectoras.

- PROTECCION. Para protección contra la lluvia, arena, polvo, etc., deberá utilizarse capas protectoras u otras barreras, como plásticos, lonas etc.

  - Después de complementar la secuencia de colocado de laminados, el trabajo deberá protegerse contra la lluvia utilizando hojas plásticas. Se evitara que las hojas protectoras entren en contacto con la superficie del laminado de fibras de carbono.
  - El curado de los laminados de fibras de carbono no deberá ser menor que 24 horas.
  - Los siguientes tiempos de curado son los que requieren para alcanzar su resistencia máxima del laminado:

    - Dos semanas de curado a una temperatura de 10ºC promedio.
    - Una semana de curado a una temperatura de 20ºC promedio.

- CUBIERTA FINAL. La cubierta final de los laminados deberá ser aplicada encima de estos, los laminados de fibras de carbono tienen la virtud de que por sí mismos son capaces de prevenir su deterioro de la resina mediante la interrupción de los rayos ultravioleta. De cualquier forma, es preferible aplicar una capa de pintura resistente al medio ambiente; en los casos en que la superficie de concreto se

encuentre expuesta directamente a los rayos solares se recomienda aplicar un sistema de pintura a base de uretano.

La colocación de la pintura podrá hacerse después del tiempo de acuerdo a la resina. La aplicación de la cubierta final deberá completarse de acuerdo, con las especificaciones para cada tipo de pintura.

- CONTROL DE CALIDAD DEL MATERIAL

  - Deberá llevarse a cabo una inspección con el objetivo de verificar la calidad de los materiales con respecto a pruebas a tensión a los elementos laminados de fibras de carbono, así como un aprueba de la consistencia de la resina como son las pruebas de viscosidad y duración de vida del lote de resinas.
  - Deberá prepararse un reporte sobre el punto anterior.
  - La frecuencia de inspección será de una por cada 2,000 m², o una por cada aplicación. De cualquier forma si l aplicación de la fibras de carbono es menor que 5,000 m², puede desistirse de hacerla.

- CONTROL DE CALIDAD EN EL PROCESO. Un inspector certificado verificara todos los aspectos de aplicación y preparación del material, incluyendo la preparación de la superficie, los componentes del mezclado de la resina, la aplicación del "primer", resina, y laminados, el curado del compuesto y la aplicación de cubiertas protectoras.

- INSPECCION PARA EVITAR DELAMINACIONES. Se permite que hasta 24 horas antes que cure la capa inicial de resina, se pueda llevar a cabo la inspección por un inspector certificado, quien llevara a cabo pruebas visuales y acústicas de la superficie de las capas del laminado. Las delaminaciones extensas deberán ser marcadas parad su preparación. Para delaminaciones pequeñas, menores que 13 cm², no se necesitaran de algún método correctivo.

- PRUEBAS DEL MATERIAL

  - Prueba a tensión: El inspector certificado será responsable de que los ensayos de los laminados y la resinas sean aprobadas en laboratorio, donde se fabrican y probaran especímenes para pruebas a tensión.
  - Prueba de adherencia: El inspector certificado será el responsable de conducir las pruebas de adherencia de los laminados totalmente curados.

- REPORTE. El inspector deberá elaborar un reporte para el ingeniero de proyecto:

  - Deberá tenerse el mayor cuidado en cuanto a la utilización de la herramienta adecuada.
  - Deberá proveerse de los andamios necesarios para el acceso de la estructura que pretende ser forzada, así como la indumentaria adecuada, tal como gogles o lentes, guantes, cinturones de seguridad, máscaras, etc.; todo ello dependiendo del tipo de trabajo.
  - En el caso de utilizar solventes orgánicos, deberán evitarse posibles inhalaciones.
  - En el caso de que el "primer", la resina o pintura hagan contacto con la piel, deberán removerse con agua y jabón. Si alguno de estos mismos elementos hacen contacto con los ojos, deberá ser removido con tan pronto como sea posible lavándolos con grandes volúmenes de agua. Deberá consultarse inmediatamente con el personal médico en el sitio (Figura 4.12).
  - Deberá existir un sistema de comunicación eficiente, tal que garantice, de ser necesario ayuda médica de urgencia en el sitio de trabajo, así como la localización previa de los hospitales más cercanos (King, 2000).



Figura 4. 12 Colocación de laminados de fibra de carbono.

4.2.4.5 REFUERZO EN COLUMNAS

Las columnas de concreto armado pueden ser reforzadas con fibras compuestas de alta resistencia. Estas son usualmente fibras de carbono. La superficie de concreto viejo debe tener una superficie plana sin concreto dañado, la cual se logra erosionando con chorro de arena la superficie y luego con aire comprimido.

Se debe de tener cuidado de no dejar aire atrapado en el momento de la instalación. Además, se debe aplicar el puente de adherencia, adhesivo de base epóxica en la superficie de concreto y las fibras de carbono deben ser embebidas en resina epóxica antes de ser colocada alrededor de la columna donde se formara un sólido encamisado después del curado.

Las columnas cuadradas y circulares (Figura 4.13) son particularmente adecuadas para este método, además, debido a que tienen la ventaja de que no necesita soldadura (Oviedo, 2004).

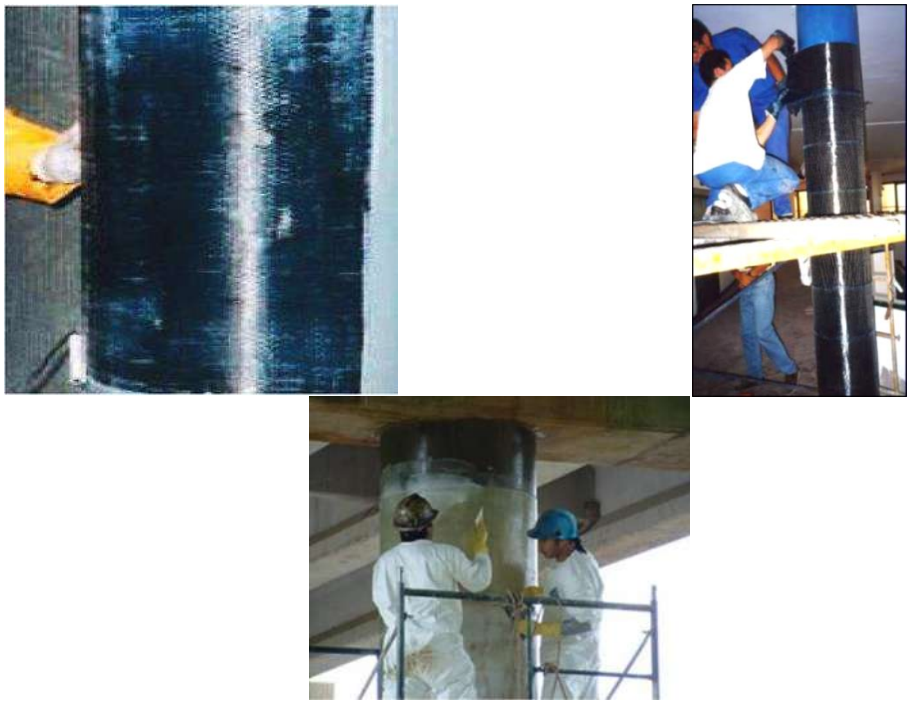


Figura 4. 13 Refuerzo en columnas con fibras de carbono.

4.2.4.6 REFUERZO EN VIGAS

El refuerzo de una viga mediante armadura de tracción adicional encolada puede efectuarse utilizando bandas de materiales compuestos de fibra de carbono en lugar de bandas de acero. Para ello pueden utilizarse tanto laminados preconformados como tejido impregnado "in situ". En principio, esta última alternativa es preferible cuando la superficie de contacto es suficientemente amplia o cuando la misma presenta cierta irregularidad. Conceptualmente los refuerzos con bandas de acero y con fibra de carbono son muy similares. En todo caso, conviene hacer ciertas precisiones al respecto:

- En el análisis de las secciones críticas, además de comprobar el no aplastamiento de la cabeza de compresión y su debida ductilidad, es necesario comprobar que la banda de carbono de refuerzo puede alcanzar la tensión requerida de modo compatible con la armadura de tracción original y dentro de los dominios de deformación prescritos por la normativa. En este sentido es importante recordar el comportamiento elástico-lineal (sin reserva plástica y con rotura frágil) que

presentan los materiales compuestos. En tales condiciones resulta fundamental un análisis a nivel de sección capaz de considerar las tensiones y deformaciones iniciales de la sección original en el instante del refuerzo.

La considerable rigidez y resistencia de los materiales compuestos de fibra de carbono pueden hacer críticos los problemas de arrancamiento de la banda de acero. En todo caso, las siguientes recomendaciones de ejecución son básicas para evitar este tipo de problemas:

- El concreto original debe tener una resistencia característica mínima de 170 ó 200 kg/cm^2.
- En caso de deterioro del concreto original, el mismo deberá ser previamente saneado y reparado.
- En caso de fisuración excesiva (ancho de fisura superior a 0.25 mm), se deberá proceder a la inyección de las fisuras a fin de evitar el despegue de la banda sobre ellas.
- La superficie de concreto original debe nivelarse de acuerdo con las especificaciones del refuerzo, utilizándose para ello masillas niveladoras epoxi.
- Es conveniente imprimar la superficie de contacto con una resina epoxi fluida, incrementándose así la resistencia superficial del concreto original.

En otro orden de cosas, resulta fundamental insistir en la prácticamente nula resistencia a fuego de este tipo de refuerzos. Y es que, a diferencia de los refuerzos mediante bandas de acero encoladas, el problema no radica sólo en el mal comportamiento del adhesivo, sino que es la propia banda de refuerzo la que pierde su capacidad resistente a temperaturas muy bajas en términos de incendio. En caso de que el refuerzo sea estrictamente necesario en caso de incendio, todo el conjunto debe protegerse adecuadamente mediante paneles o recubrimientos ignífugos (Figura 4.14). En la se aprecian diversas intervenciones de refuerzo a flexión positiva y negativa mediante laminados o tejido de fibra de carbono (Del Río, 2009).



Figura 4. 14 Vigas reforzadas mediante fibras de carbono.

4.2.4.7 REFUERZO EN LOSAS

El refuerzo de una losa o un forjado mediante la adhesión externa de armadura de tracción adicional puede llevarse a cabo en vez de con bandas de acero, con bandas de fibra de carbono. De hecho, la mayor ligereza y facilidad de montaje de los refuerzos con fibra de carbono hace que este último sistema vaya progresivamente imponiéndose.

Para el refuerzo de una losa a flexión positiva o negativa pueden utilizarse tanto laminados preconformados (Figura 4. 15), como tejido impregnado “in situ” (Figura 4. 16). Este último es recomendable en caso de superficies con cierta irregularidad o en el caso de forjados reticulares, dada su mayor adaptabilidad.



Figura 4. 15 Refuerzo de losas mediante laminados de fibra de carbono.



Figura 4. 16 Refuerzo de losas mediante tejido de fibra de carbono.

Las siguientes recomendaciones son importantes al respecto:

- El concreto original debe tener una resistencia característica mínima de 170 ó 200 kg/cm^2.
- No debe aplicarse este tipo de refuerzos sobre soportes deteriorados o con fisuras importantes. (En tal caso es necesario reparar o sellar las fisuras previamente).
- La superficie de concreto original debe nivelarse de acuerdo con las especificaciones del refuerzo, utilizándose para ello masillas niveladoras epoxi.
- Es conveniente imprimar la superficie de contacto con una resina epoxi fluida, incrementándose así la resistencia superficial del concreto original (Del Río, 2009).

4.3 ENCAMISADOS

El encamisado es el proceso por el cual una sección de un elemento estructural existente es restablecido a sus dimensiones originales o incrementado en su tamaño por encajonamiento en nuevo cemento Portland o concreto de cemento Portland modificado con polímeros. Se construye una caja de acero de refuerzo alrededor de la sección dañada, sobre la cual se coloca concreto lanzado o colado en su lugar (IMCYC, 1999).

Los pioneros de esta técnica se ubicaron simultáneamente en Francia y Sudáfrica en los años 1960s, y en un principio utilizaban placas de acero templado que aun en la actualidad están es uso (King, 2000).

Los collares son camisas que encierran sólo una parte de la columna o pilar, y se usan para proporcionar apoyo incrementado a la losa o viga en la parte superior de la columna.

El molde para la camisa puede ser temporal o permanente y puede consistir de madera, metal corrugado, concreto premoldeado, hule, fibra de vidrio, o una tela especial, dependiendo del propósito y la exposición. El molde de la camisa se coloca alrededor de la sección a repararse, creando un vacío anular entre la camisa y la superficie del elemento existente. El molde debe tener espaciadores para asegurar un claro igual entre él y el elemento existente (Figura 4. 17).





Figura 4. 17 Diferentes tipos de moldes para encamisados de columnas y pilas.

Como materiales de recubrimiento se ha usado gran variedad de materiales, incluyendo concreto y mortero convencionales, mortero epóxico, lechadas, además de mortero y concreto modificados con látex. Las técnicas para rellenar las camisas incluyen bombeo, tubo-embudo, o concreto con agregado precolado (IMCYC, 1999).

En muchos casos, las columnas son encajonadas en un encamisado de acero. El cual es de aproximadamente 5 mm de espesor, el mismo que debe ser soldado longitudinalmente en el sitio. El espacio de 2 a 3 cm que queda entre el concreto y el encamisetado de acero es rellenado con grout de alta resistencia (Oviedo, 2004).

La utilización de esta técnica aunada a pruebas complementarias de la resina epóxica que funge como agente adhesivo, permite a la estructura:

- Reducir la deflexión y por lo tanto reducir la fisuración.
- Incrementar la capacidad de carga.
- Incrementar la resistencia a la flexión.
- En ciertos casos mejorar la resistencia a cortante (King, 2000).

Este tipo de reforzamiento con placas de acero es utilizado para reforzar o reparar columnas mientras los ambientes están en uso, debido a que el trabajo causa menos ruido y desperdicios. No deben ser usados en situaciones de temperaturas elevadas, mayores a 55°C (Oviedo, 2004).

Tanto las camisas como los collares requieren que todo el concreto deteriorado sea removido, las grietas reparadas, y el refuerzo existente limpiado y las superficies reparadas. Se requiere esta preparación para que el nuevo material colocado se adhiera a la estructura existente. Puesto que las camisas con frecuencia están bajo el agua, tal preparación es cara y difícil. Sin embargo, la aplicabilidad de las camisas y collares está ampliamente extendida, además de ser rentable, en especial si la alternativa es el reemplazo de la estructura soportada por el elemento deteriorado.

Las camisas y los collares ocupan el espacio disponible para otros usos antes de la reparación (IMCYC, 1999).

Constructivamente, el refuerzo mediante perfiles metálicos presenta menos dificultades que el incremento de sección con concreto. Por ello, los costos de los refuerzos mediante perfiles son generalmente inferiores a los realizados mediante el incremento de sección con concreto con refuerzo. Sin embargo, el diferente comportamiento del material original y el de refuerzo puede generar problemas de compatibilidad. Asimismo, la transferencia de esfuerzos al refuerzo está necesariamente más concentrada y puede plantear problemas que reduzcan la eficacia del sistema o compliquen gravemente su ejecución. De hecho, en general la transferencia tangencial de esfuerzos por adherencia y rozamiento es insuficiente para hacer entrar en carga este tipo de refuerzos, siendo normalmente necesario disponer anclajes de tipo mecánico o conectar directamente los nuevos perfiles metálicos a los nudos o a elementos estructurales inmediatos a través de piezas específicas (capiteles, collarines, etc.). En términos de resistencia al fuego, este sistema presenta un comportamiento que podría calificarse como "intermedio". De una parte, puede ser necesaria la protección ignífuga de los perfiles de acero, como si de una estructura metálica se tratase. De otra parte, al utilizarse frecuentemente anclajes mecánicos, éstos no son tan vulnerables como los adhesivos. Mención aparte merece el caso de refuerzos mediante perfiles encolados con resina epoxi que son extremadamente vulnerables. Tal es el caso de soportes reforzados mediante angulares empresillados usando resina epoxi en la junta entre el soporte original y los perfiles de refuerzo (Del Río, 2009).

4.3.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DEL DISEÑO DE LAS PLACAS DE ACERO

El concepto fundamental es que el adhesivo liga la placa de acero a la estructura por reforzar para que actúe como una sección compuesta y permita de esta forma la trasmisión de cargas. El principio de superposición deberá ser aplicado para determinar los esfuerzos finales que deben ser revisados contra los límites de servicio. También se deberá revisar y

calcular el momento ultimo de resistencia de la sección reforzada y se deberá garantizar que la sección no quede sobre-reforzada.

- DISEÑO DE PLACAS DE REFUERZO. Las placas tendrán como mínimo 6mm de espesor y 360mm de ancho. Quedando el largo a criterio del fabricante y de la capacidad y recursos constructivos con los que se cuenten. Estas placas contaran además con hileras de agujeros para colocar pernos, espaciados a cada 100mm de centro a centro.

- DISEÑO DE PERNOS. En este tipo de refuerzo se ha descubierto que las concentraciones de esfuerzos de cortante y los desprendimientos ocurren en las orillas de las placas, razón por la cual se requieren pernos de anclaje para que resistan al menos tres veces el esfuerzo cortante longitudinal.

  No existe guía alguna para el diseño de estos pernos, sin embargo la literatura proporcionada por los fabricantes de estos mismos dan información confiable sobre las cargas a tensión y a cortante. De hecho no existe una recomendación disponible acerca del diámetro del agujero en la placa que garantice la transferencia de esfuerzos cortantes de la placa a los pernos. Existe mucha incertidumbre acerca del comportamiento de la conexión placa-perno.

- ADHESIVO. PRUEBAS Y PROPIEDADES. Como ya se ha mencionado el adhesivo es la "clave" del éxito de la técnica del refuerzo con placas de acero adheridas, ya que permite la transferencia de esfuerzos al nuevo refuerzo colocado. Se han centrado en esta área diversos desarrollos e investigaciones y se ha encontrado que los adhesivos de resinas epóxicas, son los más apropiados para efectuar la correcta liga entre el material base y el refuerzo. Uno de los factores que pueden afectar el trabajo de liga del refuerzo es la humedad, ya que algunas resinas epóxicas tienen altos índices de absorción de esta. En este sentido, la absorción de agua es un factor que afecta a largo plazo el comportamiento y durabilidad del adhesivo, muy especialmente el factor de desplazamiento; la humedad crea un

ambiente propicio para el desarrollo de la corrosión. Relacionado con este efecto; diversas investigaciones han demostrado a que el adhesivo thixotropico, con altos porcentajes de poliamidas tiene una buena resistencia a la absorción a la humedad.

Por otra parte, conviene realizar pruebas para medir las características de propagación de fisuras y al mismo tiempo descubrir debilidades en la liga, causadas por la corrosión. Con los resultados de las pruebas se pueden no tan solo revisar que el adhesivo absorba bajas cantidades de humedad, sino también diseñar una protección con un alto rendimiento contra la corrosión del acero. Esta protección se logra incorporando un "primer" epóxico como parte de la protección del sistema.

Algunos requerimientos para los adhesivos utilizados en el refuerzo de puentes en el Reino Unido son:

- Tener dos componentes de diferente color para facilitar el correcto mezclado del adhesivo.
- Tener una mezcla consistente para expandirla horizontal y verticalmente en toda la superficie.
- Poder aplicar de 1 a 10mm las capas de espesor que permitan corregir irregularidades en la superficie del concreto.
- Tener una fecha de caducidad por bote de adhesivo.
- Curado entre 10º C. y 30º C.
- Tener la mínima contracción en el curado.
- Adherir correctamente el acero al concreto.
- Ser tan resistente como el concreto en lo que se refiere al esfuerzo cortante: tendrá que tener una resistencia al esfuerzo cortante más grande que 8 N/mm^2 incluyendo el factor de seguridad.
- Ser lo suficientemente rígidos para no presentar deslizamientos significativos bajo cargas sostenidas; también ser lo suficientemente flexibles para que no pueda originarse concentraciones de esfuerzos debido a desplazamientos en la

orilla de las placas. La magnitud del módulo de flexión deberá estar entre 2 y 8 GN/m².

- Tener una durabilidad a largo plazo así como una resistencia a la humedad, durante el servicio deberá tener una vida útil de 30 años para las aplicaciones de reparación y refuerzo (King, 2000)

4.3.2 MODO DE EMPLEO

Las técnicas de moldeado y la decisión de usar moldes permanentes o temporales son detalles importantes en el encamisado. Pueden utilizarse moldes de madera o de cartón duro como moldes temporales o permanentes. Los moldes de acero corrugado son fáciles de ensamblar y adecuados para moldes temporales o permanentes. Los moldes permanentes de fibra de vidrio, hule y tela han ganado amplia aceptación, pues proporcionan resistencia permanente al ataque químico después de que se ha completado la reparación (IMCYC, 1999).

- PREPARACION DE SUPERFICIE POR REFORZAR. El éxito de esta técnica no tan solo recae en lo mencionado anterior, sino también en la correcta supervisión de la colocación de las placas y en la destreza del equipo de trabajo. De cualquier forma, para poder llevar a cabo una exitosa puesta en operación, se recomienda que especialistas con experiencia puedan supervisar exhaustivamente la correcta colocación de las placas de acero sobre la estructura, de manera que esta y el refuerzo trabajen como una sola unidad.

  En el campo de la ingeniería civil, esta técnica es más utilizada para rehabilitar estructuras de concreto por medio de la unión de placas de acero a superficies que están sujetas a esfuerzos de tensión o expuestas a grandes esfuerzos de cortante. En este sentido es necesario garantizar no solo que se sigan al pie de la letra las recomendaciones sugeridas anteriormente, sino que se tenga una buena preparación del material base que será reforzado.

- SUPERFICIES DE ACERO. Deberá asegurarse de la completa remoción de óxido, polvo, suciedad etc. Esta se realiza por medio de un chiflón o chorro de arena. Existen otros métodos de abrasión mecánica, tales como la utilización de cepillos de metal o esmeril, sin embargo, estas herramientas no son aceptadas, ya que tienden a pulir las capas de óxido en vez de removerlas.

  Para poder prevenir la reoxidación de la superficie esta debe ser cubierta primero con un "primer" o primario, las placas deberán desgrasarse en caso de que existan aceites o grasas y aspirarse para remover cualquier partícula de polvo.

  El "primer" deberá ser aplicado hasta lograr una película seca de un espesor aproximado de entre 50 y 75 micras, y deberá dejarse reposar completamente. En los procesos subsecuentes, los operadores deberán manejar las placas con guantes, además de que tendrán una cubierta protectora para su transportación, esto es necesario para no afectar las características del material en el momento de instalarse en el sitio.

- SUPERFICIES DE CONCRETO. La superficie de concreto deberá ser limpiado de cualquier materia contaminante como residuos de cemento, materia orgánica, aceite, mugre etc. Este tipo de limpieza también puede realizarse mediante chorros de arena.

  En la inspección previa a la instalación de las placas se determinara que área se encuentran dañadas o con oquedades excesivas y se definirá cuáles de estas requieren una preparación o reparación adicional. Este tipo de reparaciones incluye la inyección de fisuras y rellenos con mortero de alta resistencia.

  Inmediatamente después de la aplicación del adhesivo-thixotropico, la superficie del concreto se aspira para remover cualquier partícula de polvo.

- APLICACIÓN DEL ADHESIVO. Existen 2 métodos de aplicación: el de "inyección" y el "esparcido". El método de esparcido es el que mayor aceptación ha tenido en Europa, ya que ha sido utilizado y probado a lo largo de un periodo bastante grande y se ha observado que es fácil de colocar reduciendo considerablemente errores en su aplicación. El de inyección consiste en aplicar el adhesivo entre la superficie y las placas, ya colocadas con anterioridad mediante pernos. Sin embargo este método no ha mostrado ser eficiente en cuanto a la colocación uniforme del adhesivo, independientemente de lo complicado que es su aplicación en el campo.

  Después de realizar una mezcla satisfactoria de los componentes, el adhesivo está listo para poderse aplicar a la superficies de acero a concreto. Esta aplicación, normalmente consiste de aproximadamente 1mm de espesor en las placas de acero y 2mm de espesor en el concreto.

  Durante la operación del pegado, el operador deberá asegurarse del completo contacto del adhesivo a la superficie que pretende ligar. Una vez pegada la placa se asegura con remaches o pernos adicionales. La utilización de estos objetos responde a la necesidad de resistir las fuerzas de deslizamiento en la terminación de las placas (juntas). El tiempo de curado resulta variable, una vez curado el adhesivo los esfuerzos se transferirán a las placas de acero de refuerzo.

Una vez instalado el refuerzo, se recomienda efectuar pruebas para asegurarse del correcto trabajo de los operadores. Este tipo de pruebas es recomendable realizarlas en laboratorios independientes, para garantizar que la superficie requerida de mezcla, aplicación y desempeño sean las correctas.

Por otro lado también es recomendable proteger las partes de refuerzo que queden expuestas a la intemperie, esto para evitar la corrosión. Esta protección puede ser cubierta por algún compuesto químico que incluso pudiese servir para darle un acabado estético al refuerzo.

- CONTROL DE CALIDAD. Para estos trabajos resultan imprescindibles definir los detalles para diferentes procedimientos de prueba y así garantizar la correcta colocación de las placas de acero y que el epóxico esté funcionando. En este sentido se hace necesario monitorear y realizar pruebas a este refuerzo por diferentes laboratorios. De igual manera es necesario proteger las láminas de acero del medio ambiente (Figura 4.18 y Figura 4.19). De hecho existen pinturas que protegen a estas placas de refuerzo y además propician una apariencia estética aceptable (King, 2000).



Figura 4. 18 Técnica de encamisado en columnas y pilas.

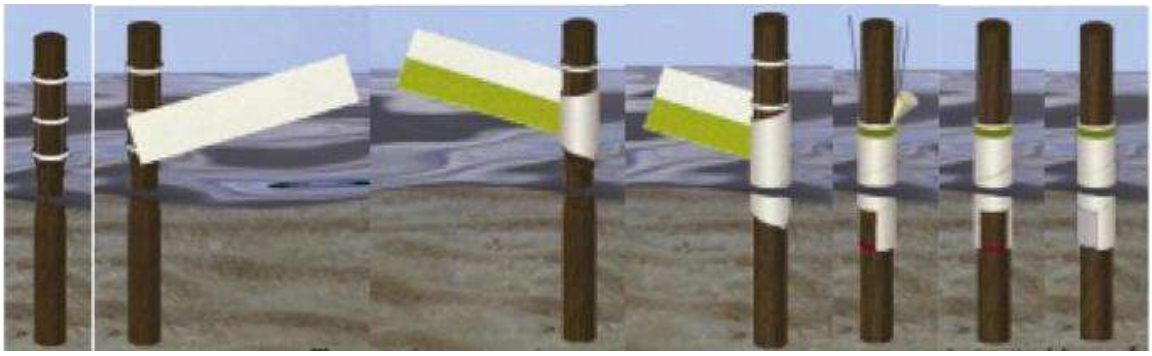


Figura 4. 19 Técnica de encamisado en pilas de madera sumergidas en agua.

4.3.3 ENCAMISADO DE TRABES

Otra alternativa para incrementar la resistencia de las trabes es mediante su encamisado con elementos de concreto o placas de acero. El criterio que se sigue en estos casos es considerar que la resistencia del elemento nuevo la proporciona el acero de la

camisa y los esfuerzos de compresión se dejan al elemento existente. El procedimiento constructivo puede ser una desventaja en algunos casos. Esta alternativa es la menos utilizada en México, quizá por la desconfianza en la participación conjunta entre un elemento existente con baja capacidad y la camisa nueva, además de que el procedimiento constructivo es más lento y puede presentar algunas complicaciones durante el proceso de colado y cimbrado de los elementos. Otro problema, cuando se emplean placas de acero, se presenta cuando se colocan los conectores de las placas a los elementos de concreto del elemento existente, debido al espacio reducido entre las varillas de refuerzo de las nervaduras, dificultando el proceso de perforación de agujeros para los conectores (Jara y Jara, 2010).

Antes de colocar el puente de adherencia la superficie debe de limpiarse con aire comprimido o acetona y debe estar seca. Las planchas de acero deben ser preparadas con chorro de arena o lijamiento metálico y deben ser limpiadas y secadas con chorro de aire comprimido. Las planchas son fijadas a la viga con tornillos y tuercas, los cuales son embebidos en la viga con expansor de anclaje de base poliéster. Este tipo de reforzamiento no debe ser utilizado en temperaturas muy elevadas.

La aplicación del acero requiere solo una pequeña cantidad de perforaciones para el anclaje en la viga existente, lo cual es una ventaja (Figura 4.20), debido a que usualmente estas tienen las varillas de acero muy juntas (Oviedo, 2004).

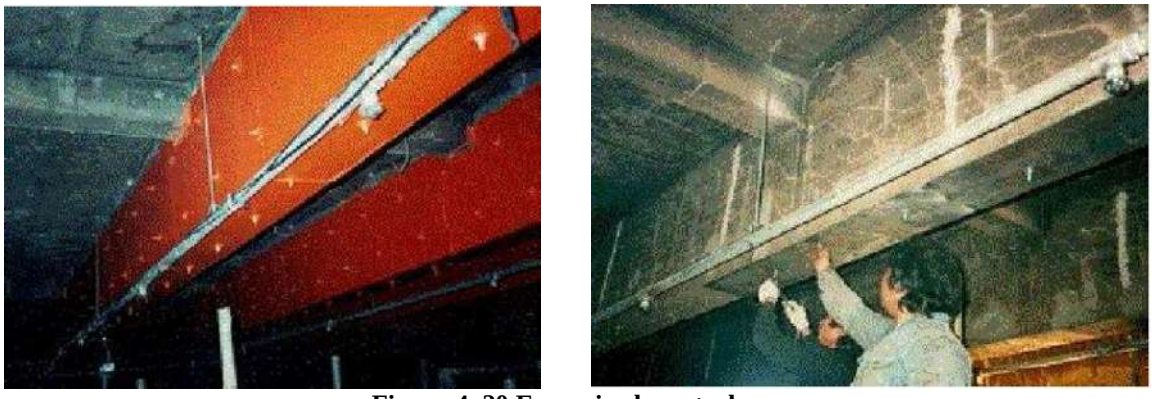


Figura 4. 20 Encamisado en trabes.

4.4 TORONES EXTERNOS

Esta técnica es la que más se ha empleado en las puentes carreteros de México; el presfuerzo puede ser aparente, cuando se coloca en las partes exteriores de la superestructura, o no visible cuando se coloca en las partes interiores de la misma, como ocurre en las secciones cajón. Tanto en los puentes de acero como en los de concreto, el presfuerzo se aplica mediante la acción de una fuerza de compresión de los patines o zonas de tensión de la estructura, que produce en ella un momento flexionante adicional. Esta fuerza de compresión se aplica por medio de torones o barras de acero de alta resistencia o de fibras de carbono, vidrio o arámidas embebidas en resinas poliméricas (Figura 4.21). Se calcula la longitud de la fuerza de compresión aplicada así como el material y tamaño de dichos torones, o barras de alta resistencia (King, 2000).

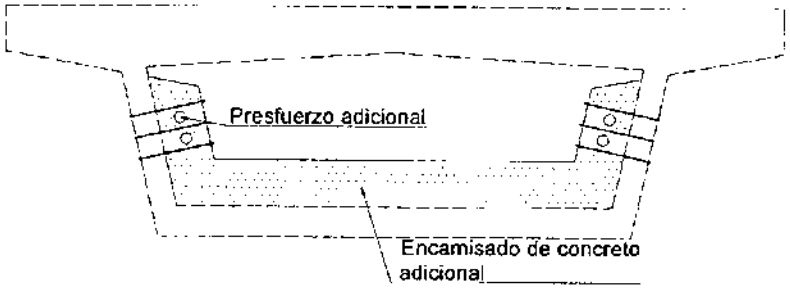


Figura 4. 21 Refuerzo mediante presfuerzo adicional en una sección cajón.

El refuerzo de estructuras de hormigón mediante la disposición exterior de armadura adicional (generalmente en la cara de tracción) se inicia a partir de 1960 coincidiendo con el desarrollo de los adhesivos epoxi (Del Río, 2009).

Las trabes y las losas pueden reforzarse tanto en flexión como en cortante, por la adición de cables externos, varillas o pernos que son presforzados. Los torones pueden ser rectos o curvos (IMCYC, 1999).

Para incrementar la resistencia de trabes ante cargas permanentes y accidentales ha sido frecuente utilizar presfuerzo externo que aumenta la capacidad de estos elementos ante nuevas condiciones de cargas vivas y/o efectos sísmicos. El trazo de los cables

depende de los elementos mecánicos obtenidos bajo las nuevas condiciones de carga, así como de la calidad existente de los materiales. Si los tramos del puente son simplemente apoyados se suele colocar anclajes en cada claro y en caso contrario se colocan anclajes ligando varias crujías de la estructura (Figura 4. 22).



Figura 4. 22 Refuerzo de puentes por medio del presfuerzo externo.

El reforzamiento o reparación correctiva de vigas de concreto armado puede ser llevado a cabo utilizando un pretensado longitudinal o transversal (Oviedo, 2004). Hay dos configuraciones para la colocación del presfuerzo:

- LONGITUDINAL. El pretensado longitudinal es usualmente utilizado en los elementos de la parte exterior de la estructura. Esto elimina el costoso trabajo de instalación de un tensionado en la parte interna (Oviedo, 2004). Los cables se colocan longitudinalmente para soportar el exceso de momento flexionante y fuerza cortante que transmiten las cargas nuevas con respecto a las cargas de diseño originales (Figura 4. 23).



Figura 4. 23 Colocación de presfuerzo en sentido longitudinal.

- TRANSVERSAL. El tensionado transversal de vigas de concreto armado conlleva a una gran cantidad de perforaciones debido al gran número de estribos a ser tensionados (Oviedo, 2004). También se colocan cables transversales al puente para reforzar los diafragmas extremos e intermedios, en especial donde se colocan los dispositivos desviadores que se agregan para modificar la orientación de los cables de presfuerzo longitudinales. Un uso adicional del presfuerzo exterior se encuentra en los cables que se colocan en los extremos de las trabes, como refuerzo vertical local para incrementar la resistencia a tensión diagonal de las nervaduras (Figura 4. 24).



Figura 4. 24 Colocación de presfuerzo en sentido transversal.

Las medidas de protección contra la corrosión deben ser muy cuidadosas en los elementos postensores, ya que de ellos depende el reforzamiento (Oviedo, 2004).

Este es uno de los sistemas más empleados en México y por ello se cuenta con una amplia experiencia e industrialización de la construcción que asegura una buena calidad de ejecución. El sistema es rápido de colocar y es una solución limpia que permite incrementar la capacidad del sistema en un amplio intervalo de valores, pues se puede modificar la fuerza de tensado variando el número y diámetro de los cables de presfuerzo así como su excentricidad, para lograr el incremento de momento flexionante necesario. Aunque el sistema requiere poco mantenimiento es importante verificar su estado durante las inspecciones rutinarias pues se han llegado a romper los cables después de sufrir agrietamientos en los ductos de conducción y corrosión en el presfuerzo. Por ello, es recomendable darles protección en ambientes agresivos. En el caso de trabes existentes con baja resistencia o daño previo, este sistema puede ser una solución inadecuada por el incremento importante de la carga axial en los elementos durante la aplicación del presfuerzo (Jara y Jara, 2010).

Algunas limitaciones de este tipo de técnica es la colocación y el esforzado con torones y varillas de presfuerzo con frecuencia se dificulta en construcciones congestionadas y en localizaciones interiores. Si resulta imposible o laborioso el posicionamiento de gatos hidráulicos, pueden usarse torniquetes o tuercas en las varillas apara tensar el acero.

Quizá no sea posible el cierre de las grietas, debido a que el escombro con frecuencia se acumula en la grieta abierta. A medida que continúa el esforzamiento, los agregados que ya están en contacto mantienen abierta la grieta. Puede ser necesario la limpieza y el relleno de la grieta con epoxia u otro material apropiado antes del presfuerzo.

Es imperativo proporcionar anclaje adecuado de los tendones aun cuando sea difícil. Es mejor el uso de emparrillados de acero en la parte alejada de las columnas y en los extremos de las vigas debido a que el anclaje usa fuerzas de apoyo, y porque permiten esforzar la longitud total de un elemento, incluyendo las conexiones extremas. Las anclas laterales con pernos o adheridas pueden ser un anclaje alternativo. Las anclas deben

diseñarse para las fuerzas excéntricas, y verificarse la porción de los elementos de concreto más allá de las anclas para asegurarse de su resistencia.

En marcos determinados, el postensionado induce cortante y momentos secundarios que pueden ser considerados cuando se plante la reparación. Además los nuevos torones postensionados expuestos serán visibles y de mal aspecto. Los torones pueden ocultarse en el concreto por medio de revestimiento (IMCYC, 1999).

4.4.1 MODO DE EMPLEO

Una vez definidos el valor y la configuración del presfuerzo, se procede a instalarlo en la superestructura del puente y dependiendo si este es de concepción antigua y por ende no admite cables o fuerzas adicionales, se procede a la colocación de anclajes.

- LOS ANCLAJES. La función de estos dispositivos es la de evitar el deslizamiento de los cables de presfuerzo, con el fin de mantener la tensión o fuerza de los mismos a lo largo de la vida útil del presfuerzo.

  - Anclajes con extremos de los tableros o superestructuras: esta técnica consiste en construir los extremos del tablero vigas o bloques trasversales de gran masa destinadas a recibir el anclaje de los cables, así se reparte el esfuerzo adicional en la estructura. Sin embargo, la realización de los trabajos de construcción obliga a la destrucción de parte del estribo, además de interrumpir la circulación de tránsito, lo que puede constituir una molestia difícilmente tolerable (Figura 4. 25).

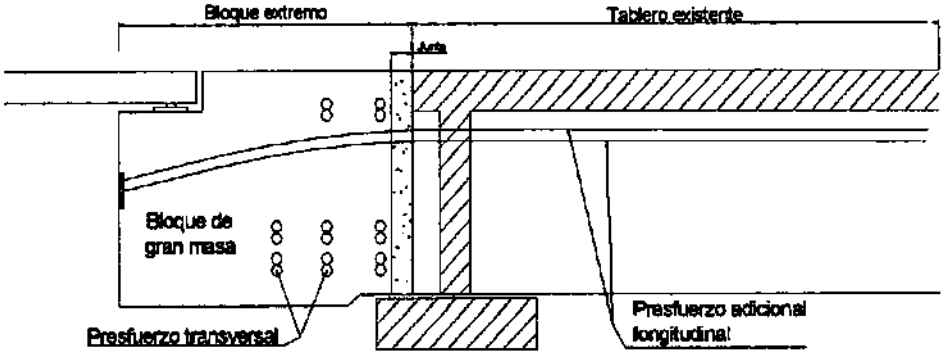


Figura 4. 25 Anclaje en el extremo del tablero.

- Anclajes por losas postizas. Esta técnica consiste en fijar sobre la estructura mediante presfuerzo transversal, una losa postiza de concreto o una plancha de acero, esta losa recibe los anclajes de los cables y permite transmitir los refuerzos del cable a la estructura (Figura 4. 26).

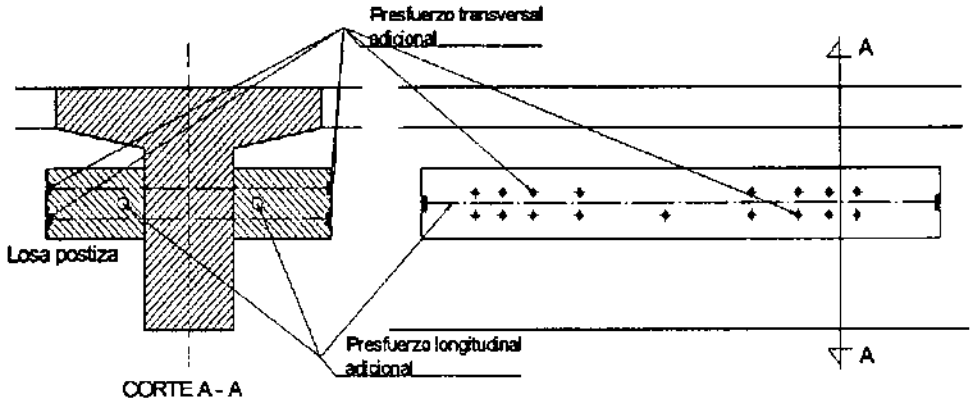


Figura 4. 26 Anclaje por losa postiza.

La operación de sujetar la losa postiza a la estructura existente es particularmente delicada. Los puntos que hay que vigilar son:

- El valor de la fuerza de sujeción; esta depende de la naturaleza del plano de fricción entre el postizo y la estructura. En el caso más favorable es decir, cuando el postizo se une, la relación entre la fuerza de sujeción y la fuerza longitudinal del anclaje debe estar entre 1.5 y 2. En el caso más crítico la sujeción de un postizo metálico puede llegar hasta cuatro.

- El valor efectivo de esta fuerza de sujeción; una vez puesto en tensión el presfuerzo transversal, mediante elementos muy cortos (del orden de un metro), sino se toman ciertas precauciones el valor de la fuerza puede bajar en 20% ó 30% se considera que para obtener la fuerza de sujeción deseada es necesario realizar 2 ó 3 tensados sucesivos, realizando el ultimo después de varios días para reducir la perdida de vida a la fluencia local del concreto bajo los anclajes.
- La perforación de la estructura existente; esta labor es necesaria para instalar las barras de sujeción. Con frecuencia se trabaja en zonas por donde ya existen cables de presfuerzo y cuya posición no se conoce con certeza. Por lo tanto, el medio más seguro de efectuar dicha perforación es realizar una exploración gammagráfica en las zonas para conocer la posición real de los cables de la estructura.
- Los efectos locales sobre la estructura existente; se introducen, por una parte, efectos de difusión y de arrastre debidos al presfuerzo de la estructura y , por otra parte, flexiones locales cuando no se colocan postizos en ambas partes del alma (el caso más frecuente). De tal suerte que deben verificarse estos efectos locales y prever dispositivos de refuerzo en el caso que fuera necesario.

- LOS DESVIADORES. Los esfuerzos a los que están sujetos estos dispositivos son mucho menores que los anclajes, así como las dificultades técnicas a las que están sujetos. Un detalle importante consistente en disponer en el desviador un tubo metálico rígido con una curvatura tal que permita el paso del cable y su canalización a través del desviador, asegurando el correcto reparto de las presiones del concreto. El desviador fijo como con los postizos de anclaje, se fija a la estructura existente una pieza de concreto o de acero que contenga el tubo para que pase el cable. Las precauciones que se deben tomar en esta operación de fijación son las mismas que con los postizos de anclaje, anqué los refuerzos para la sujeción son mucho más débiles.

Los codales adicionales, para no generar concentraciones de esfuerzos demasiado localizados es posible colocar codales adicionales dentro de las trabes de la sección cajón. Estos codales se unen a la estructura existente y contienen los tubos curvos para recibir cables adicionales.

- INYECCION DE FISURAS. El papel mecánico de las inyecciones es importante: se trata de restablecer el monolitismo del concreto de tal modo que las fuerzas de compresión que se quieren inducir en la fibra inferior, mediante el presfuerzo adicional, se puedan alcanzar desde el principio de la puesta en tensión. Si no se tiene esta precaución, una parte del presfuerzo adicional se pierde encerrar más o menos las fisuras que no hayan sido inyectadas correctamente, lo que no es útil una vez que ya se ha realizado el cierre de las mismas.

  El procedimiento habitual de inyección, consiste en cargar el tablero o superestructura para abrir las fisuras, se inyectan con resinas y después se polimerizan para finalmente descargar el tablero. Cuando se ejecuta bien esta operación al retirar la carga se induce una primera recompresión. La operación de la recompresión consiste en destensar los cables adicionales, en caso que los haya, cargar el puente, inyectar las juntas abiertas, descargar el puente y volver a poner en tensión los cables. Se ha podido comprobar que con este procedimiento se logra una eficiencia total del presfuerzo adicional.

- PROTECCION DE CABLES ADICIONALES. Para estos efectos se consideran diversas soluciones:

  - Cables galvanizados desnudos. Su inspección se puede hacer visualmente. Para su uso se sugiere prever la colación de varillas intermedias de sujeción al concreto. Esto aumentara la seguridad del personal durante los trabajos de inspección.
  - Ductos rellenos de un producto protector. Los ductos suelen ser de polietileno de alta densidad y se rellenan regularmente con un mortero o cemento clásico.

No obstante, en ocasiones se han utilizado grasas inyectadas en caliente (de 70 a 80ºC) las que no han sido del todo satisfactorias, ya que a mediano plazo se presentan derrames.

- Monotorones enfundados – protegidos. El empleo de estas protecciones tiene la ventaja de que se pueden tensar los torones uno a uno mediante un gato ligero. Sin embargo el disponer de gastos de gran tamaño en el interior de las estructuras puede resultar extremadamente difícil. Otra ventaja es que las pérdidas por rozamiento al poner en tensión el presfuerzo, son bajas, pero no hay que perder de vista una dificultad importante en las zonas de curvatura. En estas zonas las capas superiores de los monotorones se apoyan en las capas del interior de la curva y provocan desgarraduras inadmisibles de las fundas. Sin embargo, se han encontrado dos soluciones para este inconveniente:

  - Separar los monotorones a todo lo largo del trayecto pasándolos por tubos metálicos individuales cimbrados hacia los desviadores formando un haz con el conjunto de tubos.
  - Colocar los monotorones dentro de un conducto de polietileno de alta densidad; se inyecta el mortero de cemento en el vacío que queda entre los monotorones y el conducto, salvo en los anclajes. La puesta en tensión se realiza después de que ha fraguado el mortero, estando entonces cada torón definitivamente fijo en su lugar. (la protección se consigue por la inyección local de los anclajes).

- ENSAYOS DE VERIFICACION. Es importante asegurar que la colocación de presfuerzo adicional responda bien al objetivo señalado, además se debe verificar que no existan aberturas de juntas o grietas ya polimerizadas con el tránsito, ni con el gradiente térmico por otra parte los aceros de los tendones deben de pasar las pruebas normalizadas de baja susceptibilidad a la fragilización por hidrogeno y debe garantizarse la protección de estos tendones a la corrosión (Figura 4.27). Cabe mencionar que es recomendable llevar a cabo campañas periódicas de instrumentación de la obra habitualmente, ya que la comparación directa de los

resultados antes y después de la reparación permite conocer la eficacia del refuerzo (King, 2000).



Figura 4. 27 Puentes reforzados con presfuerzo exterior.

4.4.2 REFUERZO MEDIANTE POSTENSADO

Otro sistema de refuerzo consiste en introducir cables de postensado. En general, estos cables se disponen lateralmente a la viga original, con un trazado lo más aproximado a la ley de momentos. En determinados casos, puede procederse simplemente al atirantamiento de la viga mediante cables de directriz recta. Los cables se anclan a la viga original y a los soportes extremos mediante piezas especiales de acero. En la colocación de estas piezas, se debe extremar la precaución para no dañar la armadura existente. Una vez tensados los cables se debe proceder a la protección de los mismos con concreto. Como en todo elemento pos o pre-tensado, deben comprobarse las posibles pérdidas de tensión. Como se indicó para forjados, este sistema es muy efectivo, permite coser las fisuras existentes e incluso reducir las deformaciones existentes (Figura 4.28). Su costo es muy razonable, pero su aplicación puede quedar limitada por condicionantes de diseño, o por dificultades de anclaje (Del Río, 2009).



Figura 4. 28 Puentes reforzados con postensado exterior.

4.5 AISLADORES DE BASE Y MASAS RESONANTES

La búsqueda de medios para proporcionar suficiente resistencia a una estructura, y asegurar un comportamiento satisfactorio para diferentes niveles de intensidad sísmica, ha propiciado un desarrollo notable en los últimos veinte años del uso de los sistemas de control de vibraciones. El concepto general en el que se basan estos dispositivos, consiste en aumentar la capacidad del sistema para disipar energía y/o disminuir la demanda generada por la acción externa. Además, se reconoce la importancia de controlar el periodo de la estructura para evitar que coincida con las frecuencias en las que se concentra la mayor parte de la energía del sismo.

A la fecha los sistemas de control pasivo son los que han sido empleados con mayor frecuencia, y entre ellos, el aislamiento de base es el más utilizado. Las razones por las que se ha preferido este sistema son de carácter económico, de fiabilidad, de mantenimiento y a su mayor desarrollo teórico y tecnológico. Los apoyos de neopreno y los apoyos deslizantes que se utilizan en el diseño de puentes para permitir los movimientos horizontales del tablero, producidos por la temperatura y la reología, son un antecedente que facilita la adaptación tecnológica de los dispositivos de aislamiento de base y disipación de energía pasivo en estas estructuras (Figura 4. 29).



Figura 4. 29 Superestructura de puentes con desplazamiento después de la ocurrencia de un sismo.

El control de vibraciones es una de las estrategias que se han propuesto en los últimos años para reducir los desplazamientos y las fuerzas de inercia que se generan en las estructuras durante un temblor, y consiste en el uso de dispositivos externos de carácter pasivo o activo. El criterio en el que se basa esta estrategia de control se orienta a la reducción de la demanda sísmica en la estructura, más que en tratar de incrementar su capacidad resistente o de deformación.

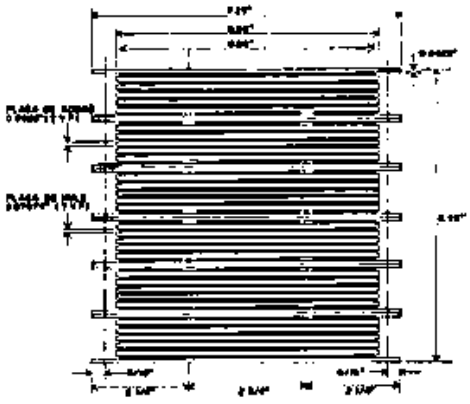
En general, los dispositivos se han agrupado como función de su forma de trabajo en dispositivos de control pasivo y dispositivos de control activo (Jara et al., 2007). Dentro de los de control pasivo se encuentran los aisladores de base y las masas resonantes. De ambos dispositivos, se hablará más detalladamente.

4.5.1 AISLADORES DE BASE

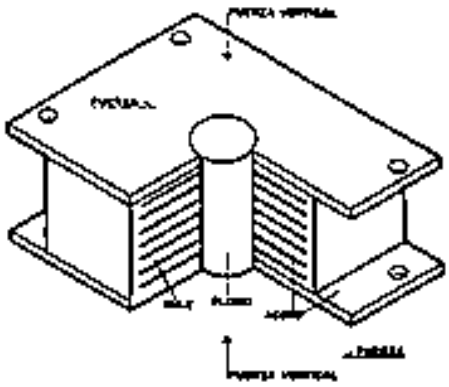
Una de las aplicaciones más atractivas de los aisladores de base se presenta en el refuerzo sísmico de puentes existentes. Las pilas que forman la subestructura de puentes construidos antes de la década de 1980, no cumplen, en general, con los criterios de diseño sísmico que se recomiendan actualmente en la normatividad vigente. Por otro lado, los niveles de intensidad sísmica para los cuales deben diseñarse las estructuras han ido en aumento en los últimos años. Debido a estas condiciones, es común que las pilas y cimentaciones de los puentes construidos antes de 1980, deban ser reforzadas para alcanzar los niveles de seguridad propuestos en las normas actuales (Jara y Jara, 2009).

Los aisladores de base son elementos que se colocan comúnmente entre la subestructura y superestructura de un puente para intentar aislar el movimiento del terreno del movimiento de la estructura. Se colocan regularmente entre la subestructura (pilas y estribos) y la superestructura. Al colocarlos se alarga considerablemente el periodo fundamental de vibración de la estructura con el objeto de alejarla de las zonas de mayor amplificación del espectro de respuesta y con esto reducir la demanda de fuerzas en las pilas del puente. Se han aplicado fundamentalmente en lugares donde los principales temblores que ocurren tienen gran contenido de frecuencias altas. Para evitar que los desplazamientos resulten excesivos y reducir aún más la respuesta de la estructura, estos dispositivos se suelen combinar con algún tipo de amortiguador mecánico. Los primeros intentos por usar aisladores como los actuales se describieron en el Tercer Congreso Mundial de Ingeniería Sísmica celebrado en 1965. No obstante que estos dispositivos se han aplicado en una gran variedad de estructuras, las primeras aplicaciones de los aisladores de base actuales fueron en puentes debido a que estas estructuras normalmente se apoyan sobre placas de neopreno para permitir el libre desplazamiento ocasionado por cambios de temperatura. Esto permitió la sustitución, sin mayores modificaciones, de las placas de neopreno por aisladores de base.

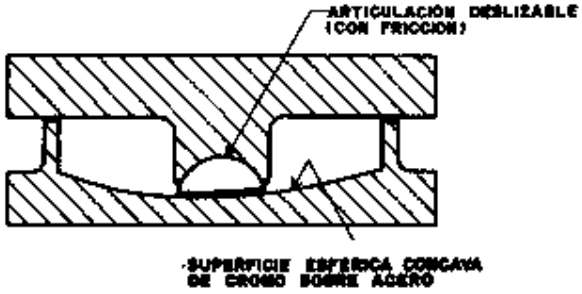
Entre los primeros aisladores de base fabricados comercialmente se encuentran los apoyos rectangulares o circulares formados con placas de hule vulcanizadas con placas más delgadas de acero. Este sistema es muy flexible horizontalmente pero tiene gran rigidez vertical. Su disipación de energía es pequeña y su objetivo fundamental consiste en flexibilizar lateralmente la estructura (Figura 4. 30).



a) Aislador sísmico con placas de hule y acero



b) Aislador con corazón de plomo



c) Aislador de péndulo de fricción.

Figura 4. 30 Diferentes tipos de aisladores de base.

Los apoyos elastoméricos están fabricados con hule natural que presenta un bajo nivel de amortiguamiento, equivalente al 5% del crítico o menor. Este tipo de apoyos es útil para el aislamiento de estructuras que contengan equipo sensible, pero en la mayoría de los casos es necesario proporcionar algún medio de disipación adicional de energía. Además de los apoyos laminados con corazón de plomo, o la utilización de dispositivos mecánicos adicionales, también es posible aumentar la capacidad de disipación de energía de los apoyos laminados, incrementando el amortiguamiento intrínseco del hule mediante el uso de aditivos durante su fabricación, con lo que se alcanzan niveles de amortiguamiento del 10% al 15%. Este tipo de hules (HDR, High Damping Rubber) se fabricaron en el Reino Unido y fueron utilizados por vez primera en el aislamiento sísmico de una estructura en Estados Unidos (Jara, Jara y Galván, 2007).

Un ejemplo del uso de los aisladores de base es los usados en el Puente Infiernillo II, está compuesto por aisladores del tipo multirrotacional con disipadores de energía (Muñoz,

2003 y Hernández et al., 2005), estos apoyos son del tipo deslizante de PTFE (politetrafluoretileno) o comúnmente conocido como teflón. En un principio se exploró la posibilidad de colocar aisladores únicamente en las pilas pero finalmente se optó por colocarlos tanto en las pilas como en los estribos (Figura 4. 31).



Figura 4. 31 Vista del puente Infiernillo II

La superestructura se apoya sobre dos aisladores en cada estribo y cuatro en cada una de las pilas, sumando un total de 20 aisladores. Este sistema de aislamiento transforma la energía cinética en calor y en la energía potencial que se almacena en un sistema de resortes (Figura 4.32 y Figura 4.33). El dispositivo trabaja en cualquier dirección y permite modificar el nivel de amortiguamiento que se logra mediante fricción, al ajustar la presión interna aplicada a las placas de contacto (Jara, Olmos y Madrigal, 2010).



Figura 4. 32 Cabezal y topes sísmicos del puente Infiernillo II



Figura 4. 33 Sistema de aislamiento sísmico utilizado en el puente Infiernillo II.

Con este tipo de sistema de aislamiento se realizó un modelo para poder colocar este tipo de sistema a otro puente de Michoacán, el puente Pinzandarán.

En cada apoyo, entre el cabezal y la superestructura, se contemplaron aisladores sísmicos formados por un mecanismo friccionante, del tipo multi-rotacional deslizante (EQS, EradiQuake Isolation System) desarrollados por la empresa RJ Watson (Watson R J). Se contempló la posibilidad de que se colocar este tipo de aisladores ya que el Puente Infiernillo II, ubicado a aproximadamente a 4 km del Pinzandarán y en la misma autopista Siglo XXI, cuenta en sus apoyos con este tipo de aisladores (Hernández et al., 2005).

Los componentes básicos de los apoyos EQS consisten en una placa deslizante con rotación múltiple, armada sobre un dispositivo de amortiguadores libres que Regulan la Energía de las Masas, MER. El sistema multi-rotacional transforma la energía cinética de las masas de la superestructura en calor y energía, potencial de un resorte (Figura 4.34). La disipación de energía se logra por fricción ajustando la presión interna aplicada a las placas en contacto (Hernández et al., 2007).

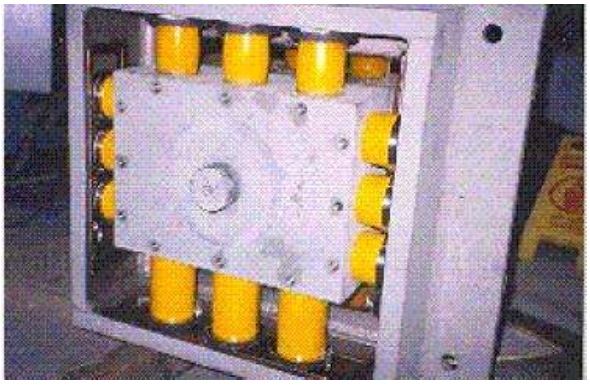


Figura 4. 34 Sistema de aislamiento sísmico, EQS.

4.5.2 MASAS RESONANTES

Los osciladores resonantes o masas resonantes es una o varias masas adicionales con ciertas propiedades dinámicas que, adecuadamente elegidas considerando el movimiento del puente, reducen su respuesta estructural (Jara, Jara y Galván, 2007).

El control estructural de las vibraciones inducidas por un viento turbulento puede lograrse de diferentes maneras, por ejemplo, modificando la rigidez, la masa, el amortiguamiento o la geometría de la estructura (Vickery et al. 1983). Otra forma alterna de conseguirlo es mediante la aplicación de fuerzas activas o pasivas que reduzcan las vibraciones. En la actualidad, esto se puede conseguir gracias a varios dispositivos disipadores de energía tanto pasivos, semiactivos y los activos (Kareem et al. 1999). Si bien muchos de éstos han sido empleados con éxito, es importante continuar investigando acerca del tipo de amortiguador que se desee utilizar para reducir las vibraciones inducidas por el viento turbulento.

Generalmente, un incremento en el amortiguamiento efectivo de una estructura, con ayuda de un sistema auxiliar de amortiguamiento, llevará siempre a una reducción en la respuesta dinámica si los parámetros óptimos del amortiguador son empleados. Un tipo de dispositivo auxiliar para incrementar el amortiguamiento en una estructura es la llamada masa sólida resonante (MSR), el que utiliza una masa sólida auxiliar del orden del 1% de la masa modal de la estructura para reducir la vibración mediante la disipación de energía

cinética a través de un amortiguador que se conecta a la estructura y a la MSR (Figura 4.35). Con la finalidad de brindar rigidez a la MSR, se coloca un resorte en la conexión estructura-MSR (Espinoza et al., 2010).

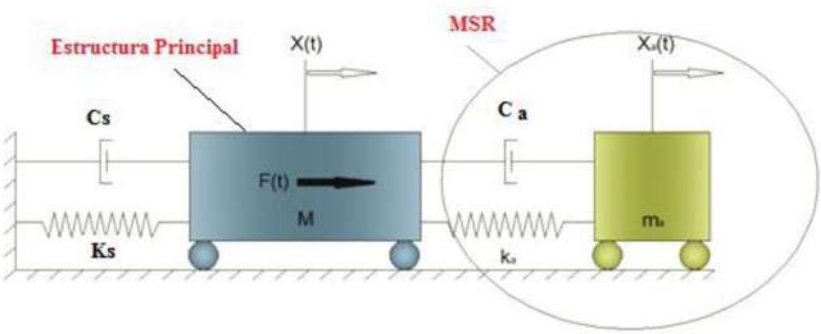


Figura 4. 35 Idealización de estructura principal y masa resonante.

Los amortiguadores de masa tradicionales trabajan bajo el concepto de un péndulo simple, cuyo periodo se trata de sintonizar con el primer modo natural de la estructura que se pretende amortiguar. Se han propuesto una gran cantidad de variantes del péndulo, modificando el brazo y la masa (algunas cuentan con dos o más masas), para lograr que el periodo del amortiguador sea efectivo. El problema de este tipo de sistemas es el espacio que requieren para su instalación. Algunas soluciones alternativas consisten en el uso de masas deslizantes o péndulos de varias etapas, que tienen diseños relativamente compactos y que se han instalado en las torres de los puentes para protegerlas de los efectos del viento durante su construcción, y en algunos casos, para mejorar el comportamiento del puente una vez terminado.

Den Hartog (1956) fue uno de los primeros investigadores que abordó el tema de sistemas con osciladores resonantes, demostró que con ciertos parámetros dinámicos del sistema conjunto se obtienen reducciones importantes de la respuesta (Jara, Jara y Galván, 2007).

Las MSRs tienen un bajo costo de mantenimiento, además de una gran confiabilidad y se pueden recalibrar fácilmente para tomar en cuenta los cambios en las propiedades

dinámicas de la estructura. Se han instalado MSRs en edificios altos, puentes vehiculares, peatonales, antenas, motores, cubiertas e incluso se han utilizado para reducir las vibraciones ocasionadas por el tráfico de vehículos en edificios bajos (de 3 ó 4 niveles) logrando reducciones de hasta 70% de la vibración original (Inoue 1994). Diseñadas como dispositivos pasivos, son ideales para reducir casi cualquier vibración, producto de la amplificación dinámica ocasionada por las fuerzas de servicio.

Las MSRs pueden ser parte de la solución estructural desde el diseño original o pueden implementarse para corregir vibraciones imprevistas, limitando el diseño del dispositivo al espacio y ubicación disponible dentro de la estructura. De ser necesario, es común que, para mitigar la respuesta, se implementen varios dispositivos distribuidos a lo largo de la estructura o se interconecten (Espinoza et al., 2010).

Con la misma idea del sistema amortiguador de masas, se han propuesto otros sistemas como los amortiguadores de líquido. Estos amortiguadores resonantes de líquido se han instalado con el objeto de reducir las vibraciones producidas por el viento en estructuras de gran altura. El amortiguador utiliza el movimiento del líquido como un disipador de energía que ofrece las siguientes ventajas sobre las masas amortiguadoras: no necesitan de un umbral de disparo ya que siempre están activos; son más económicos; no requieren prácticamente de mantenimiento; y los requerimientos de instalación son menores. El amortiguador, en general, consiste de un tanque comercial de polipropileno, con varias capas de agua. La altura de la columna es el parámetro que define la frecuencia del amortiguador, sin embargo, variaciones pequeñas en la altura no modifican en forma significativa la respuesta durante movimientos sísmicos fuertes. Para estructuras con frecuencias fundamentales diferentes en dos direcciones perpendiculares se pueden emplear tanques rectangulares, con dimensiones tales que sean eficientes para disipar la energía en ambas direcciones. Para una reducción en cualquier dirección se pueden emplear tanques cilíndricos.

CAPÍTULO 5

COMPARATIVA, PROPUESTAS Y CONCLUSIONES

5.1 COMPARATIVA DE LAS TÉCNICAS DE REPARACIÓN Y REFUERZO PARA PUENTES

En la Tabla 5. 1 y Tabla 5. 2 se muestra una comparativa de las técnicas que se estudiaron en el Capítulo 4, mostrando algunas ventajas y desventajas.

Tabla 5. 1 Ventajas y desventajas de las técnicas de reparación y refuerzo estudiadas.

TÉCNICA DE REPARACIÓN Y REFEURZO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Polimeros reforzados con fibras (FRP)	Su costo es comparable con la técnica de torones externos. En ocasiones es más económica	No se recomienda aplicar esta técnica en elementos previamente dañados sin ser reparados previamente.
	Su colocación es más rápida y no afecta la circulación de los vehículos sobre el puente	Se incrementa el costo dependiendo de la cantidad de capas de fibras que se requiera
	No incrementa peso muerto a la estructura	Es necesario que la aplicación la realice una mano de obra especializada en esta técnica
	Se conserva la estructura del proyecto original	Es una técnica "nueva", por lo cual no se tiene mucha experiencia en ella
Encamisados	Mantiene las características del sistema estructural original	Tener cuidado con la temperatura del ambiente al aplicar esta técnica.
	Aumenta insignificativamente la carga muerta de la estructura.	Utilizar el tipo de material para el encamisado ideal, para evitar corrosión.
	Se aprovechan las columnas y las pilas existentes, siempre y cuando estén en buen estado.	La aplicación de esta técnica puede presentar atrasos significativos, sobre todo si se aplica en pilas en contacto con el agua.
	En ocasiones su costo es menor que cualquier otra técnica	Intensa labor de mano de obra

Tabla 5. 2 Ventajas y desventajas de las técnicas de reparación y refuerzo estudiadas (continuación).

TÉCNICA DE REPARACIÓN Y REFEURZO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Torones externos	No es necesario cambiar los elementos estructurales existentes	No se recomienda aplicar esta técnica en estructuras con problemas serios estructurales
	Es una técnica rápida, sin afectar incluso el tránsito vehicular sobre el puente	Es necesario aplicarse a elementos con gran resistencia, de otro modo se requerirá mayor presfuerzo.
	Se puede incrementar ampliamente la capacidad del puente, todo dependiendo del número y diámetros de los torones.	Es necesario ajustar la tensión de los torones con el paso del tiempo, esto para poder tener objetivo deseado.
	En ocasiones su costo es menor que cualquier otra técnica	Es necesario verificar el estado físico de las trabes y losas, ya que en ocasiones es mejor reponer el elemento que reforzarlo.
Aisladores de base y masas resonantes	Ayuda a redireccionar las fuerzas sísmicas que llegan a las estructuras	E ocasiones es muy dificil poder colocar este tipo de elementos
	Ayudan a que los puentes no entren en resonancia, ya sea por sismo o por viento	Son elementos muy caros
		Por lo regular, se necesita de utilizar un disipador de energía

5.2 COMPARATIVA ECONÓMICA DE LAS TÉCNICAS DE REPARACIÓN Y REFUERZO PARA PUENTES

Uno de los objetivos del presente trabajo era poder dar algunos costos de todas estas técnicas de reparación y refuerzo. Lamentablemente algunos distribuidores de estos materiales no proporcionaron dicha información.

Gracias al Ing. Hugo Dolan Orozco Recillas, ingeniero en rehabilitación de estructuras de Sika Mexicana S.A. de C.V., a quien proporcionó algunos ejemplos de comparativas de técnicas de reparación y refuerzo, que a continuación se explica. Los costos mostrados son en dólar americanos evaluados en 2011.

- El primer ejemplo es de un puente en Colombia, el cual el problema que presentaba era por capacidad de carga, ya que por este puente circulaban vehículos con cargas superiores a las que fue diseñado (Figura 5. 1).



Figura 5. 1 Puente reforzado en Colombia.

Para este puente, se tenían dos opciones para su refuerzo: colocar un encamisado o colocar fibras de carbono en las trabes. Las dos opciones se muestran en la Figura 5. 2.

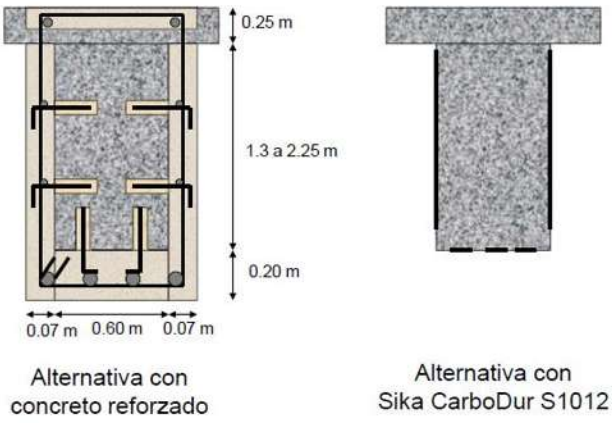


Figura 5. 2 Propuesta de las dos técnicas para reforzar el puente de Colombia.

Posteriormente se realizó una comparativa de costos y tiempo de ejecución de dichas opciones de refuerzo, las cuales se muestran en la Tabla 5. 3 y Tabla 5. 4.

Tabla 5. 3 Costo y tiempo de ejecución de la técnica de encamisado para el puente de Colombia.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO ($USD)	TOTAL ($USD)
Concreto	m^3	50	72.00	3,600.00
Acero	kg	12,500	1.05	13,125.00
Cimbra	m^2	150	12.00	1,800.00
Anclajes	pza	1,500	1.50	2,250.00
Mano de Obra	Lote	1		30,000.00
Total				50,775.00
		TIEMPO DE EJECUCIÓN		3.5 meses

Tabla 5. 4 Costo y tiempo de ejecución de la técnica de fibras de carbono para el puente de Colombia.

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO ($USD)	TOTAL ($USD)
Sika Carbodur S1012	m	490	45.00	22,050.00
Mortero epóxico Sikadur 30	kg	500	12.20	6,100.00
Mano de Obra	Lote	1		9,800.00
Total				37,950.00
		TIEMPO DE EJECUCIÓN		2 meses

En este ejemplo, se observa que la técnica de encamisado, se requiere de varios materiales, la cantidad de dichos materiales, posiblemente sean en precio unitario más económicos que la otra técnica pero al hacer la suma del total, nos indica que es más cara esta técnica y además, la duración para aplicarla es de 3.5 meses, a comparación de la técnica de fibras de carbono, la cual son menos materiales, los precios unitarios son un poco más caros pero la mano de obra es más económica que la técnica anterior y por lo tanto es la técnica más económica de las dos y sólo tardaron 2 meses en ejecución, 1.5 meses menos que la técnica de encamisado.

- El segundo ejemplo es del Puente Vehicular en libramiento Los Reyes – Texcoco, en el Estado de México. El problema que se tenía con este puente es que se iba a ampliar la calzada del puente (Figura 5. 3).



Figura 5. 3 Puente reforzado en el Estado de México.

Las propuestas para poder ampliar la calzada de este puente, era hacer el armado estructural de la ampliación de la calzada y la otra opción era reforzar la calzada con láminas de fibra de carbono. En la Tabla 5. 5 y Tabla 5. 6 se muestra la comparativa de costos y el tiempo de ejecución.

Tabla 5. 5 Costo y tiempo de ejecución del armado estructural para la calzada del puente del Edo. de México.

CONCEPTO	TOTAL ($USD)
Demolición de 8 cm de concreto	
Habilitado de armado adicional	
Recuperación de sección con concreto y adhesivo epóxico como puente de adherencia	
Total	16,900.00
TIEMPO DE EJECUCIÓN	5 semanas

Tabla 5. 6 Costo y tiempo de ejecución de la técnica de laminado de fibras de carbono para el puente del Edo. de México.

CONCEPTO	TOTAL ($USD)
Preparación de superficie	
Colocación de láminas Sika Carbodur S812 (250 m)	
Protección en las láminas con 2 cm de grout	
Total	15,750.00
TIEMPO DE EJECUCIÓN	3 semanas

En este ejemplo, no dan la cantidad de materiales, únicamente el costo total de las dos técnicas y la técnica más económica es la de láminas de fibra de carbono y además, se reduce 2 semanas en tiempo de ejecución comparada con la otra técnica.

- Otro ejemplo es el puente Cutzamala, que se encuentra ubicado en Cd. Altamirano, en Guerrero. El problema de este puente es la capacidad de carga, ya que por ese motivo se tuvo que reforzar (Figura 5. 4).



Figura 5. 4 Puente reforzado en el estado de Guerrero.

Las propuestas para poder reforzar este puente, era colocar torones externos (presfuerzo) y la otra opción era reforzar las trabes con láminas de fibra de carbono. En la Tabla 5. 7 y Tabla 5. 8 se muestra la comparativa de costos y el tiempo de ejecución.

Tabla 5. 7 Costo y tiempo de ejecución de presfuerzo externo en puente de Guerrero.

CONCEPTO	TOTAL ($USD)
Concreto f'c = 200 kg/cm^2	
Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm^2	
Acero de presfuerzo (torones 1/2") fpu = 19,000 kg/cm^2	
Total	993,900.00
TIEMPO DE EJECUCIÓN	7 meses

Tabla 5. 8 Costo y tiempo de ejecución del refuerzo con tejido de fibras de carbono para puente de Guerrero.

CONCEPTO	TOTAL ($USD)
Preparación de superficie	
Colocación de láminas Sika Carbodur S512 (480 m)	
Colocación de láminas Sika Carbodur S1012 (5,900 m)	
Colocación de tejido Sika Wrap 530C (940 m^2)	
Total	1,000,300.00
TIEMPO DE EJECUCIÓN	5 meses

En este ejemplo, la técnica del refuerzo con fibras de carbono es un poco más cara a comparación con la otra técnica, sin embargo es necesario también contemplar el tiempo de ejecución, ya que la técnica de fibras de carbono duraría 2 meses menos que la otra técnica. Esta es otra opción que se debe de evaluar para poder tomar una decisión.

- En el siguiente ejemplo es el puente Casitas, que se encuentra ubicado en el estado de Veracruz. El problema de este puente es la capacidad de carga, ya que por ese motivo se tuvo que reforzar (Figura 5. 5).



Figura 5. 5 Puente reforzado en el estado de Veracruz.

Las propuestas para poder reforzar este puente, era colocar torones externos (presfuerzo) y la otra opción era reforzar las trabes con láminas y tejido de fibra de carbono. En la Tabla 5. 9 y Tabla 5. 10 se muestra la comparativa de costos y el tiempo de ejecución.

Tabla 5. 9 Costo y tiempo de ejecución de presfuerzo externo en puente de Veracruz.

CONCEPTO	TOTAL ($USD)
Concreto f'c = 200 kg/cm^2	
Acero de refuerzo fy = 4200 kg/cm^2	
Acero de presfuerzo (torones 1/2") fpu = 19,000 kg/cm^2	
Total	553,000.00
TIEMPO DE EJECUCIÓN	5 meses

Tabla 5. 10 Costo y tiempo de ejecución del refuerzo con láminas y tejido de fibras de carbono para puente de Veracruz.

CONCEPTO	TOTAL ($USD)
Preparación de superficie	
Colocación de láminas Sika Carbodur S1012 (3,400 m)	
Colocación de tejido Sika Wrap 530C (800 m^2)	
Total	616,500.00
TIEMPO DE EJECUCIÓN	4 meses

En este ejemplo, la técnica del refuerzo con fibras de carbono es un poco más cara a comparación con la otra técnica, sin embargo es necesario también contemplar el tiempo de ejecución, ya que la técnica de fibras de carbono duraría 1 mes menos que la otra técnica.

- El último ejemplo es el puente Santa Isabel, que se encuentra ubicado en el estado de Guerrero. El problema de este puente es la capacidad de carga, ya que por ese motivo se tuvo que reforzar (Figura 5. 6).



Figura 5. 6 Puente reforzado ubicado en el estado de Guerrero.

Las propuestas para poder reforzar este puente, era colocar torones externos (presfuerzo), reforzar las trabes con tejido de fibra de carbono y una tercer opción, combinar dichas técnicas. En la Tabla 5. 11 se muestra la comparativa de costos de ejecución.

Tabla 5. 11 Costos de varias opciones de refuerzo para el puente del estado de Guerrero.

CONCEPTO	TOTAL ($USD)
Solución solo con acero de presfuerzo	485,000.00
Solución solo con fibra de carbono	510,000.00
Solución combinada	440,000.00

En este ejemplo, se observa que si sólo se utilizara el acero de presfuerzo, sería una opción económica más que la de fibras de carbono, ya que esta es un poco más cara. Pero si se hace la combinación de ambas técnicas, el costo es menor que la del acero de presfuerzo, sin embargo es necesario hacer la evaluación en tiempos de ejecución y sobre todo ver la ventaja de poder combinar técnicas para refuerzo.

5.3 PROPUESTAS DE LAS TÉCNICAS DE REPARACIÓN Y REFUERZO PARA LOS PUENTE TÍPICOS

La finalidad de este trabajo es dar una propuesta para reparar y reforzar algunos de los puentes de los 6 estados que se estudiaron anteriormente. A continuación se muestra en la Tabla 5. 12, Tabla 5. 13 y la propuesta de las técnicas que se estudiaron a los puentes típicos que se mencionaron en el Capítulo 3.

Tabla 5. 12 Propuesta de técnicas de reparación y refuerzo para los puentes típicos.

PUENTE TÍPICO	ELEMENTO	FRP	ENCAMISADOS	TORONES EXTERNOS	AISLADORES DE BASE	MASAS RESONANTES
1	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
2	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		

Tabla 5. 13 Propuesta de técnicas de reparación y refuerzo para los puentes típicos (continuación).

PUENTE TÍPICO	ELEMENTO	FRP	ENCAMISADOS	TORONES EXTERNOS	AISLADORES DE BASE	MASAS RESONANTES
3	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
4	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
5	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
6	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
7	SUBESTRUCTURA	-	-	-		
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
8	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
9	SUBESTRUCTURA	X	X			
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
10	SUBESTRUCTURA	X	X			
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
11	SUBESTRUCTURA	X	X			
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
12	SUBESTRUCTURA	X	X			
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
13	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
14	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
15	SUBESTRUCTURA	X	X			
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
16	SUBESTRUCTURA	-	-	-		
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
17	SUBESTRUCTURA	X	X			
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
18	SUBESTRUCTURA	X	X			
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
19	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		

Tabla 5. 14 Propuesta de técnicas de reparación y refuerzo para los puentes típicos (continuación).

PUENTE TÍPICO	ELEMENTO	FRP	ENCAMISADOS	TORONES EXTERNOS	AISLADORES DE BASE	MASAS RESONANTES
20	SUBESTRUCTURA	X	X			
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
21	SUBESTRUCTURA	X	X			
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
22	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
23	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
24	SUBESTRUCTURA	X	X			
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
25	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		
26	SUBESTRUCTURA	X				
	APOYOS				X *	X **
	SUPERESTRUCTURA	X	X	X		

* Para este tipo de técnica, es necesario conocer el tipo de apoyo que tiene el puente.

** Para este tipo de técnica, es necesario conocer la longitud del claro, y sobre todo, esta técnica se puede utilizar en el estado de Oaxaca, ya que es el estado donde más corrientes de aire se presentan, sobre todo en la zona de La Ventosa.

5.4 CONCLUSIONES GENERALES

Los puentes son estructuras sumamente importantes, ya que son parte de la infraestructura carretera, y han ido evolucionando conforme a las necesidades actuales, ya que desde un inicio los primeros puentes fueron de madera y a la fecha, los puentes son construidos con nuevos materiales más resistentes cada día.

Con el TPDA nos podemos dar idea de la capacidad de las carreteras de nuestro país, así mismo nos ayuda a identificar la cantidad de vehículos, tanto ligeros como pesados, que pasan por dichos puentes, y así poder determinar si estos puentes, a pesar de su año de construcción, son capaces de poder soportar estos vehículos.

Es importante tener en cuenta todas las condiciones necesarias cuando se realice el diseño de un puente, ya que no sólo debemos de tomar las cargas vehiculares, sino también si son propensos a poder fallar por sismo o por viento, y sobre todo, la mayor parte de los puentes carreteros salvan un río o cauce, y es por eso importante tomar en cuenta la socavación que se puede presentar tanto en los estribos como en las pilas.

Gracias a las carreteras que tenemos en el país, podemos tener mayor movimiento en cuestión al comercio, ya que por estos caminos circula la mayor parte de mercancía en el país, así como también circula la mayor parte de pasajeros que se trasladan de un lugar a otro.

El Sistema de Puentes de México (SIPUMEX), de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, ayuda con sus inspecciones principales, a ver el estado físico que presenta los puentes que están a cargo de las redes federales de caminos, sin embargo, dichas inspecciones pueden no ser tan confiables, ya que todo depende del punto de vista del inspector, y por consecuencia de esto, hay puentes que al presentar alguna falla, no la toman muy en cuenta y ese puente puede llegar a fallar más pronto de lo que se imaginan.

Los reportes, en algunos casos, no cuentan con cierta información que es importante, ya que algunos de los componentes de los puentes tienen calificación 3 o más, y no incluyen el tipo de daño, así como las coordenadas de los puentes, en ocasiones no corresponden, y sería importante darle la importancia a estos reportes, y poder darles mayor seguimiento a los puentes con calificación 3 o más, ya que sólo toman en cuenta los que tienen calificación 4 o 5.

Si se les diera el mantenimiento necesario a los puentes con calificación 3, no se tendría la necesidad de poder reparar, reforzar o incluso reconstruir puentes, ya que en ocasiones reconstruir un puente es más caro que poderlo reparar o reforzar.

De acuerdo al análisis estadístico que se realizó en este trabajo, en los 6 estados en estudio se tiene, hasta el año 2011, 91 puentes con calificación 4 y 1 con calificación 5, lo

cual nos indica que, el puente con calificación 5 es necesario darle la prioridad para ver si se refuerza o se tendría la necesidad de reconstruirlo, pero eso ya depende de una inspección especial realizada por personal capacitado en este tipo de estructuras.

De acuerdo al cambio histórico de los reglamentos de diseño sísmico, se concluye que los puentes construidos antes del año de 1970, son los puentes más vulnerables en cuestión estructural, ya que al no tener el suficiente refuerzo, son más propensos a fallar por alguna situación, en especial por los sismos. Pero también, es importante mencionar que la mayoría de estos puentes construidos antes de este año, la subestructura fue construida por materiales como la mampostería y sobre todo, tienen secciones muy robustas y esto ha ayudado a que no presenten daños estructurales, sin embargo, los puentes construidos entre los años 1970 y 1985, son los puentes más vulnerables, ya que con el sismo de 1985 cambiaron nuevamente los reglamentos de construcción.

También es importante conocer los principales daños que se pueden tener en los puentes, en un momento dado para hacer una inspección principal, ya que si no se detecta estos tipos de daños, se corre el riesgo de poder presenciar fallas más graves en estas estructuras.

Otro punto importante, es que en los años 70’s, los puentes diseñados hasta ese entonces fueron diseñados con cargas mucho menores que las actuales, y esto ha contribuido a que algunos de los puentes, presenten daño estructural por rebasar la capacidad de carga, y esto se observa en el Anexo A, ya que la mayoría de los puentes que se tienen en ese anexo, su principal daño es por daño estructural.

Se presentaron 4 técnicas de reparación y refuerzo, cada una de ellas con sus ventajas y desventajas, sin embargo, es necesario estudiar bien la estructura para poder determinar el tipo de técnica que se necesite, porque a veces en lugar de reforzar dicha estructura, termina por perjudicarla.

Los FRP tiene numerosas ventajas en cuanto su proceso constructivo, ya que a diferencia de la colocación de los encamisados, los elementos de fibras, sobre todo de carbón presentan poca densidad y un esfuerzo a la ruptura de cinco veces mayor al acero estructural utilizado en las placas de acero estructural, lo que permite una mayor maniobrabilidad de estos elementos respecto a la de las placas de acero. Otra de las ventajas que tiene esta técnica es que debido a la facilidad de instalación de este refuerzo, agiliza el término de los trabajos, teniendo un programa de trabajo bastante más reducido para el refuerzo con torones externos.

Los encamisados, es necesario identificar el elemento a reforzar, ya que de eso depende el material que se va a aplicar para esta técnica, además que es una técnica ya no muy utilizada por la existencia de otros materiales con mejores propiedades.

Los torones externos han demostrado ser un método muy eficaz de refuerzo de puentes, y es en México una técnica muy recurrida y relativamente exitosa. Sin embargo en ocasiones dañan el puente más de lo que repara, arruinando la estética del puente; además de que en algunas ocasiones se debe de interrumpir el tráfico y además, es necesario darles mantenimiento para evitar la corrosión de los cables.

Los aisladores de base y las masas resonantes, no son muy utilizados en nuestro país, sin embargo si se dieran a conocer las ventajas de estos mecanismos, se podría tener menos problemas en cuestión a los apoyos de la superestructura a la subestructura.

Así pues, el estudio del comportamiento de los puentes, así como de las posibilidades de reforzarlas y/o repararlas, se ha ido consolidando como una nueva rama en la investigación y se ha estado expandiendo no solo en otros países, sino en nuestro propio país, sin embargo, es necesario poder dar a conocer la importancia que se tiene al poder aplicar estas técnicas en los puentes y poder proporcionar mayor vida útil a dichas estructuras, sin tener la necesidad de reconstruirlas.

REFERENCIAS

Enciclopedia de Municipios y Delegaciones de México. (2010). Obtenido de http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/

Explorando México. (2012). Obtenido de http://www.explorandomexico.com.mx/

Sistema de Información Estadística y Geográfica de Jalisco. (2012). Obtenido de http://sieg.gob.mx/index.php

Chiapas. (2013). Obtenido de http://www.chiapas.gob.mx/

Guerrero. (2013). Obtenido de http://guerrero.gob.mx/

Secretaría de Economía. (2013). Obtenido de http://www.economia.gob.mx/

Álvarez, E. (2008). *Diseño de Puentes de Losa.* Cuba.

ACI. (2008). ACI 440.2R-08. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. EE.UU. American Concrete Institute.

BASF. (2013). BASF Mexicana. Obtenido de http://www.basf-cc.com.mx/ES/Pages/default.aspx

CAPUFE. (2010). *Historia del Organismo.* Obtenido de http://www.capufe.gob.mx/portal/site/wwwCapufe/menuitem.5b242a384a941ec05a034bd7316d8a0c/

CarmasComposites. (2013). Como laminar fibra de carbono con resina epoxi. Obtenido de http://www.carmas.com.ar/blogg.html

CFE y UNAM1. (2008). *Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Sismo.* México: Comisión Federal de Electricidad y Universidad Nacional Autónoma de México.

CFE y UNAM2. (2008). *Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Viento.* México: Comisión Federal de Electricidad y Universidad Nacional Autónoma de México.

CILTEC. (2011). *Red Carretera*. Obtenido de http://www.ciltec.com.mx/es/infraestructura-logistica/red-carretera

Cottier, J. L. (2000). Fibras de Carbón para el Refuerzo de Estructuras de Concreto. León, Guanajuato, México: XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.

Del Río, A. (2009). Patología, Reparación y Refuerzo de Estructuras de Hormigón Armado de Edificación. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

DGC/SCT. (2010). *Programa de Caminos Rurales y Alimentadores.* Obtenido de Dirección General de Carreteras. Secretaría de Comunicaciones y Transportes: http://dgcf.sct.gob.mx/fileadmin/DGCF/cuadripticos/cuad_img/MA_OBR.pdf

DGCC/SCT. (1994). *Sistema de Puentes de México.* Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

DGCC/SCT. (2013). *Estado Físico*. Obtenido de http://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-conservacion-de-carreteras/estado-fisico/

DGP/SCT. (2011). *Anuario Estadístico.* Obtenido de http://www.sct.gob.mx/fileadmin/_migrated/content_uploads/Anuario-2011_01.pdf

DGST/SCT. (2013). *Datos Viales 2013.* Obtenido de Dirección General de Servicios Técnicos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes.: http://dgst.sct.gob.mx/index.php?id=689

Espinoza, J., Pozos, A., y Gómez, R. (2010). Masas Resonantes para Mitigar los efectos Eólicos. León, Guanajuato, México: XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.

Estrada, A. (2012). Tesis de Licenciatura. *Esquemas de Mantenimiento y Rehabiltación de Puentes Carreteros y Urbanos de Concreto*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Flores, J. (2006). Tesis de Licenciatura. *Conservación de Puentes Carreteros*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Acatlán. Obtenido de http://www.construaprende.com/docs/tesis/295-conservacion-puentes-carreteros

Hernández, H., Hurtado, F., y Jara, M. (2010). Caracterización de los Puentes Vehiculares del Estado de Guerrero con fines de Evaluación Sísmica. *XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*.

Hernández, H., Ponce de León, J. G., y Jara, J. M. (2007). Comportamiento Sísmico del Puente Pinzandarán considerando Aisladores de Base. Ixtapa Zihuatanejo, Guerrero, México: XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.

IMCYC. (1999). ACI 546R-96. Guía para Reparar Estructuras de Concreto. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

IMT y SCT. (2001). Norma N-PRY-CAR-6-01-003/01. Instituto Mexicano del Transporte. Obtenido de Normativa para la Infraestructura del Transporte: http://normas.imt.mx/barra.php?tm=1

INEGI. (2012). *Anuario Estadístico de los Estados Unidos Mexicanos 2012.* Obtenido de http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aeeum/2012/Aeeum2012.pdf

Jara y Jara. (2010). Análisis de las Técnicas de Rehabilitación de Puentes de Claros Cortos. León, Guanajuato, México: XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.

Jara, J. M., y Jara, M. (2009). Daños y Rehabilitación de Puentes.

Jara, Jara y Galván. (2007). Dispositivos de Control en Puentes. Morelia, Michoacán, México: 1er. Simposio Internacional de Diseño de Puentes.

Jara, Olmos y Madrigal. (2010). Cuantificación del Daño Esperado en Puentes. León, Guanajuato, México: XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.

King, A. (2000). Técnicas Avanzadas para el Refuerzo de Superestructuras para Puentes Carreteros. Tésis de Licenciatura. México, D.F., México: Universidad Nacional Autónoma de México.

King, A., Téllez, C., Gómez, R., y Escobar, J. A. (2000). Refuerzo Sísmico de Subestructuras de Puentes mediante Elementos Laminados de Fibras de Carbono. León, Guanajuato, México: XII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.

Mendoza, A., y Reyes, J. (1994). Publicación Técnica No. 51. *Estudio de Pesos y Dimensiones de los Vehículos que circulan sobre las Carreteras Nacionales. Impactos económicos de la Reglamentación y el Control de pesos de 1993*. Querétaro, Querétaro, México: Instituto Mexicano del Transporte.

Muñoz, D. (2000). Tesis de Licenciatura. *Efectos de la Socavación en el Diseño de Puentes*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Orozco, H. D. (2011). Reforzamiento de Puentes con Fibras de Carbono. Vías Terrestres, 8-10.

Oviedo, R. R. (2004). Métodos de Reforzamiento en Edificios de Concreto Armado. Peru: Universidad Nacional de Ingeniería Peru.

Padilla, A., Flores, A., Quiroz, L., y Reyes, J. (2008). Rehabilitación de Vigas con Tejidos de Carbono. Veracruz, Veracruz, México: XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.

Padilla, A., Landa, G., y Flores, A. (2007). Estudio del Reforzamiento Externo de Vigas de Concreto. Ixtapa Zihuatanejo, Guerrero, México: XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.

Peña, C., y Ehsani, M. (2008). Uso de Telas Polimericas Reforzadas con Fibras (FRP) para la Rehabilitación y Refuerzo de Infraestructura y Edificaciones. Veracruz, Veracruz, México: XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.

Peñaloza, J., y Rodríguez, R. (2010). Optimización de Configuraciones Convencionales de Reparación de Vigas de Concreto Dañadas utilizando Fibras de Carbono. León, Guanajuato, México: XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.

Rincón, M., y Solís, M. (2000). Tesis de Licenciatura. *Puentes en la Red Federal Carretera de México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Rioboó, J. M. (2004). Refuerzo y Rehabilitación de Estructuras a Base de Sistemas de Contraventeos de Cables Postensados. Una Retrospectiva. Tlaxcala, México: VIII Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica.

Román, J. (2006). Tesis de Licenciatura. *Daño en el Concreto de Puentes Carreteros, Técnicas para su detección y evaluación*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Salaverría, J. (2003). Estudio Experimental sobre la Reparación y Refuerzo de Puentes utilizando Fibras Sintéticas y Pretensado Exterior. Tesis Doctoral. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.

SCT, IG-UNAM, y IMT. (2011). Atlas de la Red Carretera de México.

SEIJ. (2012). *Sistema Estatal de Información de Jalisco*. Obtenido de http://www1.jalisco.gob.mx/wps/portal/organismos/seijal/!ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3gzb2djr1AXEwMLP0tzA08LR09_f39nYx8zA6B8pFm8T4iPh7FXkJGBf5iXs4FRmI-5pbllsKGBvzEB3eEg-_DrB8kb4ACOBvp-Hvm5qfoFuREGWSaOigCGLb5v/dl3/d3/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/

Sika. (2013). Obtenido de http://mex.sika.com/

SIPUMEX. (2011). *Inventario de Puentes de México.* Secretaía de Comunicaciones y Transportes.

SSN. (2013). *Servicio Sismológico Nacional*. Obtenido de http://132.247.193.3:8080/website/jsp/region_sismica_mx.jsp

Transporte1UJCV. (2011). *El Tránsito Promedio Diario Anual, TPDA.* Obtenido de http://transpote1ujcv.blogspot.mx/

Villegas, S. (2008). Tesis de Maestría. *Identificación de Daño y Propuestas de Reparación de los Puentes Carreteros Tramo Morelia - Guadalajara (Ruta 15).* Morelia, Michoacán, México: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

ANEXO A

ANEXO A

En el presente anexo se mencionan los principales daños que presentan los puentes de los 6 estados en estudio con calificación 4 y 5, de acuerdo al SIPUMEX. Antes de poder continuar, es necesario tener varios conceptos bien definidos, ya que como son en base al manual de Inspecciones Principales de SIPUMEX (DGCC/SCT, 1994), puede llegar a confundirse el lector.

- Última inspección preliminar: Esta se refiere a la fecha (año, mes, día) que se realizó dicho inspección en campo, más no es la fecha con la cual fue elaborado el documento.
- Año para la próxima inspección: El intervalo entre dos inspecciones principales puede ser de 1 a 6 años, dependiendo de la condición del puente y del tráfico.

  - Si la estructura está en una condición pobre y el tráfico es pesado e intenso, hacer la próxima inspección el año siguiente.
  - Si la estructura está en buena condición, y el tráfico no es muy pesado e intensivo, hacer la siguiente inspección en 6 años.
  - Si la estructura tiene algún daño la siguiente inspección deberá ejecutarse dentro de un periodo de 1 a 6 años, tomando en consideración la extensión y desarrollo del daño y el volumen de tráfico.

La evaluación de la condición de un puente se divide en 14 componentes estándar (Tabla A. 1):

Tabla A. 1 Componentes estándar de evaluación de puentes.

No.	COMPONENTE
1	Superficie de puente
2	Juntas de expansión
3	Banqueta / Camellón
4	Parapeto / Pasamanos
5	Conos / Taludes
6	Aleros
7	Estribos
8	Pilas
9	Apoyos
10	Losa
11	Largueros / Trabes
12	Cauce
13	Otros elementos
14	Puente en general

La calificación de las componentes de los puentes se mencionó en el Capítulo 2, Tabla 2.3. Cabe mencionar que para que se pueda indicar el tipo de daño, es necesario que la componente del puente deba tener una calificación de 3 o más.

A continuación se menciona cada una de las componentes que se inspeccionan en los puentes:

- Superficie de puente. Comprende superficies asfálticas o de concreto sobre el puente y en los accesos.

- Juntas de expansión. Abarba todos los componentes de construcción de la junta de expansión incluyendo capas especiales.

- Banqueta / Camellón. Abarca superficies y guarniciones en las banquetas y los camellones.

- Parapeto / Pasamanos. Abarca parapetos y pasarelas en las orillas del puente y en los camellones.

- Conos / Taludes. Abarca taludes, incluyendo taludes de protección, adyacente a los estribos y a los aleros.

- Aleros. Abarca aleros y posibles muros de contención que pertenece al puente.

- Estribos. Comprende las estructuras completa del estribo, incluyendo diafragma, coronas, bancos de apoyo y partes visibles de las zapatas.

- Pilas. Comprende toda la estructura de la pila incluyendo posibles bancos de apoyo y partes visibles de las zapatas.

- Apoyos. Comprende apoyos en estribos y pilas y en cantiliver de la superestructura. Incluyendo lechada debajo de las placas.

- Losa. La losa puede describirse como parte de la superestructura que no es largueros / trabes.

- Largueros / Trabes. En adición a las vigas principales este componente abarca las vigas transversales y diafragmas, contravientos, etc.

- Cauce. Comprende el cauce aguas arriba y aguas abajo del puente así como el área bajo el puente. El área alrededor de las pilas y estribos es particularmente importante.

- Otros elementos. Comprende componentes significativos del puente los cuales no se incluyen en los 12 componentes anteriores.

- Puente en general. Bajo este componente la condición global del puente es establecida, tomada como un todo.

En la Tabla A. 2 se muestran los tipos de daño que se pueden presentar en alguna de las componentes de los puentes.

Tabla A. 2 Tipos de daños en las componentes de los puentes.

No.	TIPO DE DAÑO
10	Daño estructural (Sobrecarga / diseño insuficiente)
20	Impacto
30	Asentamiento / Movimiento
40	Erosión / Socavación
50	Corrosión de acero estructural
60	Daño en concreto causado de corrosión de reforzamiento
70	Descomposición
90	Otro
91	No Aplicable
92	Desconocido
93	No Registrado

A1. JALISCO

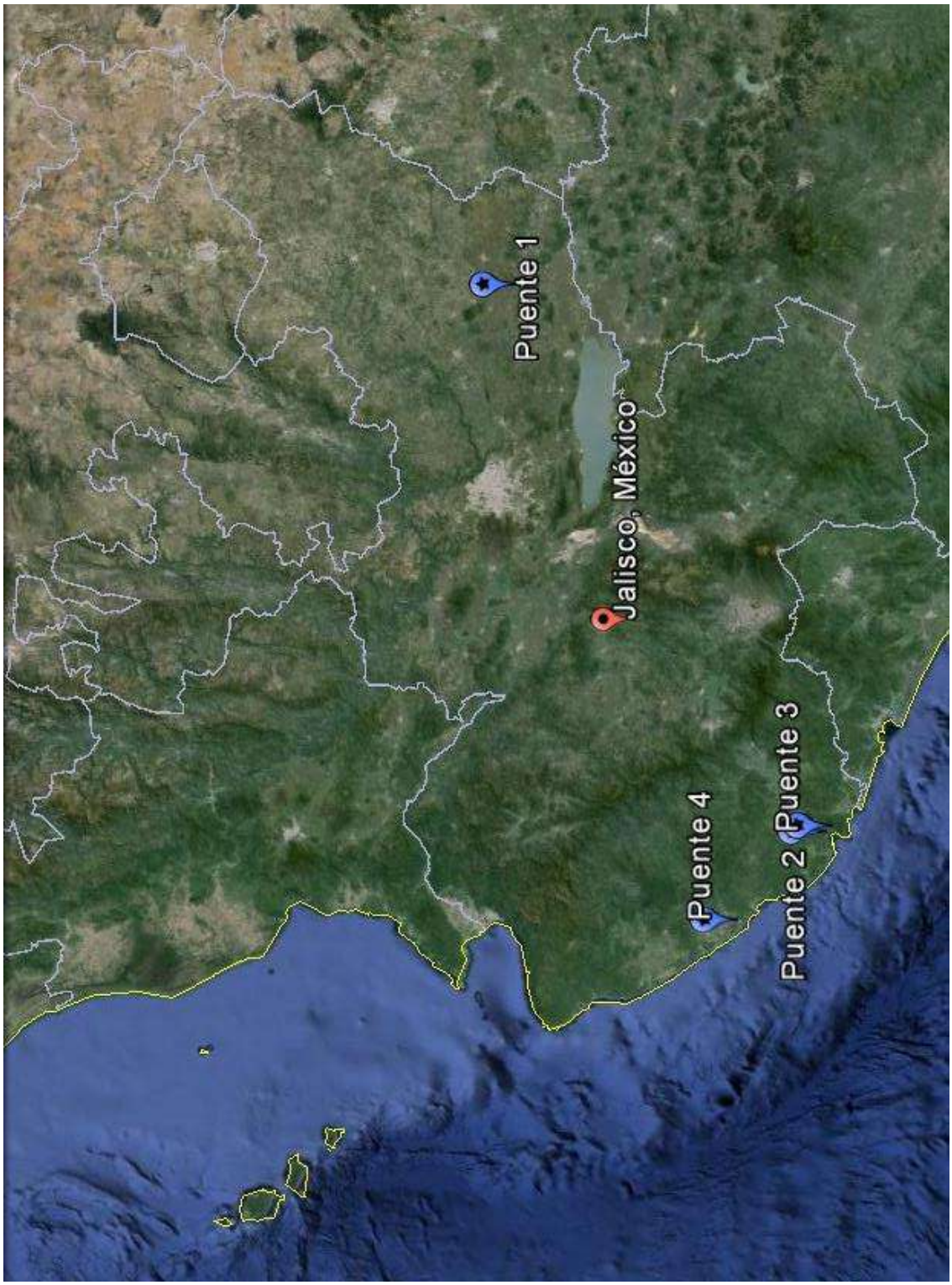


Figura A. 1 Ubicación de puentes del estado de Jalisco con calificación 4, según SIPUMEX.

Tabla A. 3 Puentes del estado de Jalisco con calificación 4, según SIPUMEX.

No. DE PUENTE			1	2	3	4
NOMBRE DEL PUENTE			Chapingo	Tigre I	Chivas Auxiliar II	San Nicolás
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1950	1970	1970	1970
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0	0	0	0
No. DE CLAROS			3	3	2	10
LONGITUD TOTAL			37.7 m	36.8 m	37.1 m	355.0 m
ANCHO TOTAL			9.2 m	9.1 m	9.0 m	9.0 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			7	6	6	6
ULTIMA INSPECCIÓN			27/09/2010	20/10/2010	20/10/2010	15/06/2009
PROXIMA INSPECCIÓN			2012	2012	2012	2010
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	No tiene dispositivos de junta	-	Muy abierta la junta	Muy abiertas. Impacto
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	-	Asentamiento / Movimiento	Asentamiento / Movimiento
		CALIFICACIÓN	3	2	3	3
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	Desplazamiento transversal
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	3
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Erosionado	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	1	3	1
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	2	1	1
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Acero expuesto, corrosión y deterioro de concreto	Exposición de acero claro 1 y 2	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	2	4	1
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	2 pilas 3 claros	-	-	Erosión y corrosión daño en concreto / corr. acero
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	Daño en concreto / corr. acero
		CALIFICACIÓN	1	2	3	3
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Cambio de apoyos	Cambio de apoyo	-	Grietas en apoyos pilas lado izquierdo y derecho
		TIPO DE DAÑO	Asentamiento / Movimiento	-	-	Otro
		CALIFICACIÓN	3	1	4	4
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Daño estructural sobre cargas	Humedad exposición de acero claro 3	Descorchamiento y exposición de acero	-
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto / corr. acero	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	4	4	1
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Consta de 3 trabes. Grietas en largueros claros 1 - 2	Acero expuesto	2 trabes grietas transversales a 45° de 2 a 3 mm	-
		TIPO DE DAÑO	Corrosión de acero estructural	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	3	4	1
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Renivelar	Azolvado 80%	Asolvado 80%	-
		TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	3	1	1
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	0	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Fisuras en largueros. Se realizará proyecto para determinar daños y posible arreglo a la subestructura y superestructura	-	-	Revisión de cimentación en pilas se sugiere encamisado en área de cimentación
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	-	-	Otro
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

De acuerdo a la Tabla A.3, se observa que en la superficie de los puentes, no se presenta daño significativo, donde se tienen los principales problemas es en las juntas de expansión, por asentamiento y/o movimiento, sólo un puente presenta daño en la banqueta y/o camellón, en los parapetos y/o pasamanos no presentan daños considerables.

Se tienen daños en algunos puentes en los conos y/o taludes, en los aleros sólo uno de los puentes tienen calificación 2 por lo cual no presentan daños graves.

En los estribos, el principal daño que tienen los dos puentes con calificación 2 y 4 respectivamente, es la exposición del acero. En las pilas, uno de los daños mencionados es el daño en concreto y corrosión del acero de refuerzo.

En los apoyos de los puentes se tienen diferentes daños, por asentamiento y/o movimiento, por grietas en apoyos y en otro de los puentes no se determina qué tipo de daño se presenta.

En las losas los principales daños son por daño en el concreto y corrosión en el acero estructural por la humedad y el descorchamiento y exposición del acero.

En cuestión a la corrosión son los 3 puentes que se encuentran sobre la costa del Pacífico mexicano.

En los largueros y/o trabes, sólo uno de los puentes se describe el tipo de daño, que es por corrosión del acero estructural, sin embargo, hay dos puentes con calificación de este componente 3 y 4 pero no especifica el daño.

En cuestión al cauce uno de los puentes tiene calificación de 3 y solo se menciona que está azolvado un 80% del cauce.

En la componente de otros elementos no indica daño alguno y en la componente de puente general, los cuatro puentes que tienen calificación 4, dos de ellos no se menciona

cual es el daño del puente, sin embargo de los otros dos si los menciona: uno de ellos es por daño estructural debido a la sobrecarga y el otro puente se propone revisar la cimentación, incluso se sugiere un encamisado en el área de la cimentación.

También se observa que estos cuatro puentes, uno se construyó en 1950 y los otros tres puentes se construyeron en 1970 y ninguno de los cuatro han sido reconstruidos.

Otra observación que se hace es que los cuatro puentes tienen 2 o más claros.

A2. COLIMA

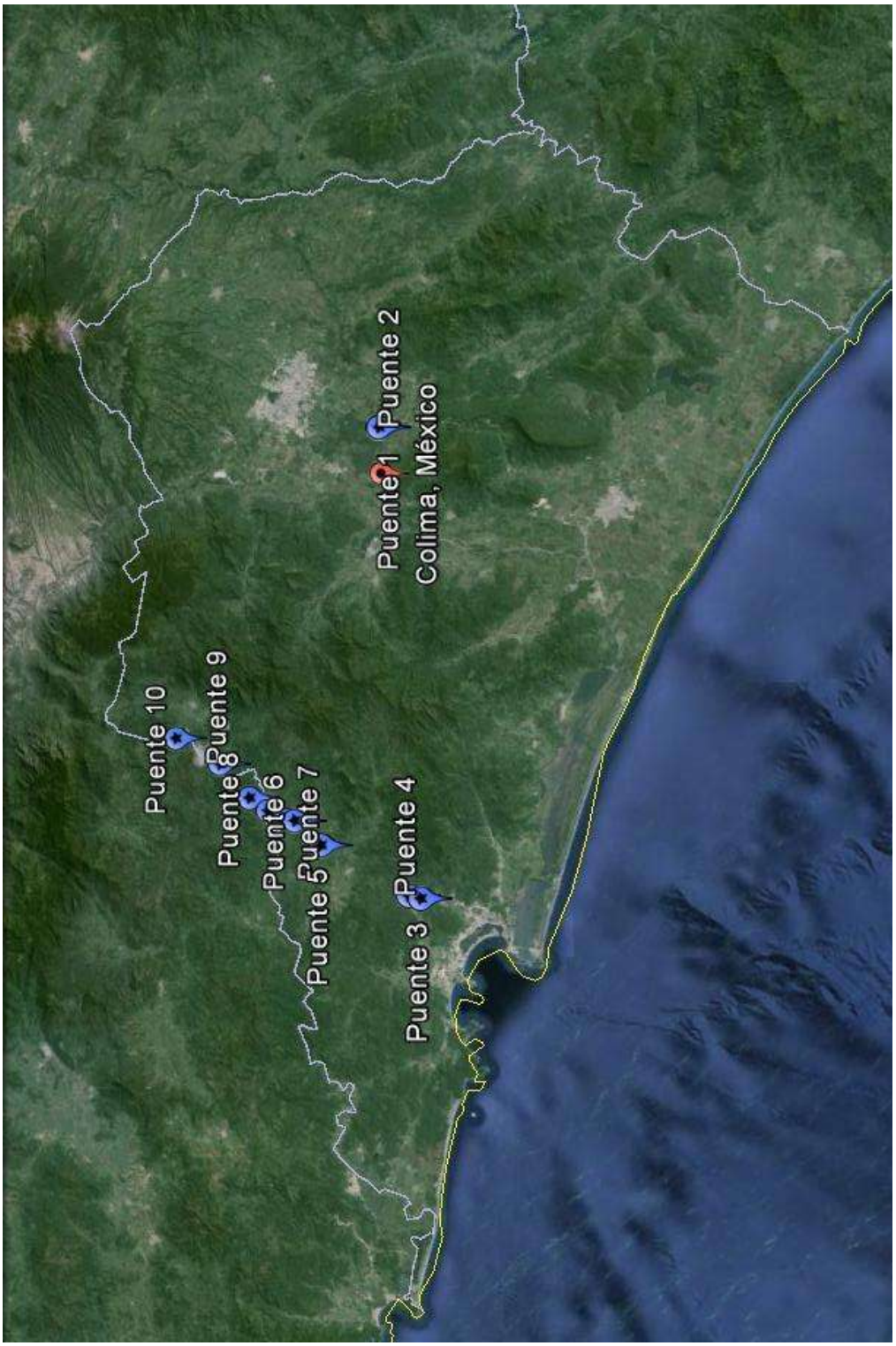


Figura A. 2 Ubicación de puentes del estado de Colima con calificación 4, según SIPUMEX.

Tabla A.4 Puentes del estado de Colima con calificación 4, según SIPUMEX.

			No. DE PUENTE	1	2	3	4
			NOMBRE DEL PUENTE	Los Asmoles Der.	Los Asmoles Izq.	Pancho Villa I	Jalipa
			AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1985	1985	1974	1974
			ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN	2003	2003	0	0
			No. DE CLAROS	3	3	3	4
			LONGITUD TOTAL	56.2 m	56.3 m	38.2 m	50.9 m
			ANCHO TOTAL	10.9 m	11.2 m	8.3 m	8.2 m
			No. INSPECCIONES PRINCIPALES	13	12	11	13
			ULTIMA INSPECCIÓN	27/09/2010	27/09/2010	28/09/2010	28/09/2010
			PROXIMA INSPECCIÓN	2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Desprendimiento del material pétreo utilizado en el riego de sello	Desprendimiento del material pétreo utilizado en el riego de sello	Deformación de accesos	Deformación de accesos y disgregación de la carpeta asfáltica
			TIPO DE DAÑO	Descomposición	Descomposición	Asentamiento / Movimiento	Otro
			CALIFICACIÓN	3	2	3	4
	JUNTAS DE EXPANSIÓN		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Requiere se coloquen juntas nuevas ya no existen las anteriores	Requiere se coloquen juntas nuevas ya no existen las anteriores	Conviene instalar juntas de goma asfáltica	No cuenta con junta
			TIPO DE DAÑO	Otro	Otro	Otro	Otro
			CALIFICACIÓN	3	4	4	4
	BANQUETA / CAMELLÓN		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Degradación del concreto, las banquetas se encuentran desalineadas por movimientos sísmicos	Degradación del concreto, las banquetas se encuentran desalineadas por movimientos sísmicos	-	-
			TIPO DE DAÑO	Daño en concreto / corr. acero	Daño en concreto / corr. acero	-	-
			CALIFICACIÓN	3	3	-	-
	PARAPETO / PASAMANOS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Acero estructural que presenta corrosión avanzada y daños por impactos	Acero estructural que presenta corrosión avanzada y daños por impactos	Dañado parapeto lado izquierdo	Totalmente deñado lado izquierdo
			TIPO DE DAÑO	Corrosión de acero estructural	Corrosión de acero estructural	Impacto	Impacto
			CALIFICACIÓN	3	3	3	4
	CONOS / TALUDES		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	La protección de los taludes presenta agrietamientos, se requiere rellenar para evitar que penetre el agua	La protección de los taludes presenta agrietamientos, se requiere rellenar para evitar que penetre el agua	Se tiene erosiones del talud junto al acero	-
			TIPO DE DAÑO	Asentamiento / Movimiento	Asentamiento / Movimiento	Erosión / Socavación	-
			CALIFICACIÓN	1	1	2	1
	ALEROS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Descomposición del concreto	Fisuras en mampostería
			TIPO DE DAÑO	-	-	Descomposición	Asentamiento / Movimiento
			CALIFICACIÓN	1	1	1	2
	ESTRIBOS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Descomposición del concreto por humedad excesiva y concreto fracturado en zona de apoyo y topes antisísmicos	Grieta transversal en estribo No. 1
			TIPO DE DAÑO	-	-	Asentamiento / Movimiento	Otro
			CALIFICACIÓN	1	1	3	2
	PILAS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	La pila No. 3 presenta socavación de la zapata y desconchamiento del concreto en cuerpo de la pila por impacto	La pila No. 3 presenta socavación de la zapata y desconchamiento del concreto en cuerpo de la pila por impacto	Descomposición del concreto por exceso de humedad y concreto fracturado en los apoyos y topes antisísmicos	Erosión por el escurrimiento de avenidas, descomposición del concreto fracturado en zona de apoyos y topes antisísmicos
			TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación	Descomposición	Erosión / Socavación
			CALIFICACIÓN	2	1	4	4
	APOYOS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Se tiene presencia de humedad por falta de las juntas de expansión	Se tiene presencia de humedad por falta de las juntas de expansión, desconchamiento del concreto	Cambio a apoyos integrales de neopreno	Apoyo de concreto fracturado
			TIPO DE DAÑO	Asentamiento / Movimiento	Asentamiento / Movimiento	Otro	Daño estructural (Sobrecarga)
			CALIFICACIÓN	3	4	4	4
	LOSA		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Se observa que el concreto está en proceso de descomposición por exceso de humedad, el espesor de la losa es muy pequeño y presenta cavernas	Se observa que el concreto está en proceso de descomposición por exceso de humedad.	Acero de refuerzo expuesto con alto grado de corrosión y cavernas de 5 cm y el concreto en estado de descomposición por carbonatación por exceso de humedad	Desconchamiento y descomposición del concreto con acero expuesto, por golpeteo y humedad
			TIPO DE DAÑO	Daño en concreto / corr. acero	Daño en concreto / corr. acero	Daño en concreto / corr. acero	Daño en concreto / corr. acero
			CALIFICACIÓN	4	4	4	4
	LARGUEROS / TRABES		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
			TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
			CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	CAUCE		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Se requiere reencauzar la corriente y proteger el cauce para evitar la erosión de las zapatas de las pilas	Se requiere reencauzar la corriente y proteger el cauce para evitar la erosión de las zapatas de las pilas	Cauce azolvado	Socavación bajo claros 3 y 4
			TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación	Otro	Erosión / Socavación
			CALIFICACIÓN	2	2	3	3
	OTROS ELEMENTOS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
			TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
			CALIFICACIÓN	0	0	0	-
	PUENTE EN GENERAL		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	El concreto de la losa se observa con una descomposición severa por la presencia de humedad excesiva, además existe acero de refuerzo expuesto	El concreto de la losa se observa con una descomposición severa por la presencia de humedad excesiva, además existe acero de refuerzo expuesto	El concreto de la losa se encuentra en descomposición por exceso de humedad, además en zonas el acero de refuerzo se encuentra expuesto y con alto grado de corrosión	Avenida extraordinaria del 14 de octubre de 1997 provocó socavación los apoyos se encuentran fracturados y la losa tiene zonas con concreto carbonatado y acero expuesto corroido
			TIPO DE DAÑO	Descomposición	Descomposición	Daño en concreto / corr. acero	Otro
			CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A.5 Puentes del estado de Colima con calificación 4, según SIPUMEX (Continuación).

			No. DE PUENTE	5	6	7	8
			NOMBRE DEL PUENTE	El Carrizo	El Costeño	El Camichin	El Limoncito
			AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1974	1974	1974	1974
			ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN	0	0	0	0
			No. DE CLAROS	8	2	2	3
			LONGITUD TOTAL	101.6 m	25.7 m	25.6 m	38.2 m
			ANCHO TOTAL	8.2 m	8.2 m	8.2 m	8.1 m
			No. INSPECCIONES PRINCIPALES	11	10	12	10
			ULTIMA INSPECCIÓN	29/09/2010	28/09/2010	28/09/2010	28/09/2010
			PROXIMA INSPECCIÓN	2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	La carpeta asfáltica existente presenta una textura lisa, requiere riego de sello	Ausencia de asfalto a los lados	Superficie deteriorada y lisa requiere un riego de sello	No hay asfalto a los lados del puente. Instalar asfalto
			TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	Otro	Daño estructural (sobrecarga)	Otro
			CALIFICACIÓN	2	2	2	3
	JUNTAS DE EXPANSIÓN		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Desprendida la placa de acero conveniente intalar junta de goma asfáltica	Placa de acero con corrosión, se requiere instalar nueva junta	Conveniente cambiar a junta de goma asfáltica	Requiere junta de goma asfáltica. El elemento no funciona como se diseñó
			TIPO DE DAÑO	Otro	Otro	Otro	Otro
			CALIFICACIÓN	4	4	3	4
	BANQUETA / CAMELLÓN		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
			TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
			CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PARAPETO / PASAMANOS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Destruido lado derecho. Reconstruirlo	Dañado por impacto lado derecho sin parapeto metálico	Desconchamiento del concreto hidráulico y destrucción del parapeto metálico al inicio del puente	Parcialmente dañado y sin parte metálica lado izquierdo claro No. 3
			TIPO DE DAÑO	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto
			CALIFICACIÓN	3	4	3	4
	CONOS / TALUDES		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Principios de erosión talud de terraplen de acceso Norte. Construir bordillos y lavaderos	Erosionado talud derecho del estribo No. 1. Rellenar. Construir bordillos	Socavación en accesos sur. Construir bordillos y lavaderos y muro de contención	-
			TIPO DE DAÑO	Otro	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación	-
			CALIFICACIÓN	3	2	3	1
	ALEROS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Descomposición del mortero de la mampostería	Descomposición del mortero de la mampostería por exceso de humedad	Extremo de alero derecho de estribo No. 1 destruido	Agrietamiento pequeño en la mampostería
			TIPO DE DAÑO	Descomposición	Descomposición	Impacto	Otro
			CALIFICACIÓN	3	3	2	3
	ESTRIBOS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Erosionado terreno de desplante dejando al descubierto la cimentación de estribo 9	Desconchamiento en corona de estribo No. 1 y mortero de la mampostería completamente carbonatado por exceso de humedad	Descomposición del mortero de la mampostería por exceso de humedad	Principios de descomposición del mortero de la mampostería por exceso de humedad
			TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	Otro	Descomposición	Descomposición
			CALIFICACIÓN	3	3	3	3
	PILAS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Desgaste de la mampostería, mortero de la mampostería completamente descompuesto por exceso de humedad	Pequeñas cavernas en cuerpo de pila 2 descomposición del mortero de la mampostería por humedad	Descomposición del mortero de la mampostería por exceso de humedad	Ligero desquebrajamiento de la piedra de mampostería y principio de descomposición del mortero y concreto por exceso de humedad
			TIPO DE DAÑO	Otro	Otro	Otro	Otro
			CALIFICACIÓN	4	3	3	3
	APOYOS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Apoyos de concreto fracturados no cuenta con apoyos de neopreno	Conveniente cambiar a apoyos integrales de neopreno apoyos de concreto y topes antisísmicos fracturados	Desconchamiento del concreto de los bancos de apoyo. Conveniente instalar apoyos integrales de neopreno	Desconchamiento del concreto en los bancos de apoyo, conveniente instalar apoyos integrales de neopreno
			TIPO DE DAÑO	Asentamiento / Movimiento	Otro	Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)
			CALIFICACIÓN	4	4	4	4
	LOSA		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Disgregación del concreto en zonas de junta de calzada con exposición de acero de refuerzo. Segregación del concreto	Descomposición y desconchamiento del concreto con acero de refuerzo expuesto lado derecho por exceso de humedad	Descomposición del concreto y exposición de acero de refuerzo en zona de junta de calzada. Reconstruir drenes	Disgregación del concreto exponiendo acero de refuerzo con principios de corrosión, en zonas extremas
			TIPO DE DAÑO	Descomposición	Otro	Daño en concreto / corr. acero	Otro
			CALIFICACIÓN	4	3	3	3
	LARGUEROS / TRABES		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
			TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
			CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	CAUCE		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Aguas arriba a 100 metros del puente muro desviador encauza la corriente por margen derecha. Socavación bajo pilas 6, 8 y estribo 9	Principios de socavación bajo pila No. 2 y estribo No. 3 el desplante de la cimentación al descubierto	Socavación en el cauce a nivel de desplante de la pila No. 2 y estribo No. 1	Hay socavación bajo alero izquierdo de estribo No. 1
			TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación
			CALIFICACIÓN	3	2	3	3
	OTROS ELEMENTOS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
			TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
			CALIFICACIÓN	-	0	-	0
	PUENTE EN GENERAL		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	La estructura en general presenta un alto grado de descomposición y daños en la superestructura por falta de los apoyos de neopreno y los sismos que se han presentado	Apoyos de concreto y topes antisísmicos fracturados losa con acero expuesto	Estructura con apoyos de concreto fracturados así como los topes antisísmicos y sin apoyos de neopreno lo que la hace susceptible a daños mayores en caso de sismos	Se requiere la reparación de bancos de apoyo y colocación de placas de neopreno para evitar daños estructurales en caso de sismos
			TIPO DE DAÑO	-	Asentamiento / Movimiento	Asentamiento / Movimiento	Daño estructural (sobrecarga)
			CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A.6 Puentes del estado de Colima con calificación 4, según SIPUMEX (Continuación).

		No. DE PUENTE	9	10
		NOMBRE DEL PUENTE	El Caracol	La Caída
		AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1974	1974
		ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN	0	0
		No. DE CLAROS	3	3
		LONGITUD TOTAL	47.0 m	45.9 m
		ANCHO TOTAL	10.0 m	10.0 m
		No. INSPECCIONES PRINCIPALES	11	11
		ULTIMA INSPECCIÓN	28/09/2010	28/09/2010
		PROXIMA INSPECCIÓN	2012	2012
COMPONENTE	**SUPERFICIE DE PUENTE**	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Capa asfáltica muy desgastada. Asentamiento de accesos. Renivelar accesos	Deformación y grietas en acceso norte
		TIPO DE DAÑO	Otro	Asentamiento / Movimiento
		CALIFICACIÓN	3	2
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Conveniente cambiar a junta de goma asfáltica	No existe junta asfáltica
		TIPO DE DAÑO	Otro	Otro
		CALIFICACIÓN	4	4
	BANQUETA / CAMELLÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-
	PARAPETO / PASAMANOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Estallamiento de concreto en pilastras y parapeto metálico dañado por impacto	Descomposición del concreto de pilastras, ligeramente dañado parapeto metálico dañado por impacto
		TIPO DE DAÑO	Asentamiento / Movimiento	Impacto
		CALIFICACIÓN	3	3
	CONOS / TALUDES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Erosión por escurrimiento en el cono del estribo 1	Principios de erosión en talúd de estribos No. 4. Es necesario canalizar los escurrimientos laterales para evitar un daño mayor de socavación
		TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación
		CALIFICACIÓN	2	4
	ALEROS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Caverna en unión con estribo 4 descomposición del concreto por exceso de humedad	Grieta vertical en alero derecho de estribo No. 4. Grieta vertical horizontal en alero izquierdo de estribo No. 4
		TIPO DE DAÑO	Otro	Asentamiento / Movimiento
		CALIFICACIÓN	2	3
	ESTRIBOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Descomposición del concreto por exceso de humedad	Presenta agrietamiento y principios de descomposición del concreto por exceso de humedad
		TIPO DE DAÑO	Descomposición	Descomposición
		CALIFICACIÓN	3	3
	PILAS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Socavación en pila 1 apoyo 2 y corona y cuerpo de pila en proceso de descomposición del concreto por exceso de humedad	Socavación en pila 2 y concreto en estado de descomposición por exceso de humedad
		TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	Descomposición
		CALIFICACIÓN	4	4
	APOYOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Conveniente instalar apoyos integrales de neopreno. Los existentes se encuentran en mal estado apoyos de concreto y topes antisísmicos fracturados	Cambiar a apoyos integrales de neopeno apoyos de concreto fracturados y exceso de humedad
		TIPO DE DAÑO	Asentamiento / Movimiento	Otro
		CALIFICACIÓN	4	4
	LOSA	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Acero de refuerzo expuesto con principios de corrosión	Principios de disgregación del concreto en zona de apoyos, y filtraciones en claro 2
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto / corr. acero	Descomposición
		CALIFICACIÓN	3	3
	LARGUEROS / TRABES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-
	CAUCE	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Socavación bajo cimentación pila No. 2. Proteger con concreto hidráulico para evitar asentamiento o volteamiento de pila 1	Socavación bajo pila No. 2
		TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación
		CALIFICACIÓN	4	4
	OTROS ELEMENTOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-
	PUENTE EN GENERAL	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Estructura con problemas de socavación en pila 1 y apoyo No. 2 y sin apoyos de neopreno que la hace susceptible a daños estructurales en caso de sismo	Puente con problemas de erosión en talud, socavación en pila y concreto en descomposición en pila, losa y estribos
		TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación
		CALIFICACIÓN	4	4

El estado de Colima tiene diez puentes con calificación 4. Los componentes de estos puentes, que son los largueros y/o trabes y otros elementos, no presentan daño alguno, sin embargo los diversos componentes sí presentan daños.

En lo que se refiere a la superficie de puente, se observa que dos puentes presentan descomposición, tres presentan daños por asentamiento y/o movimiento, dos presentan daño estructural y cuatro de ellos presentan otro tipo de daño.

En las juntas de expansión todos los puentes presentan un daño de otro tipo que no está contemplado en SIPUMEX.

En la banqueta y/o camellón sólo dos puentes presentan daño en el concreto y corrosión en el acero; en el parapeto y/o pasamanos, dos puentes presentan daño por corrosión en el acero estructural; siete presentan daño por impacto y un puente presenta daño por asentamiento y/o movimiento; en los conos y/o taludes; dos puentes presentan daño por asentamiento y/o movimiento; cinco puentes presentan daños por erosión y/o socavación y un puente presenta otro tipo de daño.

En los aleros tres puentes presentan daño por descomposición, dos presentan daño por asentamiento y/o movimiento, uno presenta daño por impacto y dos presentan otro tipo de daño.

En los estribos un puente presenta daño por asentamiento y/o movimiento, uno por erosión y/o socavación; cuatro por descomposición y dos puentes presentan otro tipo de daño en este componente.

En las pilas cuatro presentan daño por erosión y/o socavación, dos por descomposición y cuatro presentan otro tipo de daño.

En los apoyos de los puentes cuatro presentan daños por asentamiento y/o movimiento; tres por daño estructural y tres por otro tipo de daño.

En las losas los principales daños son por daño en el concreto y corrosión en el acero, ya que hay seis puentes con este tipo de daños, dos puentes más presentan daño por descomposición y otros dos presentan otro tipo de daño.

En cuestión al cauce el mayor problema es por la erosión y/o socavación, ya que sólo un puente presenta otro tipo de daño; y finalmente en la componente de puente en general se observa que dos puentes presentan daño por asentamiento y/o movimiento; otros dos por erosión y/o socavación, un puente por daño estructural, otro más por daño en el concreto y corrosión en el acero y uno más por otro tipo de daño, sin embargo en tres puentes no especifica el tipo de daño que tiene.

También se observa que estos diez puentes tienen dos ó más claros. Otra observación que se hace es que de estos diez puentes, dos fueron reconstruidos en el año 2003, después del sismo de Tecomán en 2003.

A3. MICHOACAN

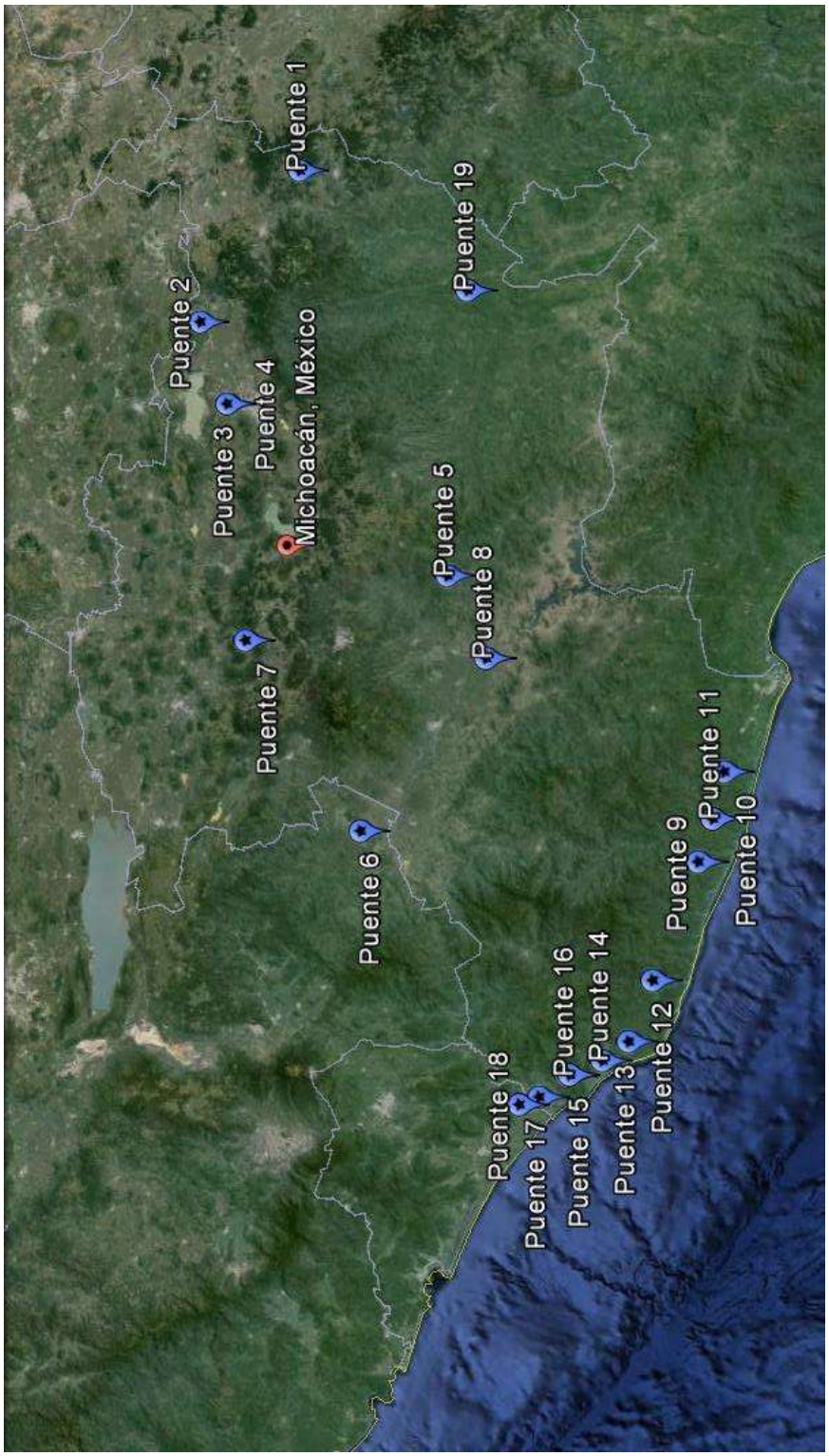


Figura A. 3 Ubicación de puentes del estado de Michoacán con calificación 4, según SIPUMEX

Tabla A. 7 Puentes del estado de Michoacán con calificación 4, según SIPUMEX.

No. DE PUENTE			1	2	3	4
NOMBRE DEL PUENTE			San Juan El Viejo	Queréndaro Der.	Río Grande Der.	Río Grande Izq.
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1938	1992	1980	1980
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			1988	0	0	0
No. DE CLAROS			1	2	1	1
LONGITUD TOTAL			25.6 m	26.7 m	31.0 m	31.0 m
ANCHO TOTAL			10.0 m	9.2 m	19.0 m	19.0 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			12	9	12	12
ULTIMA INSPECCIÓN			28/09/2010	28/09/2010	25/08/2010	25/08/2010
PROXIMA INSPECCIÓN			2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Requiere sello y limpieza	Cambio pavimento	-	Nivelar accesos
		TIPO DE DAÑO	Impacto	Impacto	-	Asentamiento / Movimiento
		CALIFICACIÓN	3	3	2	3
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Instalar juntas selladas	Instalar juntas selladas	Reparación de juntas transversal y longitudinal	Reparación de junta longitudinal
		TIPO DE DAÑO	Impacto	Daño en concreto / corr. acero	Impacto	Impacto
		CALIFICACIÓN	4	2	3	4
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Cambio de superestructura	Cambio de superestructura
		TIPO DE DAÑO	-	-	Daño estructural (Sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	2	1	2	3
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Presentar golpe en parapeto lado der.	Cambio de parapeto	Cambio de superestructura	Cambio de superestructura
		TIPO DE DAÑO	Corrosión de acero estructural	Impacto	Daño estructural (Sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	3	2	3	3
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Relleno limpieza	-	Área del cono dañado en estribo No. 1	Falta material para protección en estribo No. 1
		TIPO DE DAÑO	Impacto	-	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación
		CALIFICACIÓN	2	1	3	4
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Falta limpieza	Limpieza
		TIPO DE DAÑO	-	-	Otro	-
		CALIFICACIÓN	1	1	2	2
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Erosión / socavación en estribo No. 1	-	Erosión
		TIPO DE DAÑO	-	Erosión / Socavación	-	Erosión / Socavación
		CALIFICACIÓN	1	3	1	2
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Proteger con zampeado y gabiones	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	Erosión / Socavación	-	-
		CALIFICACIÓN	-	4	-	-
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Limpieza. Pintar y engrasar	-	Placas dañadas	Placas dañadas
		TIPO DE DAÑO	Corrosión de acero estructural	-	Daño estructural (Sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	2	1	3	3
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Reparación del concreto	Cambio de losa	Humedades y desconchamientos. Vibraciones aisladas. Fisuras. Acero expuesto en zonas aisladas	Humedades y desconchamientos. Vibraciones aisladas. Fisuras y grietas transversales
		TIPO DE DAÑO	Impacto	Impacto	Daño estructural (Sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	3	4	4	4
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Pintar periódicamente. Elementos dañados	Pintar periódicamente, limpieza	-	-
		TIPO DE DAÑO	Corrosión de acero estructural	Corrosión en acero estructural	-	-
		CALIFICACIÓN	4	3	-	-
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Limpieza	Socavación, instalar gabiones. Encauzamiento	Erosión / socavación en el estribo No. 1	Protección con mampostería en cabezales y pilotes
		TIPO DE DAÑO	Otro	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación
		CALIFICACIÓN	3	4	3	3
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Inspección especial recomendada	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 8 Puentes del estado de Michoacán con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).

No. DE PUENTE			5	6	7	8
NOMBRE DEL PUENTE			Ichamio	Tachinola II	Paracho	Cuate II
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1956	1940	1970	1955
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0	0	0	2001
No. DE CLAROS			1	1	1	2
LONGITUD TOTAL			10.8 m	12.0 m	10.0 m	56.5 m
ANCHO TOTAL			8.1 m	9.0 m	9.8 m	8.1 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			10	9	8	15
ULTIMA INSPECCIÓN			20/07/2010	18/09/2010	12/07/2010	15/07/2010
PROXIMA INSPECCIÓN			2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Ampliar hasta los bordillos	-	Limpieza de bordillos	-
		TIPO DE DAÑO	Impacto	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	1	2	1
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Infiltraciones, debe instalar juntas selladas	Sellar	-	Sellar
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto / corr. acero	Impacto	-	Impacto
		CALIFICACIÓN	2	2	1	3
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	2
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Parapeto dañado	-	Parapeto dañado, requiere ampliación	-
		TIPO DE DAÑO	Impacto	-	Impacto	-
		CALIFICACIÓN	3	2	4	2
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Sellar hueco cerca de los estribos	-	Protección del cono de derrame
		TIPO DE DAÑO	-	Otro	-	Erosión / Socavación
		CALIFICACIÓN	1	3	1	3
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Alero dañado	-	Presenta algunas grietas	-
		TIPO DE DAÑO	Impacto	-	Daño estructural (sobrecarga)	-
		CALIFICACIÓN	2	1	3	2
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Humedad	Grieta ancha	Proteger con gaviones estribo No. 2
		TIPO DE DAÑO	-	-	Daño en concreto / corr. acero	Erosión / Socavación
		CALIFICACIÓN	1	2	4	3
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	Protección de pila
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	Erosión / Socavación
		CALIFICACIÓN	-	-	-	4
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Cambio de apoyos	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	Impacto	-	-	-
		CALIFICACIÓN	3	1	1	2
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Desconchamiento en las orillas	Infiltraciones, grietas y desconches. Colocar 12 drenes	Filtraciones en losa	Alargar 22 drenes
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto / corr. acero	Daño estructural (sobrecarga)	Daño en concreto / corr. acero	-
		CALIFICACIÓN	4	2	3	2
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Grietas cortantes de varios anchos > 0.5 mm y grieta vert. en el diafragma	Grietas anchas en los diafragmas y trabes	Huecos en las trabes	-
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)	Daño en concreto / corr. acero	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	2
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Socavación	Limpieza del cauce. Proteger con gaviones.	Limpieza	Socavación alrededor de la pila. Colocar gaviones
		TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación	-	Erosión / Socavación
		CALIFICACIÓN	3	3	2	4
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Inspección espec. Recomendada	Inspección espe. Recomendada	Requiere ampliación a 4 carriles	-
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)	Otro	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 9 Puentes del estado de Michoacán con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).

No. DE PUENTE			9	10	11	12
NOMBRE DEL PUENTE			Acalpican	El Rangel	Playas Cuatas	Cachán
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1975	1975	1975	1975
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0	0	1999	0
No. DE CLAROS			5	2	2	9
LONGITUD TOTAL			171.1 m	51.0 m	70.2 m	380.5 m
ANCHO TOTAL			10.8 m	10.2 m	11.2 m	10.2 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			12	11	13	13
ULTIMA INSPECCIÓN			23/07/2010	23/07/2010	23/07/2010	13/08/2010
PROXIMA INSPECCIÓN			2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Instalar carpeta asfáltica	-	Falta sellar superficie y limpieza	-
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	-	Impacto	-
		CALIFICACIÓN	3	1	3	2
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Instalar juntas selladas	Instalar junta sellada	Instalar juntas selladas	Instalar juntas selladas
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto / corr. acero	Daño en concreto / corr. acero	Daño en concreto / corr. acero	Daño en concreto / corr. acero
		CALIFICACIÓN	4	3	3	3
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	Pintar periódicamente
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	Corrosión de acero estructural
		CALIFICACIÓN	1	1	1	3
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Asentamiento en los taludes	Asentamiento de terraplenes de acceso	Rellenar por socavación	Rellenar en asentamientos de terraplenes de acceso estribo 2. Reparar concreto
		TIPO DE DAÑO	Asentamiento / movimiento	Asentamiento / movimiento	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación
		CALIFICACIÓN	3	4	3	5
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Requiere prolongación de aleros	Requiere limpieza
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	2	2	2
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Acero expuesto por desconchamiento	Topes sísmicos fracturados	Acero expuesto	Requiere topes antisísmicos
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto / corr. acero	-	Daño en concreto / corr. acero	Impacto
		CALIFICACIÓN	2	2	3	2
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Socavación en pila No. 1	-	Desconchamiento y acero expuesto	Grietas en pila 7 por impacto. Socavación en pila No. 5
		TIPO DE DAÑO	Erosión / socavación	-	Daño en concreto / corr. acero	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	3	2	3	4
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Dañados completamente	Limpieza. Agrietamiento por sobrecarga. Neopreno aplastado	Banco de apoyo fracturados en los estribos 1 y 2	Limpieza. Reparar concreto
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)	Asentamiento / movimiento	Impacto
		CALIFICACIÓN	3	3	3	3
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Existen grietas	Áreas con humedad y desconchamiento. Acero expuesto. Desplazamiento en tramo No. 2	Acero expuesto	Grietas sobre apoyos, resanar grietas en la losa y colocar 119 coples en los goteros de los drenes
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	Otro	Daño en concreto / corr. acero	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	3	4	4	3
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Extremo de la trabe cajón fracturado en el estribo No. 1	Desconchamiento severo. Acero expuesto y grietas	Acero expuesto	Grietas en la losa inferior. Acero expuesto
		TIPO DE DAÑO	Asentamiento / movimiento	Daño en concreto / corr. acero	Daño en concreto / corr. acero	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Protección del cauce	Reencauzar lado sur	Protección con gabiones	-
		TIPO DE DAÑO	Erosión / socavación	Erosión / socavación	Erosión / socavación	-
		CALIFICACIÓN	4	3	4	2
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	Inspección espec. recomendada
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 10 Puentes del estado de Michoacán con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).

No. DE PUENTE			13	14	15	16
NOMBRE DEL PUENTE			Motín del Oro I	Ixtapilla	La Calera	La Placita
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1975	1975	1975	1975
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			1994	0	0	0
No. DE CLAROS			4	4	4	5
LONGITUD TOTAL			108.2 m	120.2 m	49.7 m	162.4 m
ANCHO TOTAL			10.2 m	10.2 m	10.1 m	10.0 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			13	12	11	9
ULTIMA INSPECCIÓN			23/07/2010	20/07/2010	13/07/2010	13/07/2010
PROXIMA INSPECCIÓN			2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Sellar la superficie. Reenivelar	Renivelar accesos, carpeta en la calzada	Renivelar acceso	Nivelar accesos
		TIPO DE DAÑO	Impacto	Impacto	Impacto	Impacto
		CALIFICACIÓN	2	2	3	2
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Reponer juntas	Instalar juntas selladas	Instalar juntas selladas	Instalar juntas selladas
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	Daño en concreto / corr. acero	Daño en concreto / corr. acero	Daño en concreto / corr. acero
		CALIFICACIÓN	4	4	3	3
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	Existe agrietamiento y acero expuesto
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	-	-	-	3
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Pintar periódicamente. Parapeto y losa fuera de su eje longitudinal por efecto del temblor de septiembre de 1985	Pintar periódicamente	Presenta grietas y desconches	Pintar periódicamente
		TIPO DE DAÑO	Corrosión de acero estructural	Corrosión de acero estructural	-	Corrosión de acero estructural
		CALIFICACIÓN	3	2	2	2
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Protección de estribo No. 1	Requiere relleno y limpieza	Erosión grave	2 lado izq.
		TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación
		CALIFICACIÓN	3	3	3	3
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Presenta grietas	Resanar concreto	Presenta grietas y desconchamientos
		TIPO DE DAÑO	-	Erosión / Socavación	-	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	1	3	2	4
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Desconchamiento en la terminación de los diafragmas	Humedad	Presenta grietas horizontal a todo lo largo de los estribos No. 1 y 5. Socavación en estribos	-
		TIPO DE DAÑO	Asentamiento / movimiento	-	Erosión / Socavación	-
		CALIFICACIÓN	3	2	4	2
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Faltan los topes antisísmicos	-	Socavación en la pila No. 3	Socavación en pila No. 3
		TIPO DE DAÑO	-	-	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación
		CALIFICACIÓN	2	2	3	3
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Desconchamiento del diafragma lado izq del estribo No. 5, necesario cambio de placas de neopreno	Placas con aplastamiento	Colocar placas de neopreno	Cambio de apoyos
		TIPO DE DAÑO	Asentamiento / movimiento	Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	4	3	3	3
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Presenta grietas y acero expuesto	Acero expuesto y grietas sobre apoyos, perforar la losa para instalar 16 drenes	Destapar drenes, es necesario colocar 10 coples como goteros en los drenes. Presenta manchas blanquesinas. Acero expuesto	Grietas sobre apoyos, colocar 5 coples como goteros en los drenes y perforar la losa para instalar 15 drenes
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)	Corrosión en acero estructural	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	4	4	3	3
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Presentan agrietamiento y filtraciones	Grietas en la losa inferior	-	Grietas de cortante
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)	-	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	3	4	-	4
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Limpieza del cauce	Reencauzar y limpieza. Protección	Limpieza, reencauzamiento y protección
		TIPO DE DAÑO	-	Erosión / socavación	Erosión / socavación	Erosión / socavación
		CALIFICACIÓN	2	3	3	3
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Protección del bordo del cauce aguas arriba del estribo No. 1. Reforzar pedraplén	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Inspección espec. recomendada	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	Daño estructural (sobrecarga)	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 11 Puentes del estado de Michoacán con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).

No. DE PUENTE			17	18	19
NOMBRE DEL PUENTE			San Telmo	Chocoquillo	El Rodeo
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1975	1975	1960
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0	0	0
No. DE CLAROS			1	1	2
LONGITUD TOTAL			18.6 m	18.5 m	14.3 m
ANCHO TOTAL			11.1 m	10.0 m	8.6 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			10	10	8
ULTIMA INSPECCIÓN			12/07/2010	12/07/2010	27/09/2010
PROXIMA INSPECCIÓN			2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Renivelar y sellar
		TIPO DE DAÑO	-	-	Impacto
		CALIFICACIÓN	1	1	3
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Instalar junta dilatación	Instalar juntas selladas
		TIPO DE DAÑO	-	-	Daño en concreto / corr. acero
		CALIFICACIÓN	1	2	3
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Agrietada, posible corrosión
		TIPO DE DAÑO	-	-	Daño en concreto / corr. acero
		CALIFICACIÓN	-	-	2
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Grietas. Corrosión, cambiar
		TIPO DE DAÑO	-	-	Daño en concreto / corr. acero
		CALIFICACIÓN	1	1	3
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Rellenar	-	Requiere limpieza
		TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	-	-
		CALIFICACIÓN	4	1	2
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Limpieza	Limpieza	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	2	1
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Principio de socavación en el estribo No. 2	Presenta socavación	-
		TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación	-
		CALIFICACIÓN	3	3	1
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	2
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Humedades, filtraciones. Falta 1 dren	Presenta manchas blanquiscas. Desconchamiento	Grietas y desconchamiento en claro 1. Acondicionamiento de drenes 10 pzas. Infiltraciones
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto / corr. acero	Daño en concreto / corr. acero	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	4	3	4
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Reencauzar e instalar gaviones	Limpieza del cauce. Reencauzamiento	Reencauzamiento
		TIPO DE DAÑO	Erosión / socavación	Erosión / socavación	Erosión / socavación
		CALIFICACIÓN	3	4	3
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4

Michoacán tiene diecinueve puentes con calificación cuatro. El único componente de estos puentes que no presenta daño alguno, es el de otros elementos.

En lo que se refiere a la superficie de puente, se tiene nueve puentes con daño por impacto, un puente con daño estructural y otro puente más con daño por asentamiento y/o movimiento.

En las juntas de expansión cinco puentes presentan daños por impacto, un puente presenta daño estructural y diez puentes presentan daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo.

En la banqueta y/o camellón se tiene tres puentes con daño estructural y un puente con daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo; en el parapeto y/o pasamanos tres puentes presentan daño por impacto, cinco puentes más presentan daño por corrosión de acero estructural, dos puentes presentan daño estructural y un puente presenta daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo; en los conos y/o taludes, un puente presenta daño por impacto, uno más por otro tipo de daño, diez puentes presentan erosión y/o socavación en este componente y dos puentes presentan daño por asentamiento y/o movimiento.

En los aleros un puente presenta daño por impacto, uno más por otro tipo de daño, dos puentes presentan daño estructural y un puente más presenta erosión y/o socavación.

En los estribos un puente presenta daño por impacto, tres puentes presentan daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo, seis puentes presentan erosión y/o socavación y un puente más presenta asentamiento y/o movimiento.

En las pilas un puente presenta daño estructural, uno más presenta daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo y cinco puentes presentan daño por erosión y/o socavación.

En los apoyos de los puentes dos presentan daño por impacto, un puente presenta corrosión en el acero estructural, siete puentes presentan daño estructural y dos presentan daño por asentamiento y/o movimiento.

En las losas dos puente presentan daños por impacto, un puente presenta daño por corrosión en el acero estructural, uno más presenta otro tipo de daños, nueve puentes presentan daño estructural y cinco puentes más presentan daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo; en los largueros y/o trabes dos puentes presentan daño por corrosión del acero estructural, seis puentes más presentan daño estructural, tres puentes presentan daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo y un puente presenta daño por asentamiento y/o movimiento.

En cuestión al cauce quince puentes presentan daño por la erosión y/o socavación y un puente presenta otro tipo de daño; y finalmente en la componente de puente en general se observa que un puente presenta otro tipo de daño y cinco puentes presentan daño estructural. En Michoacán, la mayoría de los puentes presentan daño estructurales, esto es por falta de capacidad de carga de los puentes.

También se observa que de estos diecinueve puentes, cuatro ya han sido reconstruidos, y se tienen puentes de uno ó varios claros.

A4. GUERRERO

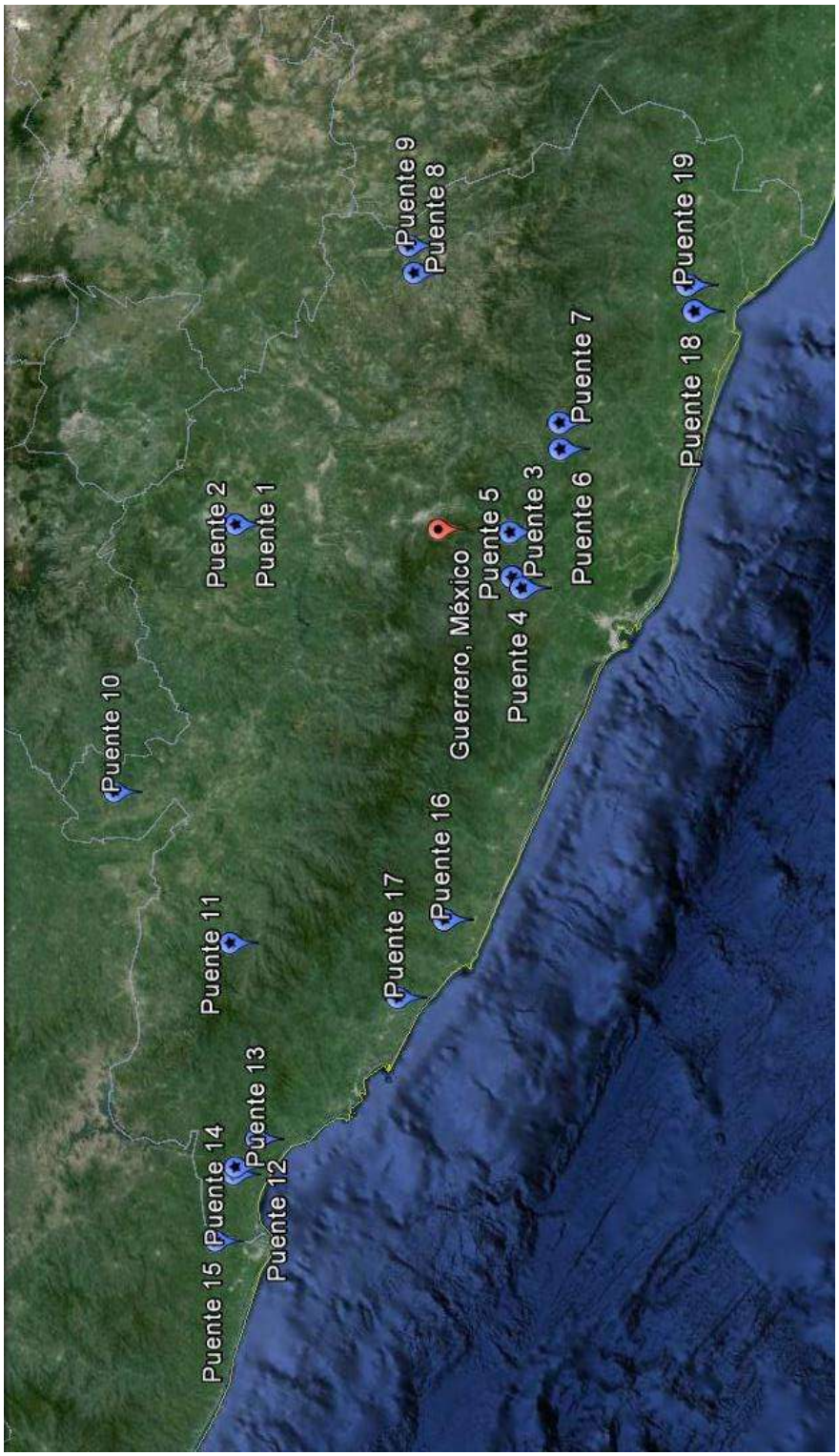


Figura A. 4 Ubicación de puentes del estado de Guerrero con calificación 4, según SIPUMEX.

Tabla A. 12 Puentes del estado de Guerrero con calificación 4, según SIPUMEX.

No. DE PUENTE			1	2	3	4
NOMBRE DEL PUENTE			Sasamulco	Tecuescontitlan I	Pablo Galeana II	El 48
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1964	1964	1967	1967
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0	2001	0	0
No. DE CLAROS			1	2	3	2
LONGITUD TOTAL			16.0 m	26.2 m	40.5 m	33.8 m
ANCHO TOTAL			12.3 m	12.7 m	9.8 m	9.3 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			9	8	6	8
ULTIMA INSPECCIÓN			14/08/2010	14/08/2010	15/09/2010	12/07/2009
PROXIMA INSPECCIÓN			2012	2012	2012	2011
COMPONENTE	**SUPERFICIE DE PUENTE**	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Exceso de carpeta asfáltica	Agrietamientos transversales en el aproche de entrada al puente	-	Fisuras en el pavimento asfáltico
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	Descomposición del neopreno	Obstruidas por material asfáltico	Obstruidas por pavimento asfáltico
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	2	1	2
	BANQUETA / CAMELLÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	PARAPETO / PASAMANOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	1	1	1
	CONOS / TALUDES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	ALEROS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Grieta vertical entre el alero derecho del estribo No. 1	Fisuras en el alero izquierdo del estribo No. 3	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	3	1	1
	ESTRIBOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Grieta vertical de 0.6 mm en el estribo No. 1	Grietas en alero der e indicios en el alero izq del estribo No. 1, ahí mismo se observa acero de refuerzo expuesto en la sobrecorona y las coronas existentes presentan fisuras	Fisura de 0.3 mm al centro del estribo No. 4	-
		TIPO DE DAÑO	Asentamiento / Movimiento	Daño estructural (sobrecarga)	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	1	1
	PILAS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	Estallamiento en repellado en la pila No. 2	-	Degradación de la mampostería alrededor de la cimentación de la pila
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	Erosión / socavación
		CALIFICACIÓN	-	1	1	1
	APOYOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Grieta en la corona debajo de la nervadura central y desconches de concreto en zona de apoyo, se requiere cambio de apoyo	Aplastados	Aplastados. Fractura en la base de la trabe del lado derecho en el tramo No. 3-4, de la pila No. 3	Lubricar las mecedoras de acero
		TIPO DE DAÑO	Asentamiento / Movimiento	-	Asentamiento / Movimiento	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	3	2	4	4
	LOSA	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Fisuras de 0.2 mm con estallamiento de concreto. Se requiere prolongar los drenes	-	Fisura de 0.3 mm con filtraciones en la parte inferior y manchas blanquesinas	Escurrimientos, fisuras transversales con filtración y acero de refuerzo expuesto
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	1	2	2
	LARGUEROS / TRABES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Fisuras de 0.4 mm	Diafragma interm claro 1-2 con grietas por paso de presfuerzo long; diafragma extremo y el acero de refuerzo expuesto y fisuras; bloques de anclaje y desv con corrosión en barras.	Fisuras de 0.6 mm al centro de los diafragmas intermedio de cada claro y de 0.3 mm en trabes	Grietas de 0.6 mm por flexión y cortante
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	3	3	4	4
	CAUCE	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	Degradación en el claro 2-3	Obstrucción debido a la existencia del estribo antiguo	-
		TIPO DE DAÑO	-	Erosión / socavación	-	-
		CALIFICACIÓN	1	2	2	1
	OTROS ELEMENTOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Actualmente se tiene un espesor de carpeta sobre el puente de 0.80 mts	-	-	Vibración excesiva
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 13 Puentes del estado de Guerrero con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).

No. DE PUENTE			5	6	7	8
NOMBRE DEL PUENTE			Omitlán	Mecatepec	Tlatenango	Tlapaneco I
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1963	1963	1964	1966
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0	0	0	2000
No. DE CLAROS			7	3	2	3
LONGITUD TOTAL			161.3 m	55.2 m	55.4 m	59.1 m
ANCHO TOTAL			8.2 m	9.4 m	9.4 m	9.5 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			9	8	8	8
ULTIMA INSPECCIÓN			15/09/2010	22/09/2010	22/09/2010	09/06/2010
PROXIMA INSPECCIÓN			2012	2012	2012	2011
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Pérdida de la capa de desgaste y fisuras por contracción	Material asfáltico clasificado en el carril izquierdo	Acero expuesto y fisuras por contracción
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	2	1	2
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Obstruidas por material asfáltico. No existe dispositivo	Obstruidas sin dispositivos	Obstruidas con material asfáltico	Las bandas de neoprenos están dañadas
		TIPO DE DAÑO	Descomposición	Otro	Descomposición	Descomposición
		CALIFICACIÓN	3	2	2	2
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Zampeado de mampostería presenta oquedades aisladas	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Grieta en el lado derecho del estribo No. 3	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Se observan fisuras	Fisuras de 0.2 mm en la corona y de 0.4 mm entre el alero izquierdo y el cuerpo del estribo No. 4
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	2
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	2	1	1
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Se requiere cambio de apoyos y construcción de bancos y bases para gateo, las mecedoras de acero tramo 5-6, 6-7 y 7-8 con corrosión y no funcionan. Fracturadas las del tramo principal	Plomos escurridos y mecedoras inclinadas. Construir bancos y bases para gateo	Plomos escurridos, leves fracturas en base de trabes y mecedoras de concreto desplomadas. Cambiar y construir bancos y bases para gateo	-
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto / corr. acero	Asentamiento / movimiento	Asentamiento / movimiento	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	1
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Manchas en bordes	-	-	Fisuras de 0.2 mm
		TIPO DE DAÑO	Descomposición	-	-	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	2	1	1	2
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Fallas de colado y corrosión de acero expuesto en los tramos No. 4-5 y 6-7. Fisuras por cortante y momento de 0.4 mm	Fisuras 0.3 mm	Leves fisuras 0.2 mm	Fisuras de 0.3 mm
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto / corr. acero	Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	4	2	3	2
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	El río se esta cargando sobre la margen derecha, formando una curvatura aguas arriba	-	-	Se esta cargando sobre la margen derecha, formando una curvatura aguas arriba, debido a que obstruyeron los claros 1 y 2 con material de corte
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	1	1	4
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Nivelar tableros	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 14 Puentes del estado de Guerrero con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).

No. DE PUENTE			9	10	11	12
NOMBRE DEL PUENTE			Tlapaneco II	Tupatarillo	El Cedral II	El Roble
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1965	1969	1976	1969
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0	0	0	0
No. DE CLAROS			7	2	3	1
LONGITUD TOTAL			212.8 m	21.0 m	95.6 m	18.8 m
ANCHO TOTAL			8.0 m	8.0 m	8.5 m	9.1 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			8	7	7	9
ULTIMA INSPECCIÓN			09/06/2010	30/06/2010	01/07/2010	29/09/2010
PROXIMA INSPECCIÓN			2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Abiertas, no existe dispositivo de neopreno	No existe dispositivo de sello	Obstruidas por material asfáltico	-
		TIPO DE DAÑO	Descomposición	-	-	-
		CALIFICACIÓN	3	1	1	1
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	Desconchamiento con acero de refuerzo expuesto de bajo de una pilastra en la parte inferior de la banqueta
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	1
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Faltan piezas de la defensa metálica en el acceso de salida del puente lado derecho	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Invasión del lado derecho, en la entrada del puente	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Fisuras de 0.2 mm en coronas	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Desplante al nivel de la superficie	Acero de refuerzo expuesto en la parte inferior de la pila No. 2	-
		TIPO DE DAÑO	-	Descomposición	-	-
		CALIFICACIÓN	1	4	2	-
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Desconchamiento en zoclos de las nervaduras y neoprenos aplastados	Apoyos parasitos con presencia de humedad	-	Plomos escurridos y desconchamientos en mecedoras, cambiar apoyos y construir bancos y bases para gateo.
		TIPO DE DAÑO	Asentamiento / movimiento	-	-	Asentamiento / movimiento
		CALIFICACIÓN	4	1	2	4
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Manchas de filtración por grietas en superficie, grietas de 0.3 mm en la parte inferior	Fisuras de 0.3 mm	Grietas de 0.4 mm con filtraciones y corrosión en la base de los diafragmas extremos, se observan grietas en el cuarto del claro central	Leves fisuras con humedad de 0.2 mm, manchas de oxidación
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	-	Daño en concreto / corr. acero	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	2	1	4	2
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Fisuras de 0.3 mm por cortante y momento	-	-	Fisura en base de trabe en zona de apoyos
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (sobrecarga)	-	-	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	3	-	-	2
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Degradación	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1	1
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Vibración excesiva	Vista general, se solicita inspección especial	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 15 Puentes del estado de Guerrero con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).

			No. DE PUENTE	13	14	15	16
			NOMBRE DEL PUENTE	El Chico	Joluta	Tamacuas	San Luis
			AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1970	1970	1969	1965
			ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN	0	1991	1996	0
			No. DE CLAROS	3	3	2	7
			LONGITUD TOTAL	56.5 m	82.5 m	33.0 m	177.4 m
			ANCHO TOTAL	9.1 m	9.1 m	9.0 m	9.0 m
			No. INSPECCIONES PRINCIPALES	9	9	6	9
			ULTIMA INSPECCIÓN	30/09/2010	29/09/2010	17/09/2009	17/09/2010
			PROXIMA INSPECCIÓN	2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Irregular con desprendimiento de la capa de desgaste y asentamiento en aproches	Irregular en los aproches del puente con grietas longitudinales e indicios de descomposición del pavimento asfáltico sobre el puente	Irregular, con presencia de baches	-
		TIPO DE DAÑO		-	-	-	-
		CALIFICACIÓN		2	2	2	1
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Obstruidas y sin dispositivos	Sellos de neopreno destruidos, sustituir piezas tipo Mex T-50	Obstruidas con material asfáltico y el neopreno no existe	Abiertas y obstruidas con material asfáltico y sin dispositivo de sello
		TIPO DE DAÑO		Descomposición	Impacto	-	Descomposición
		CALIFICACIÓN		2	3	2	2
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		-	-	-	Estallamiento de concreto en la parte inferior, con acero de refuerzo expuesto
		TIPO DE DAÑO		-	-	-	Daño en concreto / corr. acero
		CALIFICACIÓN		1	1	1	2
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		-	Destrucción parcial del lado izquierdo	-	Tubo del parapeto del lado izquierdo parcialmente destruido
		TIPO DE DAÑO		-	-	-	-
		CALIFICACIÓN		1	1	1	2
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Falta conos de derrame en los caballetes No. 1 y 4	-	-	-
		TIPO DE DAÑO		Erosión / socavación	-	-	-
		CALIFICACIÓN		2	1	1	1
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Fisuras de 0.4 mm y desconchamiento del caballete No. 1 lado izquierdo	Fisura de 0.4 mm en forma diagonal y destrucción parcial de la mampostería debajo del remate de parapeto del estribo No. 1 lado izquierdo	-	-
		TIPO DE DAÑO		-	-	-	-
		CALIFICACIÓN		2	1	1	1
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		En los caballetes No. 1 y 4, se observan grietas de 0.8 mm	-	Estribo No. 1 con grietas de 0.8 mm en forma vertical y diagonal, además se observa el desplante en ambos estribos.	-
		TIPO DE DAÑO		Daño estructural (sobrecarga)	-	Daño estructural (sobrecarga)	-
		CALIFICACIÓN		3	1	4	1
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Se observa el nivel de desplante y grieta de 0.8 mm transversalmente en la pila No. 3	-	-	Fisuras de 0.2 mm
		TIPO DE DAÑO		-	-	-	-
		CALIFICACIÓN		2	1	1	2
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Congelados y oxidados, cambiar y construir bancos y bases para gateo, topes antisísmicos dañados	-	-	Limpiar y pintar mecedoras de acero. Construir topes sísmicos
		TIPO DE DAÑO		Daño estructural (sobrecarga)	-	-	Corrosión de acero estructural
		CALIFICACIÓN		4	1	1	4
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Leves fisuras	Grietas en cuadrícula en zona central de tableros. Observar evolución	Presenta filtraciones los volados y humedad entorno a los drenes	Manchas de humedad, degradación del concreto, con acero de refuerzo expuesto en la cara inferior del claro No. 7-8
		TIPO DE DAÑO		-	Daño estructural (sobrecarga)	-	-
		CALIFICACIÓN		1	2	1	2
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Fisuras de 0.2 mm y 0.3 mm en trabes y diafragma extremo, acero expuesto en zona de apoyo de la base de trabe	Se rompio un cable de acero de presfuerzo en el tramo 1-2. Fisuras de 0.3 mm por cortante y flexión. Bloques desviadores con corrosión y en el tramo 2-3 esta desplazado el bloque	Puntos de oxidación en tubos de anclaje y desviadores, así como en placas de acero estructural. Fisura en la base de la trabe en la zona de apoyos	Fisuras de 0.4 mm, acero expuesto por defecto de colado. Tubo de 6 pulg de acero adozado en las trabes a lo largo del puente del L/D
		TIPO DE DAÑO		Daño estructural (sobrecarga)	Daño estructural (sobrecarga)	-	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN		3	4	1	4
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Desplante de pila No. 3 descubierto; terreno firme	-	-	El río pasa por los claros No. 5-6-7 cauce
		TIPO DE DAÑO		-	-	-	-
		CALIFICACIÓN		2	1	1	1
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO		-	-	-	-
		CALIFICACIÓN		-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO		-	-	-	-
		CALIFICACIÓN		4	4	4	4

Tabla A. 16 Puentes del estado de Guerrero con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).

			No. DE PUENTE	17	18	19
			NOMBRE DEL PUENTE	La Barrita I	Arroyo seco	Tila
			AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1965	1970	1970
			ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN	0	0	0
			No. DE CLAROS	2	2	4
			LONGITUD TOTAL	34.2 m	41.4 m	122.4 m
			ANCHO TOTAL	9.2 m	8.9 m	8.8 m
			No. INSPECCIONES PRINCIPALES	6	9	9
			ULTIMA INSPECCIÓN	18/09/2010	24/09/2010	30/09/2010
			PROXIMA INSPECCIÓN	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Indicios de descomposición y agrietamiento transversal	-	Presencia de baches en los aproches
		TIPO DE DAÑO		-	-	-
		CALIFICACIÓN		2	1	1
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Obstruidas con material asfáltico	Abiertas, no existe dispositivo de neopreno	Abiertas y obstruidas con material asfáltico. Se requiere instalar dispositivo
		TIPO DE DAÑO		-	Descomposición	Impacto
		CALIFICACIÓN		2	2	4
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Estallamiento en concreto con acero expuesto en la parte inferior	-	-
		TIPO DE DAÑO		-	-	-
		CALIFICACIÓN		2	1	1
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		-	-	-
		TIPO DE DAÑO		-	-	-
		CALIFICACIÓN		1	1	1
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		-	-	-
		TIPO DE DAÑO		-	-	-
		CALIFICACIÓN		1	1	1
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Fisuras en corona	-	-
		TIPO DE DAÑO		-	-	-
		CALIFICACIÓN		2	1	1
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		-	-	-
		TIPO DE DAÑO		-	-	-
		CALIFICACIÓN		1	1	1
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		-	-	-
		TIPO DE DAÑO		-	-	-
		CALIFICACIÓN		1	1	1
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Corrosión e inclinadas las mecedoras	Se presentan desconchamientos en las bases de las trabes y mecedoras, con pérdida de alineamiento vertical	Mecedoras con fracturas y desplome, cambiar apoyos y construir bancos y bases para gateo
		TIPO DE DAÑO		Corrosión en acero estructural	Asentamiento / movimiento	Asentamiento / movimiento
		CALIFICACIÓN		4	4	4
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Fisuras de 0.2 mm y estallamientos en volados con acero de refuerzo expuesto	Puntos de estallamiento por corrosión interna del acero de refuerzo. Acero expuesto	Fisuras con manchas blanquesinas y estallamiento de concreto
		TIPO DE DAÑO		Daño en concreto / corr. acero	Daño en concreto / corr. acero	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN		2	2	2
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		Fisuras de 0.3 mm en trabes y diafragmas	Fisuras de 0.3 mm y acero expuesto por fallas de colado	Grietas de 0.4 mm en la zona de apoyo y en diafragmas extremos e intermedios. Acero expuesto por fallas de colado
		TIPO DE DAÑO		Daño estructural (sobrecarga)	-	Daño estructural (sobrecarga)
		CALIFICACIÓN		3	2	4
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		-	Degradación en el claro No. 2-3	El agua pasa únicamente por el claro No. 4-5, es necesario encausarlo por los otros claros
		TIPO DE DAÑO		-	-	-
		CALIFICACIÓN		1	2	2
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		-	-	-
		TIPO DE DAÑO		-	-	-
		CALIFICACIÓN		-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO		-	-	-
		TIPO DE DAÑO		-	-	-
		CALIFICACIÓN		4	4	4

En el estado de Guerrero se tiene diecinueve puentes con calificación 4. Los componentes en los que no se identifica algún daño son la superficie del puente, el parapeto y/o pasamanos, los aleros, los otros elementos y el componente de puente en general.

En lo que se refiere a las juntas de expansión un puente presenta daño por impacto, uno más presenta daño de otro tipo y siete puentes presentan daños por descomposición.

En la banqueta y/o camellón sólo un puente presenta daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo; en los conos y/o taludes, un puente presenta daño por erosión y/o socavación.

En los estribos tres puentes presentan daño estructural y un puente presenta daño por asentamiento y/o movimiento.

En las pilas un puente presenta daño por erosión y/o socavación y otro más por descomposición.

En los apoyos de los puentes dos presentan daño por corrosión en el acero estructural, dos puentes presentan daño estructural, un puente presenta daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo y ocho puentes presentan daño por asentamiento y/o movimiento.

En las losas seis puentes presentan daño estructural, tres puentes más presentan daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo y un puente presenta daño por descomposición; en los largueros y/o trabes catorce puentes presentan daño estructural y un puente presenta daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo.

En cuestión al cauce un puente presenta daño por erosión y/o socavación.

También se observa que de estos diecinueve puentes, tres ya han sido reconstruidos, y se tienen puentes de uno o varios claros.

A5. OAXACA

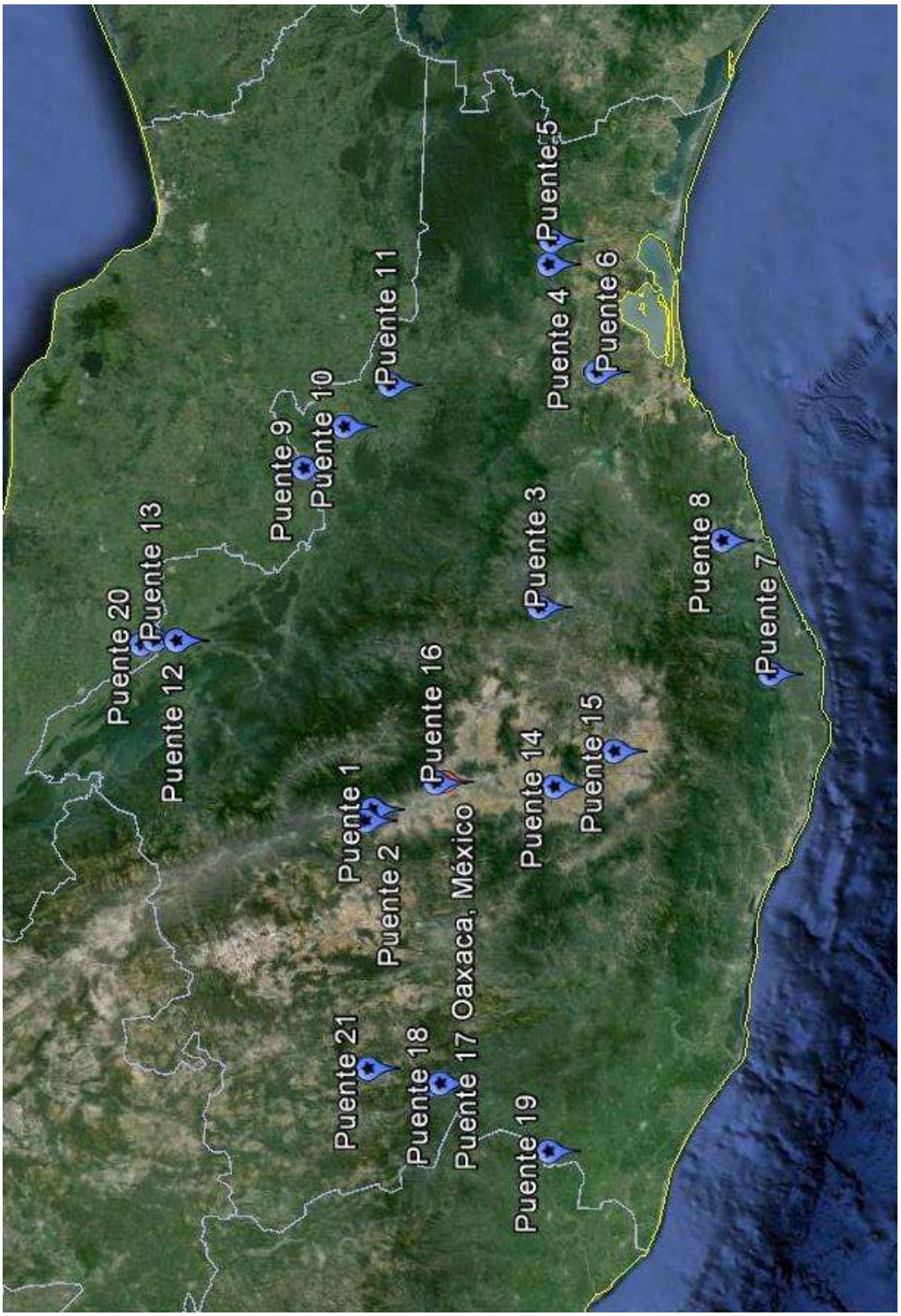


Figura A. 5 Ubicación de puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX.

Tabla A. 17 Puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX.

		No. DE PUENTE	1	2	3	4
		NOMBRE DEL PUENTE	Magdalena	El Milagro	El Gramal	Cazadero
		AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1942	1970	1944	1947
		ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN	1988	2001	1993	2007
		No. DE CLAROS	2	2	1	5
		LONGITUD TOTAL	21.0 m	44.5 m	12.0 m	77.7 m
		ANCHO TOTAL	10.0 m	9.0 m	9.0 m	12.8 m
		No. INSPECCIONES PRINCIPALES	8	7	7	14
		ULTIMA INSPECCIÓN	14/07/2010	14/07/2010	17/06/2010	08/06/2010
		PROXIMA INSPECCIÓN	2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	**SUPERFICIE DE PUENTE**	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	2	1
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	No tiene dispositivos de juntas en el cuerpo antiguo, en la ampliación se deterioraron las placas de acero y se salio la junta de neopreno
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	Otro
		CALIFICACIÓN	-	1	2	3
	BANQUETA / CAMELLÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	1	2	-
	PARAPETO / PASAMANOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	2	2
	CONOS / TALUDES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	Destrucción de conos de derrame.	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	Erosión / Socavación	-	-
		CALIFICACIÓN	2	4	2	2
	ALEROS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	Fractura en remate de alero	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	Asentamiento/Movimiento	-
		CALIFICACIÓN	2	-	4	2
	ESTRIBOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	Grieta transversal y cerca de corona No. 2 y humedecimiento de cuerpo del estribo	Junta fria abierta en unión de estribo actual con la ampliación nueva. Rellenar con epóxicos.
		TIPO DE DAÑO	-	-	Otro	Otro
		CALIFICACIÓN	2	2	4	2
	PILAS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	Se observa que el cilindro de cimentación esta desprotejido debido a la socavación del cauce, deberán efectuarse trabajos de recimentación.	-	Fractura de corona y tajamar de pila 2 lado Izq.
		TIPO DE DAÑO	-	Erosión / Socavación	-	Daño estructural (Sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	2	2	-	4
	APOYOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	Fractura en corona de pilas bajo apoyos, no se observan apoyos de neopreno u de otro material
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	Daño estructural (Sobrecarga)
		CALIFICACIÓN	1	1	3	4
	LOSA	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Filtración de agua. Acero expuesto claro 1-2	-	Filtración de agua entre nervaduras y losa, provoca carbonatación en losas y nervaduras en la parte central	Junta en mal estado de unión de losa antigua con la losa de ampliación lo que provoca filtración.
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto / Corr. Acero	-	-	Descomposición
		CALIFICACIÓN	4	1	2	2
	LARGUEROS / TRABES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	Estructura tridilosa	Estallamiento del concreto en bordes, acero visible. Corrosión	Grietas finas verticales en tramo 5-6.
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	2	4	2
	CAUCE	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Presenta socavación claro 2-3 y azolve del claro 1-2	Socavación grave de cauce, lo que pone en riesgo la estabilidad del cilindro de protección. Deberá efectuarse trabajos de recimentación.	-	-
		TIPO DE DAÑO	Erosión / Socavación	Erosión / Socavación	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	2	2
	OTROS ELEMENTOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Puente con dos secciones diferentes en superestructura, deberá considerarse construir un puente de un solo claro, para aumentar el área hidráulica.	-	-	Puente ampliado en el año 2005 pero no reforzada la estructura actual.
		TIPO DE DAÑO	Otro	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 18 Puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX (continuación).

No. DE PUENTE			5	6	7	8
NOMBRE DEL PUENTE			Niltepec	Los Caporales	Coyula	El Limón
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1947	1945	1970	1978
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0	2005	0	0
No. DE CLAROS			5	2	6	3
LONGITUD TOTAL			77.5 m	29.6 m	180.6 m	36.9 m
ANCHO TOTAL			7.6 m	12.9 m	10.3 m	10.8 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			9	12	13	8
ULTIMA INSPECCIÓN			08/06/2010	18/06/2010	10/06/2010	15/08/2009
PROXIMA INSPECCIÓN			2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Acero expuesto, grietas, descomposición del concreto	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	Daño en concreto/ corr. Acero	-
		CALIFICACIÓN	2	1	4	2
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Falta acero, daño en perfiles	No dispositivo de junta
		TIPO DE DAÑO	-	-	Otro	Descomposición
		CALIFICACIÓN	2	2	3	3
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Daño en cara inferior por humedad tramo 3-4 lado derecho	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	2	2	-
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	2	1	1
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	2	2	2
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	2	2	2
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	Estallamiento de concreto por corrosión de acero
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	2	1	3
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Pérdida de mamposteo al pie del elemento.	-	Grietas verticales en la pila	-
		TIPO DE DAÑO	Descomposición	-	Daño en concreto/ corr. Acero	-
		CALIFICACIÓN	4	2	2	2
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Grieta en corona de pilas	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	Descomposición	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	1	2	1
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Despostillamieto, acero visible	-	Ver daños en componente 1	Concreto disgregado por corrosión del acero. Estallamiento de concreto en talón de losa
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto/ corr. Acero	-	-	Daño en concreto/ corr. Acero
		CALIFICACIÓN	2	4	4	4
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Grietas de cortante, de 0.2 mm. Estallamiento de concreto en talones de trabe izquierda de claro 1-2	-	Daño en concreto causado por mala reparación	-
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (Sobrecarga)	-	Daño en concreto/ corr. Acero	-
		CALIFICACIÓN	4	1	4	-
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Socavación local al pie de pila 5	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	Erosión/Socavación	-	-	-
		CALIFICACIÓN	3	1	2	1
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Puente angosto, necesario efectuar la ampliación de subestructura y superestructura.	Puente en proceso de reconstrucción de la superestructura	-	-
		TIPO DE DAÑO	Otro	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 19 Puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX (continuación).

No. DE PUENTE			9	10	11	12
NOMBRE DEL PUENTE			Lazaro Cárdenas	Felipe Angeles	Robalo	Arroyo Choapan
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1972	1972	1971	1970
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0	0	0	0
No. DE CLAROS			1	3	3	3
LONGITUD TOTAL			16.3 m	61.7 m	55.3 m	46.9 m
ANCHO TOTAL			10.0 m	9.1 m	9.1 m	8.0 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			9	7	8	7
ULTIMA INSPECCIÓN			01/07/2010	01/07/2010	02/07/2010	12/08/2009
PROXIMA INSPECCIÓN			2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Baches en acceso	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	Descomposición	-
		CALIFICACIÓN	1	1	2	2
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	No dispositivo de junta	No dispositivo de junta	No dispositivo de junta	No dispositivo en junta
		TIPO DE DAÑO	Otro	Otro	Descomposición	-
		CALIFICACIÓN	3	3	4	1
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	1	-	1
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	1	2	1
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	1	2	1
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Grieta vertical	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	Asentamiento/Movimiento	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	1	2	4
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Grieta vertical en estribo 1	Grieta de 0.5 mm en unión de alero izq y estribo 1	-	Grieta vertical en estribo 4 (5 a 8 cm)
		TIPO DE DAÑO	Asentamiento/Movimiento	Asentamiento/Movimiento	-	-
		CALIFICACIÓN	4	2	3	4
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	Pérdida de mamposteo al pie de pila
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	Erosión/Socavación
		CALIFICACIÓN	-	1	2	3
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Se observa aplastamiento de apoyos	-	Desplazamiento lateralmente aproximadamente 8 cm
		TIPO DE DAÑO	-	Daño estructural (Sobrecarga)	-	Asentamiento/Movimiento
		CALIFICACIÓN	3	3	2	3
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Estallamiento causado por oxidación de acero de refuerzo. Se observa recubrimiento mínimo del concreto en cara inferior	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	Daño en concreto/ corr. Acero	-
		CALIFICACIÓN	2	1	4	1
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Impacto, la trabe derecha presenta desprendimiento de concreto en ambos extremos, además se observa que no hay espacio entre trabes de un claro a otro en sentido longitudinal	Estallamiento/corrosión de reforzamiento en diafragmas	-
		TIPO DE DAÑO	-	Impacto	Daño en concreto/ corr. Acero	-
		CALIFICACIÓN	2	4	4	1
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Encauzar ya que la corriente golpea el estribo 1. Socavación de cauce margen izq.	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	Erosión/Socavación	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	1	2	2
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 20 Puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX (continuación).

No. DE PUENTE			13	14	15	16
NOMBRE DEL PUENTE			Santo Domingo	Ejutla II	Miahuatlan I	Aeropuerto
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1980	1954	1947	1975
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0	0	0	0
No. DE CLAROS			8	1	2	4
LONGITUD TOTAL			295.5 m	7.8 m	9.2 m	82.0 m
ANCHO TOTAL			9.6 m	7.0 m	9.2 m	8.9 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			13	10	15	9
ULTIMA INSPECCIÓN			29/06/2010	05/06/2010	04/06/2010	28/10/2010
PROXIMA INSPECCIÓN			2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Grietas en la superficie de concreto	-	-	Grietas en accesos
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (Sobrecarga)	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	2	3	3
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	No tiene dispositivo de junta	-	-	Grietas, no tiene dispositivo de junta
		TIPO DE DAÑO	Otro	-	-	Otro
		CALIFICACIÓN	2	-	-	2
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	2	-	2
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Sin protección de cono de derrame	-	-	Falta protección de conos
		TIPO DE DAÑO	Erosión/Socavación	-	-	Erosión/Socavación
		CALIFICACIÓN	4	2	-	3
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Grieta vertical en alero derecho de estribo num. 1	Dañado por erosión de talud	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	Erosión/Socavación	-
		CALIFICACIÓN	-	2	4	2
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Daño estructural, grieta en corona	Fractura en cuerpo de estribo 3 al centro	-
		TIPO DE DAÑO	-	Daño estructural (Sobrecarga)	Asentamiento/Movimiento	-
		CALIFICACIÓN	2	4	4	2
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	Socavación de la pila No. 3, provocó asentamiento del claro 2-3 de 1.30 cm de profundidad.
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	Asentamiento/Movimiento
		CALIFICACIÓN	2	-	3	5
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	No cuenta con dispositivos de apoyo	-	Los apoyos no permitan movimiento, por que están cubiertos con concreto
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	Otro
		CALIFICACIÓN	2	4	-	4
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Agrietamiento caotico en la cara superior	Daño de acero visible, corrosión. Filtración	Grieta entre losa y corona	-
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (Sobrecarga)	Descomposición	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	3	2
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Grietas longitudinales en el inferior	-	Fracturas en diafragmas causados por falta de movimiento en apoyos. Mas grave en estribo E.
		TIPO DE DAÑO	-	Daño en concreto/ corr. Acero	-	Asentamiento/Movimiento
		CALIFICACIÓN	2	4	-	3
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Socavación de cauce	Socavación. Destrucción de zampeado	-	Socavación, encausamiento del río
		TIPO DE DAÑO	Erosión/Socavación	Erosión/Socavación	-	Otro
		CALIFICACIÓN	4	4	2	5
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Se deberá efectuar una revisión detallada de las condiciones de cimentación, por el tirante del rio no se observa el estado físico de los cilindros de cimentación	Puente angosto	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	Otro	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	5

Tabla A. 21 Puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX (continuación).

No. DE PUENTE			17	18	19	20
NOMBRE DEL PUENTE			Tierra Azul	La Zafra	La Mesa	Yacochi I
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1960	1961	1973	1975
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0	0	0	0
No. DE CLAROS			1	3	1	3
LONGITUD TOTAL			44.8 m	58.3 m	8.4 m	33.0 m
ANCHO TOTAL			9.7 m	9.0 m	8.9 m	9.8 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			9	13	9	7
ULTIMA INSPECCIÓN			03/06/2010	04/06/2010	02/06/2010	01/07/2010
PROXIMA INSPECCIÓN			2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Agrietamiento y pérdida de material de desgaste	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	Descomposición	-	-
		CALIFICACIÓN	2	4	2	2
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	No dispositivo de junta	No tiene dispositivo de junta	-	No dispositivo de juntas
		TIPO DE DAÑO	Otro	Otro	-	-
		CALIFICACIÓN	3	3	-	2
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	2	-	1
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	2	-	1
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	2	2	2
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Pérdida de concreto en junteo de mampostería	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	Descomposición	-
		CALIFICACIÓN	2	2	3	-
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Descomposición de juntas de mortero en mampostería	-	Pérdida de concreto de mampostería	-
		TIPO DE DAÑO	Descomposición	-	Descomposición	-
		CALIFICACIÓN	4	2	3	2
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	Pérdida de concreto por descomposición, acero de refuerzo expuesto
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	2	-	4
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Estallamiento en el talón de trabes de concreto	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	Daño estructural (Sobrecarga)	-	-
		CALIFICACIÓN	2	4	-	2
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Agrietamiento, pérdida de material de desgaste. Ver componente 1	Estallamiento de concreto y oxidación de acero a los bordes de la losa	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	Daño en concreto/ corr. Acero	-
		CALIFICACIÓN	2	3	4	2
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Corrosión en trabes de acero	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	Corrosión de acero estructural	-	-
		CALIFICACIÓN	2	4	-	-
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Socavación en estribo num. 2	Reencauzamiento	-	-
		TIPO DE DAÑO	Erosión/Socavación	-	-	-
		CALIFICACIÓN	3	3	2	2
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Sustitución total de la estructura	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	Daño en concreto/ corr. Acero	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 22 Puentes del estado de Oaxaca con calificación 4 y 5, según SIPUMEX (continuación).

No. DE PUENTE			21
NOMBRE DEL PUENTE			Santa María Asunción
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1960
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0
No. DE CLAROS			1
LONGITUD TOTAL			7.3 m
ANCHO TOTAL			8.5 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			3
ULTIMA INSPECCIÓN			22/05/2010
PROXIMA INSPECCIÓN			2012
COMPONENTE	**SUPERFICIE DE PUENTE**	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-
		TIPO DE DAÑO	-
		CALIFICACIÓN	2
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-
		TIPO DE DAÑO	-
		CALIFICACIÓN	-
	BANQUETA / CAMELLÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-
		TIPO DE DAÑO	-
		CALIFICACIÓN	-
	PARAPETO / PASAMANOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-
		TIPO DE DAÑO	-
		CALIFICACIÓN	2
	CONOS / TALUDES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-
		TIPO DE DAÑO	-
		CALIFICACIÓN	2
	ALEROS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Descomposición de junteo en mampostería
		TIPO DE DAÑO	Descomposición
		CALIFICACIÓN	3
	ESTRIBOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Descomposición de concreto en junteo de mampostería
		TIPO DE DAÑO	Descomposición
		CALIFICACIÓN	3
	PILAS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-
		TIPO DE DAÑO	-
		CALIFICACIÓN	-
	APOYOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Falta área de apoyo para sustentación de losa. Ampliar coronas para dar mayor apoyo a la losa
		TIPO DE DAÑO	Otro
		CALIFICACIÓN	2
	LOSA	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Humedad excesiva en losa, construir drenes, mal acomodamiento del concreto. Acero visible. Corrosión
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto/ corr. Acero
		CALIFICACIÓN	4
	LARGUEROS / TRABES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-
		TIPO DE DAÑO	-
		CALIFICACIÓN	-
	CAUCE	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Destrucción de zampeado y dentellones de protección
		TIPO DE DAÑO	Erosión/Socavación
		CALIFICACIÓN	3
	OTROS ELEMENTOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-
		TIPO DE DAÑO	-
		CALIFICACIÓN	-
	PUENTE EN GENERAL	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Sustitución de superestructura
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto/ corr. Acero
		CALIFICACIÓN	4

Oaxaca tiene diecinueve puentes con calificación cuatro y un puente con calificación cinco. Los componentes de estos puentes que no presentan daño alguno, son la banqueta y/o camellón, el parapeto y/o pasamanos y los otros elementos.

En lo que se refiere a la superficie de puente se tiene dos puentes con daño por descomposición, un puente con daño estructural y otro puente más con daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo.

En las juntas de expansión dos puentes presentan daños por descomposición y ocho puentes presentan daño de otro tipo.

En los conos y/o taludes, tres puentes presentan daño por erosión y/o socavación.

En los aleros dos puentes presentan daño por asentamiento y/o movimiento, dos puentes más presentan daño por descomposición y un puente más presenta erosión y/o socavación.

En los estribos tres puentes presentan daño por asentamiento y/o movimiento, tres puentes presentan daño por descomposición, dos puentes presentan otro tipo de daño y un puente más presenta daño estructural.

En las pilas un puente presenta daño estructural, uno más presenta daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo, dos puentes presentan daño por erosión y/o socavación, un puente presenta daño por descomposición y un puente más presenta daño por asentamiento y/o movimiento.

En los apoyos de los puentes tres puentes presentan daño estructural, un puente presenta daño por asentamiento y/o movimiento, otro puente presenta daño por descomposición y un puente más presenta otro tipo de daño.

En las losas un puente presenta daño estructural, seis puentes presentan daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo y dos puentes presentan daño por descomposición; en los largueros y/o trabes un puente presenta daño por corrosión del acero estructural, otro puente presenta daño estructural, tres puentes presentan daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo, un puente más presenta daño por impacto y un puente presenta daño por asentamiento y/o movimiento.

En cuestión al cauce ocho puentes presentan daño por la erosión y/o socavación y un puente presenta otro tipo de daño; y finalmente en la componente de puente en general se observa que tres puentes presentan otro tipo de daño y dos puentes presentan daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo.

También se observa que de estos veinte puentes, cinco ya han sido reconstruidos, y se tienen puentes de uno ó varios claros.

A6. CHIAPAS

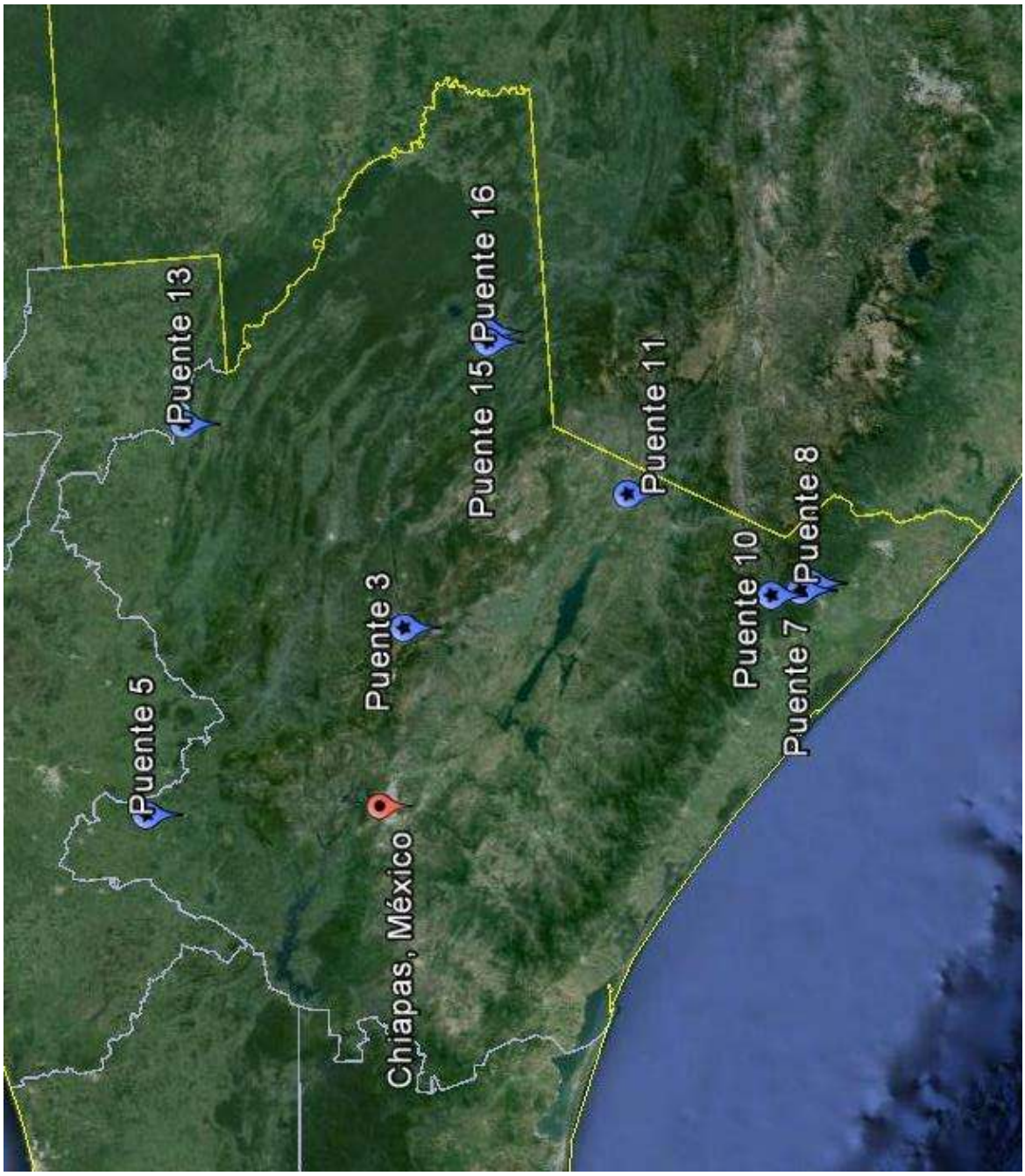


Figura A. 6 Ubicación de puentes del estado de Chiapas con calificación 4, según SIPUMEX.

NOTA: Algunos de los puentes no se ubicaron en la figura anterior, debido a que en los reportes de SIPUMEX, no tienen coordenadas o las coordenadas son incorrectas.

Tabla A. 23 Puentes del estado de Chiapas con calificación 4, según SIPUMEX.

No. DE PUENTE			1	2	3	4
NOMBRE DEL PUENTE			Monte Bonito	Solo Dios	La Campana	Cacate
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1939	1940	1950	1960
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			1989	0	0	0
No. DE CLAROS			3	2	2	1
LONGITUD TOTAL			18.0 m	7.8 m	15.5 m	18.3 m
ANCHO TOTAL			8.4 m	8.2 m	11.7 m	10.7 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			14	11	14	9
ULTIMA INSPECCIÓN			20/06/2010	20/06/2010	15/08/2010	21/09/2007
PROXIMA INSPECCIÓN			2014	2014	2012	2008
COMPONENTE	**SUPERFICIE DE PUENTE**	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	2	1	2
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	Requiere del sistema	Carece del sistema de juntas
		TIPO DE DAÑO	-	-	Otro	Otro
		CALIFICACIÓN	-	2	3	4
	BANQUETA / CAMELLÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	2
	PARAPETO / PASAMANOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Requiere la consrucción del parapeto y su pasamanos, actualmente tiene barreras de protección	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	Otro	-	-	-
		CALIFICACIÓN	3	-	4	2
	CONOS / TALUDES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	No tienen	-	-	Necesita protección
		TIPO DE DAÑO	Otro	-	-	Erosión/Socavación
		CALIFICACIÓN	3	2	2	3
	ALEROS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	El alero izquierdo aguas abajo se encuentra fracturado, posiblemente por asentamiento. Así mismo la cabeza del alero se encuentra fracturado por impacto	La mampostería se encuentra erosionada, requiere de chapeo
		TIPO DE DAÑO	-	-	Erosión/Socavación	Erosión/Socavación
		CALIFICACIÓN	-	2	4	3
	ESTRIBOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Requiere de elevar la rasante, para ampliar el área hidráulica	Existe socavación por cauce estrecho que acelera la corriente	Totalmente erosionado	La mampostería se encuentra erosionada
		TIPO DE DAÑO	No registrado	-	Erosión/Socavación	Erosión/Socavación
		CALIFICACIÓN	3	4	4	4
	PILAS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Los tajamares se encuentran erosionados por impactos, así como el cuerpo de los muros. Las pilas requieren elevarse a la rasante existente	La pila reduce el cauce	-	-
		TIPO DE DAÑO	Otro	-	-	-
		CALIFICACIÓN	3	4	3	-
	APOYOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	Los bancos de concreto se encuentran desfasados y las placas de plomo aplastadas
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	Asentamiento/Movimiento
		CALIFICACIÓN	3	-	-	4
	LOSA	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Requiere elevarse la rasante, por lo tanto, el cambio de losa es necesario	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	Otro	-	-	-
		CALIFICACIÓN	3	2	2	2
	LARGUEROS / TRABES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	Existe la pintura de fondeo original, que ya presenta ligera oxidación	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	Otro	-
		CALIFICACIÓN	-	-	4	2
	CAUCE	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Existe pendiente muy aguda por lo que cuando llueve intensamente acarrea arrastres que se atoran en el puente por falta de área hidráulica por la altura tan baja	Existen varios escurrimientos	-	Desazolve de rocas
		TIPO DE DAÑO	Impacto	-	-	Erosión/Socavación
		CALIFICACIÓN	4	4	3	3
	OTROS ELEMENTOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	El gálibo es bajo, requiere elevar la rasante del puente, los arrastres se atoran en la estructura provocando la inundación de los accesos	Requiere de estudio topohidráulico, y definir si es suficiente su área hidráulica. Requiere cambio de estructura	-	-
		TIPO DE DAÑO	Impacto	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 24 Puentes del estado de Chiapas con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).

			No. DE PUENTE	5	6	7	8
			NOMBRE DEL PUENTE	Estación Suspiro	Laja	Islamapa Izquierdo	Cuyameapa Izquierdo
			AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1950	1968	1960	1960
			ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN	1996	0	1997	0
			No. DE CLAROS	3	1	5	2
			LONGITUD TOTAL	25.0 m	17.1 m	67.3 m	41.2 m
			ANCHO TOTAL	8.0 m	8.6 m	9.7 m	8.1 m
			No. INSPECCIONES PRINCIPALES	13	9	15	13
			ULTIMA INSPECCIÓN	30/08/2010	10/08/2009	21/06/2010	17/09/2009
			PROXIMA INSPECCIÓN	2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	Se presentan baches en la losa. Además se observo un agrietamiento en la superficie de rodamiento. No se cuenta con carpeta asfáltica	-
			TIPO DE DAÑO	-	-	Daño en concreto/ corr. Acero	-
			CALIFICACIÓN	2	2	4	1
	JUNTAS DE EXPANSIÓN		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Instalar junta goma - asfáltica	Requiere del cambio de la junta	Requiere del cambio
			TIPO DE DAÑO	-	Otro	Impacto	Otro
			CALIFICACIÓN	2	3	4	4
	BANQUETA / CAMELLÓN		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
			TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
			CALIFICACIÓN	3	-	2	1
	PARAPETO / PASAMANOS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Se necesita reparar parapeto de concreto	-	-	-
			TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
			CALIFICACIÓN	3	2	2	1
	CONOS / TALUDES		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Existen fisuras	-	-	-
			TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
			CALIFICACIÓN	3	1	3	3
	ALEROS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	En el alero derecho aguas abajo, se aprecia una grieta	-	-
			TIPO DE DAÑO	-	Asentamiento/Movimiento	-	-
			CALIFICACIÓN	3	3	2	1
	ESTRIBOS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	En el cuerpo del muro debajo de la corona se aprecia una grieta transversal por posible asentamiento. Requiere de estudio y proyecto estructural	-	-
			TIPO DE DAÑO	-	Asentamiento/Movimiento	-	-
			CALIFICACIÓN	3	4	2	1
	PILAS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
			TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
			CALIFICACIÓN	3	-	2	1
	APOYOS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	Los apoyos moviles requieren cambiarse, así como el cambio de todas las placas
			TIPO DE DAÑO	-	-	-	Daño estructural (Sobrecarga)
			CALIFICACIÓN	-	3	2	4
	LOSA		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Fisuramiento ligero	-	Existen filtraciones aisladas, se requiere cambiar la sobrelosa, por el concreto estallado	-
			TIPO DE DAÑO	-	-	Daño en concreto/ corr. Acero	-
			CALIFICACIÓN	2	1	4	2
	LARGUEROS / TRABES		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Las viguetas que se encuentran en los bordes presentan corrosión por el escurrimiento de los drenes. Requiere de cambio estructural	-	Existen fisuras por cortante, requiere de reforzamiento integral	Se presentan fisuras por cortante. Se recomienda monitorear su desarrollo, las cabezas de las trabes en la junta se encuentra estallada por desfase de los apoyos
			TIPO DE DAÑO	Corrosión de acero estructural	-	Daño estructural (Sobrecarga)	Daño estructural (Sobrecarga)
			CALIFICACIÓN	4	1	4	4
	CAUCE		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	El cauce se encuentra parcialmente limpio	-	-	-
			TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
			CALIFICACIÓN	3	2	2	2
	OTROS ELEMENTOS		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
			TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
			CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL		DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Cambiar la superestructura	Requiere de reforzamiento inmediato de la subestructura	-	Requiere de estudio y proyecto para su ampliación transversal
			TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
			CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 25 Puentes del estado de Chiapas con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).

		No. DE PUENTE	9	10	11	12
		NOMBRE DEL PUENTE	Cahuacán	Negro	Paso Hondo	Estero San Benito
		AÑO DE CONSTRUCCIÓN	1960	1976	1950	1986
		ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN	1997	0	0	2006
		No. DE CLAROS	3	1	5	1
		LONGITUD TOTAL	78.0 m	13.3 m	47.8 m	22.6 m
		ANCHO TOTAL	7.7 m	7.8 m	7.9 m	13.0 m
		No. INSPECCIONES PRINCIPALES	11	12	13	15
		ULTIMA INSPECCIÓN	20/06/2008	22/06/2010	22/06/2010	21/06/2010
		PROXIMA INSPECCIÓN	2012	2012	2012	2012
COMPONENTE	**SUPERFICIE DE PUENTE**	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Requiere el mantenimiento de la carpeta por la intensidad del tránsito	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	Impacto	-	-	-
		CALIFICACIÓN	3	1	2	2
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Las juntas se destruyen constantemente, principalmente las intermedias, ahorita están protegidas por placas de acero para evitar que se abran excesivamente	Instalar junta goma asfáltica	Cambio de dispositivo	-
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (Sobrecarga)	-	Asentamiento/Movimiento	-
		CALIFICACIÓN	5	2	3	1
	BANQUETA / CAMELLÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	1	2	2
	PARAPETO / PASAMANOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	2	2	1
	CONOS / TALUDES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	Limpieza y relleno	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	Erosión/Socavación	-	-
		CALIFICACIÓN	2	3	2	1
	ALEROS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	Requieren de limpieza	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	2	2	2
	ESTRIBOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	Erosionados y posible socavación	Existe erosión en la base de los estribos	-
		TIPO DE DAÑO	-	Erosión/Socavación	Erosión/Socavación	-
		CALIFICACIÓN	1	3	4	2
	PILAS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Reforzamiento integral, están muy esbeltas	-	Existe erosión en el desplante de las pilas. Requiere de protección	-
		TIPO DE DAÑO	Asentamiento/Movimiento	-	Erosión/Socavación	-
		CALIFICACIÓN	3	-	4	-
	APOYOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Se requiere de cambio de dispositivos ya que el paso de los vehículos se presentan movimientos longitudinales y transversales excesivos	Cambio dispositivos	Carece de placas, requiere de la colocación, el concreto de la corona se está estallando por estar el concreto con concreto	-
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (Sobrecarga)	Corrosión de acero estructural	Daño en concreto/ corr. Acero	-
		CALIFICACIÓN	4	3	3	1
	LOSA	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	El recubrimiento se encuentra muy superficial, aparecen fisuras longitudinales	-	Corrosión en la losa	Presenta fisura longitudinal en donde se encuentra ahogada la estructura espacial
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (Sobrecarga)	-	Daño en concreto/ corr. Acero	-
		CALIFICACIÓN	4	2	3	3
	LARGUEROS / TRABES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Se requiere de reforzamiento ya que se encuentran flechados	Las trabes de acero están muy corroidas necesitan el cambio, o bien estructura nueva	Fisuras pequeñas	Requiere de cambio estructural
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (Sobrecarga)	Corrosión de acero estructural	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	3	4
	CAUCE	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	Cauce asolvado por basura	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	Otro	-
		CALIFICACIÓN	1	1	3	3
	OTROS ELEMENTOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	Requiere de ampliar la calzada. Los trailers no permiten el paso de otro vehículo	Requiere de reforzamiento integral, se solicita el estudio y proyecto ejecutivo	Requiere de reforzamiento integral confinando la estructura espacial
		TIPO DE DAÑO	-	No registrado	Daño estructural (Sobrecarga)	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 26 Puentes del estado de Chiapas con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).

No. DE PUENTE			13	14	15	16
NOMBRE DEL PUENTE			Chocol-Ha	BocaLacantum	Santo Domingo	Dolores
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1983	1983	1983	1983
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0	1999	1998	1998
No. DE CLAROS			3	5	3	1
LONGITUD TOTAL			69.6 m	270.6 m	100.7 m	48.0 m
ANCHO TOTAL			10.0 m	9.4 m	10.0 m	9.3 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			5	7	8	7
ULTIMA INSPECCIÓN			12/08/2007	06/09/2010	06/09/2010	06/09/2010
PROXIMA INSPECCIÓN			2008	2012	2012	2012
COMPONENTE	SUPERFICIE DE PUENTE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	3	1	1
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Se requiere del cambio del sistema de juntas de dilatación	No tiene las juntas no metálicas; requiere de cambio del sistema	Requiere del cambio del sistema	-
		TIPO DE DAÑO	Otro	No registrado	No registrado	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	2
	BANQUETA / CAMELLÓN	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	0	-	-	-
	PARAPETO / PASAMANOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	2	2	1
	CONOS / TALUDES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Se requiere de reponer los conos, así como la protección de los taludes, a base de bordillos y lavaderos	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	Erosión/Socavación	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	2	2	2
	ALEROS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	2	2	-
	ESTRIBOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	2	2	2
	PILAS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	2	2	-
	APOYOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Se requiere de cambio de apoyos, por encontrarse aplastados	Requiere del cambio de todos los apoyos	Existe mucha humedad, en los estribos por carecer de la junta no metálica, y a las juntas de los claros de las pilas por el rocío del río	Las placas de acero y las de neopreno se encuentran deformadas por el peso así como por la oxidación
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (Sobrecarga)	Daño en concreto/ corr. Acero	Corrosión de acero estructural	Corrosión de acero estructural
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4
	LOSA	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	Requiere de inyecciones epóxicas en las juntas frías de los colados, la superficie muy erosionada	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	Daño en concreto/ corr. Acero	-	-
		CALIFICACIÓN	1	4	2	2
	LARGUEROS / TRABES	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Se observa flechamiento por lo mismo existen fisuras. Se requiere de inspección especial	Presentan oxidación	Existe mucha humedad y por consiguiente oxidación intensa	Oxidación, principalmente en las cuerdas inferiores
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (Sobrecarga)	Corrosión de acero estructural	Corrosión de acero estructural	Corrosión de acero estructural
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4
	CAUCE	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	2	2	1
	OTROS ELEMENTOS	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	-	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	DESCRIPCIÓN DEL DAÑO	Requiere de estudios y proyecto ejecutivo de reforzamiento y conservación	Requiere de un reforzamiento integral que confine la estructura espacial. El puente se encuentra en mantenimiento y reforzamiento de la tridilosa	Requiere de reforzamiento integral, confinando la estructura espacial	Requiere de reforzamiento integral confinando la estructura espacial
		TIPO DE DAÑO	-	Corrosión de acero estructural	No registrado	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4	4

Tabla A. 27 Puentes del estado de Chiapas con calificación 4, según SIPUMEX (continuación).

No. DE PUENTE			17	18	19
NOMBRE DEL PUENTE			Zanatenco	PIV Concepción y Progreso	Cuba II Cpo. B
AÑO DE CONSTRUCCIÓN			1994	1994	1994
ÚLTIMA RECONSTRUCCIÓN			0	0	0
No. DE CLAROS			3	3	1
LONGITUD TOTAL			91.8 m	84.0 m	22.8 m
ANCHO TOTAL			18.5 m	8.0 m	17.6 m
No. INSPECCIONES PRINCIPALES			4	3	3
ULTIMA INSPECCIÓN			20/06/2009	21/09/2009	21/06/2009
PROXIMA INSPECCIÓN			2011	2014	2012
COMPONENTE	**SUPERFICIE DE PUENTE**	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	1	2
	JUNTAS DE EXPANSIÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Cambio del sistema de juntas	-	-
		TIPO DE DAÑO	Daño en concreto/ corr. Acero	-	-
		CALIFICACIÓN	4	1	-
	BANQUETA / CAMELLÓN	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-
	PARAPETO / PASAMANOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	Es guarnición
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	1	4
	CONOS / TALUDES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	Carece de accesos	Los taludes se destrozan por que el agua revasa la carretera y se erosionan
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	2	4	4
	ALEROS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	2
	ESTRIBOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	1
	PILAS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Los cabezales presentan agrietamiento de cortante, por la longitud en cantiliver	-	-
		TIPO DE DAÑO	Daño estructural (Sobrecarga)	-	-
		CALIFICACIÓN	4	1	-
	APOYOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	3	1	-
	LOSA	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	2
	LARGUEROS / TRABES	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	1	-
	CAUCE	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	El cauce está mas alto que el puente
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	1	-	5
	OTROS ELEMENTOS	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	-	-	-
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	-	-	-
	PUENTE EN GENERAL	**DESCRIPCIÓN DEL DAÑO**	Estructura en reconstrucción	Paso inferior, carece de accesos, a la Col. Celestino Gasca	Requiere de otro puente
		TIPO DE DAÑO	-	-	-
		CALIFICACIÓN	4	4	4

Chiapas tiene diecinueve puentes con calificación cuatro. Los componentes de estos puentes que no presenta daño alguno son la banqueta y/o camellón y el de otros elementos.

En lo que se refiere a la superficie de puente, se tiene un puente con daño por impacto y otro puente más con daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo.

En las juntas de expansión un puente presenta daño por impacto, un puente presenta daño estructural, un puente presenta daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo, cinco puentes presentan otro tipo de daños, un puente presenta daño por asentamiento y/o movimiento y dos puentes más presentan un daño no registrado.

En el parapeto y/o pasamanos un puente presenta otro tipo de daño; en los conos y/o taludes, un puente presenta otro tipo de daño y tres puentes presentan erosión y/o socavación.

En los aleros un puente presenta daño por asentamiento y/o movimiento y dos puentes más presentan daño por erosión y/o socavación.

En los estribos un puente presenta daño no registrado, cuatro puentes presentan erosión y/o socavación y un puente más presenta daño por asentamiento y/o movimiento.

En las pilas un puente presenta daño estructural, uno más presenta daño por erosión y/o socavación, un puente presenta daño por asentamiento y/o movimiento y otro puente más presenta otro tipo de daño.

En los apoyos de los puentes tres presentan daño por corrosión en el acero estructural, tres puentes presentan daño estructural, un puente presenta daño por asentamiento y/o movimiento y dos puentes presentan daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo.

En las losas un puente presenta otro tipo de daños, otro puente presenta daño estructural y tres puentes más presentan daño en el concreto y corrosión en el acero de refuerzo; en los largueros y/o trabes cinco puentes presentan daño por corrosión del acero estructural, cuatro puentes más presentan daño estructural y un puente presenta otro tipo de daño.

En cuestión al cauce un puente presenta daño por la erosión y/o socavación, otro puente presenta daño por impacto y un puente más presenta otro tipo de daño; y finalmente en la componente de puente en general se observa que un puente presenta daño por impacto, dos puentes presentan daños no registrados, un puente más presenta daño estructural y otro puente más presenta daño por corrosión en el acero estructural.

También se observa que de estos diecinueve puentes, ocho ya han sido reconstruidos, y se tienen puentes de uno ó varios claros.