



PROGRAMA
INERINSTITUCIONAL DE
DOCTORADO EN
ARQUITECTURA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE AGUASCALIENTES
UNIVERSIDAD DE COLIMA
UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE ARQUITECTURA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**CALOR ANTROPOGÉNICO VEHICULAR EN LOS PARÁMETROS
FÍSICOS DE UN CAÑÓN URBANO
Para un clima cálido húmedo**

**TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN ARQUITECTURA**

PRESENTA:
M.C. Ruth María Grajeda Rosado
DIRECTOR DE TESIS:
Dra. Elía Mercedes Alonso Guzmán
ASESOR DE TESIS:
Dr. Carlos Javier Esparza López

Morelia, Michoacán a Julio del 2020



DEDICATORIA

A Mamá, Papá, Max, Meli y Rutu



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a las Instituciones que respaldaron y creyeron en el desarrollo de esta investigación y sobre todo a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por las facilidades que me otorgaron para poder realizar los estudios doctorales.

Mi más profundo agradecimiento a la Dr. Elia Mercedes Alonso Guzmán por ser mi directora; ella me guio, victoreó y apoyo en todos los pasos dados para este logro tan personal y significativo en mi vida. Al Dr. Esparza por aceptarme e interesarse en mi tema de investigación; así como a la ayuda objetiva y participativa de los doctores: Carlos Alberto Hiriart, Jorge Armando Ojeda Sánchez, Carlos Escobar del Pozo y Habid Becerra Santacruz. Sin las atenciones y observaciones constructivas de todos ellos no habría aportación en este documento.

Muy especial reconocimiento al Dra. Itzia Gabriela Barrera Alarcón por dejarme realizar mi estancia de investigación en tan distinguida instancia como lo es, el Centro de Investigaciones en Ciencias de Información Geoespacial en la ciudad de México y a los doctores Gonzalo Bojórquez Morales y Rafael García Cueto de la Universidad Autónoma de Baja California por todas sus enseñanzas.

Amplio este reconocimiento a los personajes de mi segunda casa, la Universidad Veracruzana; Mtro. Jesús Martín Santamaria López, Dr. Agustín Leobardo Herrera May, Dr. Alfonso Pérez Morales y Dr. Adalberto Tejeda Martínez por todos sus sabios consejo.

A mis padres y hermana, mi inmensurable gratitud por su soporte incondicional en todo momento, a mis hijas y esposo por su amor, paciencia y comprensión en mi ausencia; finalmente a mis compañeros de generación por su complicidad y afecto.

Sin todos ellos estos resultados no fueran posible.



INDICE

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
INDICE	3
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE TABLAS	13
RESUMEN	16
<i>Palabras Claves</i>	16
ABSTRACT	17
<i>Keywords</i>	17
I. INTRODUCCIÓN	18
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2 JUSTIFICACIÓN	22
1.3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	23
1.4 HIPÓTESIS	24
1.5 OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS SECUNDARIOS	24
1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES	24
II. ESTADO DEL ARTE	26
2.1 ISLA DE CALOR URBANA	26
2.2 MICROCLIMA URBANO Y SU RELACIÓN CON EL CONFORT TÉRMICO	35
2.3 EL CAÑÓN URBANO	37
2.4 ANTECEDENTES	39
III. MARCO TEÓRICO	46
3.1 PARÁMETROS MODIFICADORES EN UN MICROCLIMA	46
3.1.1 <i>Propiedades de las superficies urbanas</i>	46
3.1.2 <i>Evapotranspiración</i>	49
3.1.3 <i>Calor antropogénico</i>	50
3.1.3.1 <i>Metabolismo</i>	54
3.1.3.2 <i>Industria</i>	55
3.1.3.3 <i>Edificación</i>	55
3.1.3.4 <i>Vehículos</i>	58
3.1.4 <i>Morfología urbana</i>	61
3.1.4.1 <i>Densidad de construcción</i>	61
3.1.4.2 <i>Geométricos o relación de aspecto</i>	63
3.1.4.3 <i>Orientación</i>	64
3.1.4.4 <i>Textura urbana</i>	66
3.1.5 <i>Parámetros meteorológicos</i>	66
3.1.5.1 <i>Radiación solar</i>	66
3.1.5.2 <i>Temperatura del aire</i>	70
3.1.5.3 <i>Viento</i>	71
3.2 MEDICIONES PARA MACROESCALA Y MICROESCALA	75
3.2.1 <i>Estaciones meteorológicas</i>	77
3.2.3 <i>Transectos: Desplazamientos móviles</i>	78
3.2.3 <i>Detección remota</i>	79



3.2.3 Sondeos atmosféricos con RPAS	83
3.3 MODELOS CLIMATOLÓGICOS.....	87
3.3.1 Modelos empíricos.....	87
3.3.2 Modelos computacionales.....	92
3.3.3 Métodos estadísticos	97
3.3.4 Métodos experimentales	100
3.4 NORMATIVIDAD.....	101
IV. METODOLOGÍA	104
4.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	104
4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MÉTODO DE MEDICIÓN EN CAMPO	106
4.3 VARIABLES	107
4.3.1 Variables de control o contexto	107
4.3.2 Variables independientes.....	108
4.3.3. Variables dependientes.....	109
4.4 ÁREA DE ESTUDIO.....	110
4.4.1 Definición del área de estudio: Macroescala	110
4.4.2 Definición del área de estudio: Mesoescala.....	111
4.4.3 Definición del área de estudio: Microescala	117
4.4.3.1 Estudio preliminar de la Isla Calor Urbana en la zona conurbada de Veracruz, con estaciones meteorológicas.....	117
4.4.3.2 Estudio preliminar de la Isla de Calor Urbano Superficial con el satélite LandSat y ArcGis en la zona conurbada de Veracruz.....	120
4.4.3.3 Revestimiento de superficies (fachada y rodamiento)	124
4.4.3.4 Análisis del comportamiento de tráfico de la población	126
4.4.3.5 Relación de aspecto de cañones (H/W= uno o superior) y orientación de la calle.....	130
4.5 PERIODO DE ESTUDIO	136
4.6 INSTRUMENTACIÓN DE MEDICIÓN	139
4.6.2 Calibración	142
4.6.3 Protocolo de medición	148
4.7 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE CAMPO	151
4.7.1 Medición el 19 y 20 de mayo del 2018.....	151
4.7.2 Mediciones 2 y 3 de febrero del 2019.....	156
V. MODELO DE SIMULACIÓN CFD	163
5.1 VOLUMEN DE CONTROL	163
5.2 DEFINICIÓN DEL MALLADO	165
5.3 CONDICIONES DE FRONTERA.....	165
5.4 VALIDACIÓN ENTRE SIMULACIÓN Y CAMPO	167
VI. RESULTADOS	172
6.1 1ER. SUBGRUPO (30 SIMULACIONES) CONSIDERANDO 0, 5, 10, 15 Y 20 VEHÍCULOS.....	175
6.1.1 Variación de la temperatura en el cañón urbano en relación con la variable Q_{FV}	175
6.1.2 Efecto del número de coches en el perfil térmico del cañón	177
6.1.3 Efecto de la velocidad del viento en el cañón urbano.....	179
6.1.4 Efecto por orientación.....	179
6.2 2DO. SUBGRUPO (36 SIMULACIONES) CON VIENTO CONSTANTE DE 1.2M/S	181
6.2.1 Análisis gráfico por altura (Z) y posición en ancho de la calle (X)	181
6.2.2 Análisis por número de coches.....	187
6.2.3 Análisis por orientación	188



6.2.4 <i>Análisis por relación de aspecto</i>	189
6.3 ANÁLISIS DE 120 SIMULACIONES CON VARIACIONES EN NÚMERO DE COCHES, ORIENTACIÓN, VELOCIDAD DE VIENTO Y RELACIONES DE ASPECTO.....	191
6.3.1 <i>Análisis en relación con número de coches</i>	191
6.3.2 <i>Análisis en relación con viento</i>	192
6.3.3 <i>Análisis en relación con orientación</i>	193
6.3.4 <i>Análisis en relación con ancho de la calle</i>	194
6.3.5 <i>Análisis en relación con la altura del edificio</i>	194
VII. DISCUSION DE RESULTADOS	196
7.1 RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE CAMPO	196
7.2 RESULTADOS DE NÚMERO DE COCHES (Q_{FV})	198
7.3 RESULTADOS DE ORIENTACIÓN	203
7.4 RESULTADOS DE RELACIONES DE ASPECTO	206
VIII. CONCLUSIONES	209
8.1 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS.....	209
8.2 CONCLUSIONES GENERALES	209
8.3 APORTACIONES.....	211
8.4 NUEVAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	213
REFERENCIAS	214
ANEXOS	230
ANEXO A. METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN Y ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE TERRESTRE (APARTADO 4.4.3)	230
ANEXO B. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SENSORES: DATTA LOGGER U12-012, DRON PHANTOM 3, ARDUINO UNO, SHT75-SENSOR DE HUMEDAD, MÓDULO GPS SERIAL NEO-6M Y PIRANÓMETRO CMP11 (APARTADO 4.6)	234
ANEXO C. PROGRAMACIÓN DE LOS SENSORES EN VUELO AUTÓNOMO. (APARTADO 4.6)	240
ANEXO TABLA D. BASE DE DATOS DE TEMPERATURA DE BULBO SECO PARA LA CALIBRACIÓN DE MEVA (APARTADO 4.6.2)	244
ANEXO TABLA E. BASE DE DATOS DE HUMEDAD RELATIVA PARA LA CALIBRACIÓN DE MEVA (APARTADO 4.6.2)	255
ANEXO TABLA F. BASE DE DATOS DE MEDICIONES DE CAMPO (APARTADO 4.7)	266
ANEXO TABLA G. TABLAS DE DATOS PARA LA VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN (APARTADO 5.4)	271



Índice de Figuras

Capítulo 1 Figuras	
Figura 1.1 Líneas principales de investigación de la Isla de Calor Urbano y la señalización de la ubicación de nuestro objeto de estudio	18
Capítulo 2 Figuras	
Figura 2.1 Sección típica de la ICU resultado de la urbanización. Fuente: (Oke, 1987).	26
Figura 2.2 Causas de la Isla de Calor Urbana.	27
Figura 2.3 Representación esquemática de los flujos involucrados en (a) la energía y (b) el balance hídrico de un volumen urbano de aire de construcción. Fuente: (Oke, 1987)	28
Figura 2.4 Escalas (horizontes) y capas (verticales) atmosféricas en el clima urbano. Fuente: modificado de (Oke, 1987)	32
Figura 2.5 Corte del comportamiento térmico en su escala vertical. Fuente: (Oke, 1987)	33
Figura 2.6 Cañones urbanos. Londres, Ciudad de México, Manhattan y Veracruz.	36
Capítulo 3 Figuras	
Figura 3.1 Esquema de los parámetros modificadores en un cañón urbano.	44
Figura 3.2 Principios básicos de materiales fríos Fuente: (Alchapar, Correa, & Cantón, 2012).	46
Figura 3.3 Esquema teórico del calor antropogénico (Q_F) Modificado de fuente (Chow, y otros, 2014)	49
Figura 3.4 Representación diurna de los perfiles de calor antropogénico disponibles en el WRF. Fuente: (Sailor, Georgescu, Milne, & Hart, 2015).	51
Figura.3.5 Impacto de los vehiculos sobre la temperatura de la superficie de rodamiento Fuente: (Chapman & Thornes, 2005)	57
Figura 3.6 Ubicación de los parámetros de la relación de aspecto. Fuente: (Oke, 1988).	61
Figura 3.7 Reflexión de la radiación solar en zonas urbanas y rurales (CIMSS, 2017)	62
Figura 3.8 a) Esquema de un cañón urbano y su volumen de aire, b) Intercambio de flujo de calor dentro y fuera del volumen de aire del cañón Fuente: (Nuñez & Oke, 1977).	63
Figura 3.9 Fotografía del cielo en Hong Kong, para su análisis del SVF. Fuente: (Chen, y otros, 2010).	65
Figura 3.10 Cronograma de tecnologías de medición para la determinación del SVF. Modificado de (Grimmond S., 2006).	66
Figura 3.11 Desarrollo del proceso del cálculo FSV por medio de software. Fuente:	68
Figura 3.12 Efecto de canalización, venturi y bar. Fuente: (MIT, 2012).	70
Figura 3.13 Flujo de aire y su relación de aspecto. Fuente: (Oke, 1988).	71
Figura 3.14 Distribución de líneas isotérmicas ($^{\circ}\text{C}$) en un cañón a las ocho horas el 2 de agosto del 1983, en Kyoto, Japón. Incluye ($\bar{U}_c$) velocidad de viento y (θ_c) dirección de viento a un metro de altura del centro de la calle y el coeficiente de estabilidad total. Fuente: (Nakamura & Oke, 1988).	72
Figura 3.15 El espectro electromagnético. Fuente: (Oke, 1987).	78
Figura 3.16 Diagrama del espectro electromagnético, imagen modificada de la NASA, dominio público (Inductiveload, 2008).	79



Figura 3.17 Clasificación de RPS por peso y tipo de vuelo. Fuente: (García, Muñoz, & Albares, 2018)	81
Figura 3.18 Las cuatro fuerzas principales que actúan durante el vuelo. Fuente: (García, Muñoz, & Albares, 2018)	82
Figura 3.19 Dron de alas fijas laterales y de alas rotatoria (helicóptero y multirrotor). Fuente: (Seitb, 2018).	82
Figura 3.20 Diagrama tipo de estructuras en motores multicópteros. Fuente: (García, Muñoz, & Albares, 2018)	83
Figura 3.21 Drones híbridos. Fuente: http://www.cocherc.com/feria-nurembert-2017 , http://www.xataka.com y http://drones.blog.emonde.fr	85
Figura 3.22 Esquema del modelo de dosel urbano de una sola capa. Fuente: (Ichinose, Shimodozono, & Hanaki, 1999)	89
Figura 3.23 Radiación del modelo de dosel urbano de una capa. Fuente: (Ichinose, Shimodozono, & Hanaki, 1999)	89
Figura 3.24 El dominio es discretizado en pequeños volúmenes y la ecuación algebraica es resuelta para cada uno de esos elementos. Fuente: (Kessler, 2016).	94
Figura 3.25 Balance energético urbano en un volumen de control cercano a una torre micrometeorológica, donde a) a) Volumen nominal de control, b) Medición de radiación, y c) Flujo turbulento. Fuente: (Sailor, 2010).	97
Figura 3.26 Clasificación simplificada de distintas formas urbanas por orden decreciente aproximado de su capacidad para afecta al clima local. Fuente: (OMM, 2014)	99

Capítulo 4 Figuras

Figura 4.1 Esquema de la metodología y su correlación con otros modelos	103
Figura 4.2 Variables de la metodología	105
Figura 4.3a Clasificación de climas según Köppen. Fuente: (UTBBR, 1975)	109
Figura 4.3b Mapa climatológico del INEGI, modificado por Enriqueta García. Fuente: (INEGI, 2005)	110
Figura 4.4 Ubicación del área de estudio en mesoescala y macroescala	112
Figura 4.5 Tendencia lineal del alza de temperaturas máximas de 1987 a 2016. Datos obtenidos del Centro Hidrometeorológico Regional Boca del Río.	114
Figura 4.6 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 15 de julio a las 5 y 6 horas. Modificado de (Baca, 2011).	117
Figura 4.7 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 15 de julio a las 13 y 14 horas. Modificado de (Baca, 2011).	117
Figura 4.8 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 15 de julio a las 21 y 22 horas. Modificado de (Baca, 2011).	118
Figura 4.9 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 08 de octubre del 2017	120
Figura 4.10 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 25 de noviembre del 2017, el círculo blanco indica el área de estudio.	120
Figura 4.11 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 04 de mayo del 2018, el círculo blanco muestra el área de estudio.	121
Figura 4.12 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 44 de agosto del 2018, el círculo blanco muestra el área de estudio.	121
Figura 4.13 Recubrimiento de las superficies de construcción en la ciudad y puerto de Veracruz. Fuente: Ayuntamiento de Veracruz	122



Figura 4.14 Recubrimiento en pavimentos de la ciudad y puerto de Veracruz. Fuente: (INEGI, 2016).	123
Figura 4.15 Recubrimiento en pavimentos de la ciudad y puerto de Veracruz. Fuente: (INEGI, 2016).	123
Figura 4.16 Índice de movilidad y forma urbana de la ciudad de Veracruz. Fuente (ONU Hábitat, 2016).	124
Figura 4.17 Carta de síntesis de uso de suelo y reservas de Veracruz. Fuente: Ayuntamiento de Veracruz	125
Figura 4.18 Tráfico de la ciudad y puerto de Veracruz, el domingo 22 de abril del 2018 a las 14:00 horas. Fuente: (GoogleMaps, 2018)	126
Figura 4.19 Tráfico de la ciudad y puerto de Veracruz, el lunes 23 de abril del 2018 a las 14:00 horas. Fuente: (GoogleMaps, 2018).	126
Figura 4.20 Tráfico de la zona centro del centro histórico de la ciudad y puerto de Veracruz, el domingo 22 de abril del 2018 a las 14:00 horas. Fuente: (GoogleMaps, 2018).	127
Figura 4.21 Tráfico de la zona centro del centro histórico de la ciudad y puerto de Veracruz, el lunes 23 de abril del 2018 a las 14:00 horas. Fuente: (GoogleMaps, 2018).	127
Figura 4.22 Uso de suelo de la ciudad y puerto de Veracruz. Fuente modificado de la Dirección General de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial	129
Figura 4.23 Vista panorámica del Centro de Veracruz y áreas aledañas. Fuente: Dirección General de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial	130
Figura 4.24 Vista panorámica de sur a norte del Centro de Veracruz y áreas aledañas. Fuente: Dirección General de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial	130
Figura 4.25 Vista panorámica de norte a sur del Centro de Veracruz y áreas aledañas. Fuente: Dirección General de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial	131
Figura 4.26 Vista en planta de la calle de la sección del centro de Veracruz y área de estudio de la investigación. Fuente: Modificado de plano oficial de la Dirección de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial	131
Figura 4.27 Secciones de las 12 cuadras que integran la Calle de Independencia.	133
Figura 4.28 Temperatura media, máximas y mínima de 1987 a 2016. Gráfica realizada a partir de datos del Centro Hidrometeorológico Regional Boca del Río.	134
Figura 4.29 Temperatura media y promedio de lluvias de 1987 a 2016. Gráfica realizada a partir de datos del Centro Hidrometeorológico Regional Boca del Río.	135
Figura 4.30 Gráfica mensual de promedios de temperatura y radiación en Veracruz, México, del Programa Climate Consultad 6.0 de la WMO 766910 a una elevación de 14m, en TZ -6.	135
Figura 4.31 Dron modelo Phantom 3	137
Figura 4.32 Simulación computarizada de corrientes dentro de cada rotor. Fuente: (Morán, 2018)	138
Figura 4.33 Captura de pantalla del software Fusión 360. Fuente: (Autodesk, 2018)	139
Figura 4.34 Sensor de temperatura y humedad relativa (SHT75) y módulo GPS (serie NEO-6M, GY-GPS6MV2).	139
Figura 4.35a Fotografía del espacio de Talleres de Construcción de la Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, de la Universidad Veracruzana, donde se realizó la prueba de calibración.	141



Figura 4.35b Planta del espacio de Talleres de Construcción de la Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, de la Universidad Veracruzana, donde se realizó la prueba de calibración y ubicación de los sensores	141
Figura 4.36 Graficas de cajas y bigotes de las variables de Temperatura y Humedad Relativa.	145
Figura 4.37 Ubicación de la posición del dron en las tres dimensiones del cañón, X (ancho=W), Y (longitud=L) y Z (altura=H).	146
Figura 4.38 Ubicación de la posición del conteo del parque vehicular	148
Figura 4.39 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 1.50 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 19 de mayo del 2018	150
Figura 4.40 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 1.50 m con tráfico de 6 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 20 de mayo del 2018	150
Figura 4.41 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 3.00 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 19 de mayo del 2018	151
Figura 4.42 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 3.00 m con tráfico de 6 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 20 de mayo del 2018	151
Figura 4.43 Grafica de superficie que muestra el perfil de Humedad Relativa a 1.50 m con tráfico de 6 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 20 de mayo del 2018	152
Figura 4.44 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 3.0 m con tráfico de 6 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 20 de mayo del 2018	152
Figura 4.45 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 1.50 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 19 de mayo del 2018	153
Figura 4.46 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 3.0 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 19 de mayo del 2018	153
Figura 4.47 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 1.5 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 2 de febrero del 2019	154
Figura 4.48 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 1.5 m con tráfico de 6 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 3 de febrero del 2019	155
Figura 4.49. Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 3.0 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 2 de febrero del 2019	155
Figura 4.50 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 4.5 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 2 de febrero del 2019	156
Figura 4.51 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 3.0 m con tráfico de 6 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 3 de febrero del 2019	156



Figura 4.52 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 4.5 m con tráfico de 6 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 3 de febrero del 2019	157
Figura 4.53 Grafica de superficie que muestra el perfil de la Humedad Relativa a 1.5 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 2 de febrero del 2019	158
Figura 4.54 Grafica de superficie que muestra el perfil de la Humedad Relativa a 3.0 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 2 de febrero del 2019	158
Figura 4.55 Grafica de superficie que muestra el perfil de la Humedad Relativa a 4.5 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 2 de febrero del 2019	159
Figura 4.56 Grafica de superficie que muestra el perfil de la Humedad Relativa a 1.5 m con tráfico de 6 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 3 de febrero del 2019	159
Figura 4.57 Grafica de superficie que muestra el perfil de la Humedad Relativa a 3.0 m con tráfico de 6 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 3 de febrero del 2019	160
Figura 4.58 Grafica de superficie que muestra el perfil de la Humedad Relativa a 4.5 m con tráfico de 6 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 3 de febrero del 2019	160

Capítulo 5 Figuras

Figura 5.1. Arriba. Isométrico del dominio computacional, con dimensiones, radio de aspecto 1 y ubicación de 10 autos. Abajo. Sección con ubicación de las nueve líneas de medición para la toma de valores en la simulación	163
Figura 5.2. Izquierda. Isométrico que señala condiciones de frontera, separación entre automóviles y ubicación de las nueve líneas de medición para la toma de valores en la simulación. Derecha. Corte transversal de la simulación con 10 vehículos	165
Figura 5.3 Comparación entre las mediciones en campo (líneas continuas) y las simulaciones (líneas puntadas)	167

Capítulo 6 Figuras

Figura 6.1. Sumario de Tw por los 30 casos simulados	173
Figura 6.2 Comportamiento térmico del cañón con orientación Este-Oeste (Fachadas Norte-Sur) a una altura de 1.5 metros y 3.0 metros con 10 coches	175
Figura 6.3 Comportamiento de la velocidad del viento con una entrada de 2.2 m/s en un cañón con orientación Este-Oeste (Fachadas Norte-Sur) con 10 coches	175
Figura 6.4a Comportamiento térmico del cañón con orientación Norte-Sur (Fachadas Este-Oeste) a una altura de 1.5 metros y 3.0 metros con 10 coches	175
Figura 6.4b Comportamiento de la velocidad del viento con una entrada de 2.2 m/s en un cañón con orientación Norte - Sur (Fachadas Este - Oeste) con 10 coches	176
Figura 6.5 Resultados arrojados por el programa SSPS Statistics. Base de medias observadas. El termino de error es la media cuadrática (error) = 4.305. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05	177
Figura 6.6. Comportamiento del promedio de la temperatura del aire (TWA), a diferentes alturas (Z) y posición a lo ancho de la calle (X), sin ningún vehículo y orientados al	182



ESTE-OESTE (fachadas hacia el Norte y Sur). son los datos de un cañón con relación de aspecto de $H/W = 5/10=0.5$; $10/10=1$ y $20/10=2$.	
Gráfica 6.7 Mismas constantes que la gráfica 6.6, pero con 10 vehículos en su interior.	182
Gráfica 6.8 Mismas constantes que la gráfica 6.6, pero con 20 vehículos en su interior	182
Gráfica 6.9 Comportamiento del promedio de la temperatura del aire (T_{WA}), a diferentes alturas (Z) y posición a lo ancho de la calle (X), sin ningún vehículo y orientados al ESTE-OESTE (fachadas hacia el Norte y Sur). son los datos de un cañón con relación de aspecto de $H/W = 5/20=0.25$; $10/20=0.5$ y $20/20=1$.	183
Gráfica 6.10 Mismas constantes que la gráfica 6.9, pero con 10 vehículos en su interior.	183
Gráfica 6.11 Mismas constantes que la gráfica 6.9, pero con 10 vehículos en su interior	183
Gráfica 6.12 Comportamiento del promedio de la temperatura del aire (T_{WA}), a diferentes alturas (Z) y posición a lo ancho de la calle (X), sin ningún vehículo y orientados al NORTE-SUR (fachadas hacia el Este y Oeste). son los datos de un cañón con relación de aspecto de $H/W = 5/10=0.5$; $10/10=1$ y $20/10=2$	184
Gráfica 6.13 Mismas constantes que la gráfica 6.12, pero con 10 vehículos en su interior	184
Gráfica 6.14 Mismas constantes que la gráfica 6.12, pero con 20 vehículos en su interior	184
Gráfica 6.15 Comportamiento del promedio de la temperatura del aire (T_{WA}), a diferentes alturas (Z) y posición a lo ancho de la calle (X), sin ningún vehículo y orientados al NORTE-SUR (fachadas hacia el Este y Oeste). son los datos de un cañón con relación de aspecto de $H/W = 5/20=0.25$; $10/20=0.5$ y $20/20=1$	185
Gráfica 6.16 Mismas constantes que la gráfica 6.15, pero con 10 vehículos en su interior.	185
Gráfica 6.17 Mismas constantes que la gráfica 6.15, pero con 20 vehículos en su interior	185
Figura 6.18 Grafica de relación con numero de autos	190
Figura 6.19 Grafica de relación con el viento	190

Capítulo 7 figuras

Figura 7.1 (Izquierda) Ubicación de las estaciones en Tokio. (Derecha) Grafica de Temperatura media mensual entre las estaciones. Fuente: (Sakakibara & Owa, 2005)	194
Figura 7.2 Grafica con valores de mediciones de campo en los periodos cálido y semicálido con respecto a la temperatura oficial en mayo (32°C) y en febrero (28°C)	195
Figura 7.3 Gráfica comparativa entre los valores de Sailor (2015), mediciones en campo (MC) y simulaciones con el Ansys (Sim), dispuesta de acuerdo con meses	199
Figura 7.4 Grafica de la variación diurna de Q_F , Q_{FH} , Q_{FV} y Q_{FM} en (a) días laborables de primavera, (b) días no laborables de primavera, (c) días laborables de verano, (d) días no laborables de verano, (e) días laborables de otoño, (f) días no laborables de otoño, (g) días laborables de invierno y (h) días no laborables de invierno. Fuente: (Zheng & Weng, 2018)	199
Figura 7.5 Grafica de resultados obtenidos en el trabajo de Ali-Touder y Mayer (2006)	202
Figura 7.6 Grafica de los valores hallados en la investigación de Andreou (2014) a) Graficas superiores. Temperaturas de la superficie del suelo y la fachada para un cañón N-S (izquierda) y un cañón E-O (derecha) con $RA=H/W=0.6$. y b) Graficas inferiores. Temperaturas de la superficie del suelo y de la fachada para un cañón N-S (izquierda) y E-O (derecha) con $RA=H/W=3.0$	202
Figura 7.7 Grafica de resultados encontrados en el trabajo de Farhadi et al. (2019). Los valores de reducción en base a su modelo originan, muestran los resultados de reducción en sus diferentes variables para T_{WA} , T_s y PET para las horas del mediodía (de 10 a.m. a 18 p.m.).	203
Figura 7.8 Grafica de los valores encontrados en la investigación de Abreu-Harbach et al. (2012). Valores diurnos en PET (por sus siglas en ingles Physiologically Equivalent	203



Temperature para el centro urbano de Brasil en un cañón de 20 m de ancho, N-S, NO-SO, E-O, NE-SE con alturas variables de 9, 21 y 44m	
Figura 7.9 Grafica comparativa entre los valores obtenidos de los cañones E-O y N-S, en la presente investigación.	204
 Anexo A (Apartado 4.4.3)	
Figura A.01a Imagen superior de la herramienta raster Set Null.	228
Figura A.01b Imágenes inferiores demuestran como la herramienta quita la zona negra para no ser considera en los cálculos de la temperatura superficial terrestre.	
 Anexo B (Apartado 4.6)	
Figura B.01 HOBO Temperature Relative Humidity Data Logger U12-012 para TBS y HR. Fuente: (Onset, 2018)	232
Figura B.02 Dron Phantom 3 Fuente: (Zekidar, 2014)	232
Figura B.03 Anemómetro, PEAKMETER PM6252A Anemómetro digital. Fuente: (GrupoC&M, 2019)	233
Figura B.04 Arduino uno. Fuente: (Arduino, 2019)	234
Figura B.05 SHT75 - Sensor de Humedad, 1.8 %, 3.3 V, 0% a 100% de Humedad Relativa, SIP, 4 Pines, 8 Sensores de humedad montados en placa de arduino. Fuente: (Newark, 2018)	235
Figura B.06 Módulo GPS Serial NEO-6M. GY-GPS6MV2. Fuente: (T-Bem, 2018)	236
Figura B.07 Piranometro CMP11 Kipp & zonen. Fuente: (Zonen, 2019)	236
 Anexo C (Apartado 4.6)	
Figura C.01 Diagrama de conexiones de SHT75. Fuente Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.	238
Figura C.02 Diagrama de conexión de GPS. Fuente: Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.	238
Figura C.03 Diagrama de conexión del módulo SD. Fuente: Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.	239
Figura C.04 Programación del Módulo GPS. Fuente: Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.	239
Figura C.05 Programación del sensor de Temperatura y Humedad Relativa.. Fuente: Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones	240
Figura C.06 Programación del conjunto de datos. Figura superior aspecto físico del prototipo, inferior imagen de pantalla de la programación. Fuente: Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones	241
Figura C.07 Programación del módulo SD. Fuente: Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones	241



Índice de Tablas

Capítulo 2 Tablas

Tabla 2.1 Posibles causas de la Isla de Calor Urbana (No por orden de importancia)	30
Tabla 2.2 Investigaciones enfocadas en determinar la máxima temperatura entre isotermas (Max.Δ) en la Isla Calor Urbano en México.	37
Tabla 2.3 Estimaciones de contribuciones de calor antropogénico en varias ciudades del mundo.	40
Tabla 2.4 Parámetros básicos del cañón en investigaciones.	41
Tabla 2.5 Investigaciones que validan sus hipótesis con mediciones en campo. p.26	41

Capítulo 3 Tablas

Tabla 3.1 Ejemplo de largas campañas simultaneas de estudios de clima urbano en diferentes escalas. Fuente: (Grimmond, 2006)	74
Tabla 3.2 Características de las tres clases generales de drones de acuerdo a sus rangos de alcance Fuente: (UNEP, 2013)	85
Tabla 3.3 Objetivo de integración de software para la observación en el estudio del clima urbano en sus diferentes escalas y parámetros de análisis del medio ambiente. Modificado de Fuente: (Srivanti, 2013)	92

Capítulo 4 Tablas

Tabla 4.1 Propósitos y valores de los diferentes alcances de las investigaciones Fuente: (Hernández et al, 2014, pág. 97)	103
Tabla 4.2a Tipos de Climas en el Estado de Veracruz. Fuente: (SEDECOP, 2017)	109
Tabla 4.2b Tipos de Climas en la República Mexicana. Fuente: (INEGI, 2005)	111
Tabla 4.2c Tipos de Climas del Grupo A y sus Subtipos dentro de la República Mexicana. Fuente: (INEGI, 2005)	112
Tabla 4.3 Estadística contextual de la población y territorio de Veracruz y su zona urbana. Fuente: (ONU Habitat, 2016)	113
Tabla 4.4 Tendencias estadísticas de la temperatura en relación a ciudades con población alta y mediana, ubicando a la Ciudad de Veracruz con resultados de la fig. 4.4. Modificado de (Jáuregui, 2005)	116
Tabla 4.5 Dimensiones de las cuadras que conforman la calle de estudio.	133
Tabla 4.6 Análisis de las Relaciones de Aspecto y observaciones generales de las cuadras que conforman la calle Independencia.	133
Tabla 4.7 Resultados de Temperatura de Bulbo Seco entre los Datalogger modelo U12-02	143
Tabla 4.8 Resultados de Temperatura de Bulbo Seco entre MeVA y los Datalogger modelo U12-02	143
Tabla 4.9 Promedio de la Temperatura de Bulbo Seco entre MeVA y los Datalogger modelo	144
Tabla 4.10 Resultados de Humedad Relativa entre los Datalogger modelo U12-02	144
Tabla 4.11 Resultados de la Humedad Relativa entre MeVA y los Datalogger modelo U12-02	145
Tabla 4.12 Promedio de la Temperatura de Bulbo Seco entre MeVA y los Datalogger modelo	145



Capítulo 5 tablas

Tabla 5.1 Lista de las propiedades térmicas de los materiales usados en las paredes de los edificios, superficies de rodamiento y carrocería del automóvil, datos basados en (Cengel & Ghajar, 2011)	164
Tabla 5.2 Calificación de desempeño sugerido para la evaluación del modelo basado en el nuevo índice PMARE (Ali & Abustan, 2014)	168
Tabla 5.3 Valore finales del PMARE (%)	169

Capítulo 6 Tablas

Tabla 6.1 Lista de variables consideradas en las simulaciones	170
Tabla 6.2a Base de datos para la comparación de las 120 simulaciones, con orientación Este-Oeste, valores expresados en °C	170
Tabla 6.2b Base de datos para la comparación de las 120 simulaciones con orientación Norte-Sur, valores expresados en °C	172
Tabla 6.3 Tabla de porcentaje de acuerdo con el número de automóviles	176
Tabla 6.4. Tabla de perdidas por efecto del viento en °C	178
Tabla 6.5 Tabla de porcentaje de acuerdo con el incremento de °C con el efecto de orientación	178
Tabla 6.6 Los 36 casos de simulación, realizados en ANSYS	179
Tabla 6.7 Comparación de datos en relación con el número de autos	185
Tabla 6.8 Base de datos para la comparación de las simulaciones con cañones orientados al Este-Oeste y su porcentaje de aumento con los orientados al Norte-Sur	186
Tabla 6.19 Base de datos para la comparación de las simulaciones en relaciones de aspecto, la base dada en °C son los cañones que contiene edificios con altura de 5 metros	188
Tabla 6.10 Datos para la asociación con la variable de número de coches	189
Tabla 6.11 Datos para la asociación con la variable de viento	190
Tabla 6.12 Datos para la asociación con la orientación	191
Tabla 6.13 Datos para la asociación con el ancho de la calle	192
Tabla 6.14 Datos para la asociación con la altura del cañón	192

Capítulo 7 Tablas

Tabla 7.1 Valores de Q_F y Q_{FV} a escala urbana para ciudades americanas en periodo cálido (verano) Fuente: Modificado de Sailor et al. (2015)	196
Tabla 7.2 Valores de Q_F y Q_{FV} a escala urbana para ciudades americanas en el periodo semicálido (invierno), Modificado de Sailor et al. (2015)	197
Tabla 7.3 Calculo de Q_{FV} en Wm^{-2} , mediante la ecuación de radiación de Stefan Boltzmann	198
Tabla 7.4 Datos comparativos de las investigaciones	201
Tabla 7.5 Resultados en °C de la TWA en diferentes cañones y sus RA (H/W=Alto/Ancho)	205

Anexo D (Capitulo 4.6.2)

Tabla D. Base de datos de Temperatura de Bulbo Seco para la calibración de MeVA (Apartado 4.6.2)	242
--	-----

Anexo E (Capitulo 4.6.2)

Base de datos de Humedad Relativa para la calibración de MeVA (Apartado 4.6.2)	253
--	-----



Anexo F ([Apartado 4.7](#))

Tabla F. Base de datos de mediciones de campo (Apartado 4.7) MAYO 19 Y 20; 2018 / PERIODO CALIDO / 12 Y 6 AUTOS [°C]	264
Tabla F. Base de datos de mediciones de campo (Apartado 4.7) FEBRERO 2 Y 3; 2019/ PERIODO SEMICALIDO / 12 Y 6 AUTOS [°C]	266

Anexo G ([Apartado 5.4](#))

Tabla G.01 DATOS DE SIMULACION Viento de 1.2 m/s Orientación NORTE-SUR. Cuadrícula HEXAEDRICA (10 autos y 10 metros ancho con 10 m/s)	269
Tabla G.02 DATOS DE CAMPO Día 19 de mayo con 12 coches, y un promedio de 1.2 m/s. Sección comprendida entre las calles de Arista y Morales	271



Resumen

La complejidad del entorno urbano y su innegable nexo con la ecuación del balance energética, abre las puertas a los investigadores para comprender fenómenos como la Isla de Calor Urbano (ICU) que ocurren actualmente en las grandes metrópolis. Un factor poco estudiado de la ICU es el calor antropogénico vehicular. Mediante la aplicación de una metodología para la recolección de datos climáticos en campo utilizando el vehículo aéreo no tripulado, comúnmente llamado dron y con el software Computacional Fluid Dynamics (CFD), se busca comprender el entorno térmico dentro de un cañón urbano, en función de cuatro variables, el calor producido por la máquina de combustión de los vehículos (Q_{FV}), la orientación (Norte-Sur y Este-Oeste), el viento y las relaciones de aspecto (largo, ancho y alto) que conforman las calles. El análisis de la correlación de estas variables se basa en la información obtenida de la simulación en diferentes estratos de altura, considerando valores constantes como la radiación directa, radiación difusa, emisividad y absorptividad de los materiales y una temperatura fija para el capó o cofre del auto, alterando la cantidad de vehículos automotores y la orientación para examinar los diferentes patrones de los perfiles térmicos. Los resultados finales de la simulación fueron validados posteriormente con los datos obtenidos en campo en el caso de estudio, ubicado en la Calle de Independencia de la Ciudad y Puerto de Veracruz.

Los resultados, en el caso de estudio, establecieron que la aportación del calor antropogénico vehicular (Q_{FV}) en un el periodo cálido a la altura de 1.50 metros de 15 a 20 Wm^{-2} y a la altura de 3.00 metros disminuye a 13 Wm^{-2} y en el periodo frío es en general de 5 Wm^{-2} , simplificando y precisando la determinación de Q_{FV} en las diferentes alturas del cañón estudiado. Además, las mediciones en campo determinaron que el centro del cañón presente 2°C más de temperatura que las aceras, cuando no hay movimiento automovilístico, y con la circulación de 10 autos por minuto, ese calor se traslada hacia las banquetas. La investigación abre la pauta para comprender dicho fenómeno y ser considerado en las simulaciones para la eficiencia energética de los edificios, puesto que impacta directamente en las fachadas de las construcciones y en la determinación de las técnicas pasivas y activas de enfriamiento.

Palabras Claves

Isla de Calor Urbano, Cañón, Microclima, medición en Campo, Simulación.



Abstract

The complexity of the urban environment and its undeniable nexus with the energy balance equation, opens the doors for researchers to understand phenomena such as Urban Heat Island (UHI) that currently occur in the large metropolises. A little studied factor of the UHI is the anthropogenic vehicular heat. Through the application of a methodology for the collection of climatic data in the field using the unmanned aerial vehicle, commonly called a drone and with the Fluid Dynamics Computational Software (CFD), we seek to understand the thermal environment within an urban canyon, depending on four variables, the heat produced by the combustion machine of the vehicles, the orientation (North-South and East-West), the wind and the aspect ratios (length, width and height) that make up the streets.

The analysis of the correlation of these variables is based on the information obtained from the simulation in different height strata, considering constant values such as direct radiation, diffuse radiation, emissivity and absorptivity of the materials and a fixed temperature for the hood or chest of the auto, altering the amount of motor vehicles and guidance to examine the different patterns of thermal profiles. The results of the simulation were subsequently validated with the data obtained in the field in the case study, located in the Independence Street of the City and Port of Veracruz.

The results, in the case study, established that the contribution of vehicular anthropogenic heat (Q_{FV}) in a warm period at the height of 1.50 meters from 15 to 20 Wm^{-2} and at the height of 3.00 meters decreases to 13 Wm^{-2} and in the cold period it is generally 5 Wm^{-2} , simplifying and specifying the determination of Q_{FV} at the different heights of the studied canyon. In addition, the measurements in the field determined that the center of the canyon has 2°C more temperature than the sidewalks, when there is no car movement, and with the circulation of 10 cars per minute, that heat is transferred to the sidewalks.

The research opens the pattern to understand this phenomenon and be considered in the simulations for the energy efficiency of buildings, since it directly impacts the facades of the buildings and the determination of passive and active cooling techniques.

Keywords

Urban Heat Island, Canyon, Microclimate, Field measurement, Simulation.



I. INTRODUCCIÓN

Desde hace un siglo, se sabe que los asentamientos urbanos muestran un incremento de temperatura en relación con sus alrededores rurales, fenómeno ampliamente reportados en diferentes ciudades del mundo y conocido como Isla de Calor Urbano.

Los investigadores reportan problemáticas asociadas con la Isla de Calor Urbano (ICU) como, el aumento de uso de energía ligado con la generación de gases de invernadero y potencialización en la mortalidad por estrés a causa del aumento de temperatura que resienten los habitantes de manera más prolongada y que en algunos casos, se convierte en ola de calor (Li, y otros, 2018).

Varios son los factores que alteran el clima en la ciudad y causan la formación de las isotermas de la ICU: a) las propiedades físico-térmicas de las superficies urbanas (reflectancia solar, albedo, emisividad, emitancia), b) la alteración del porcentaje de evapotranspiración asociada con los metros cuadrados de áreas verdes, c) variables de diseño urbano (densidad de construcción, uso de suelo, geometría urbana o relaciones de aspecto, orientación y factor de vista del cielo y por último, pero no menor d) el calor antropogénico (Q_F), de los seres humanos, industria, edificios y vehículos (Santamouris, y otros, 2011).

Este el último, Calor Antropogénico Vehicular (Q_{FV}) es el tema asociado con la presente investigación; factor estudiado de manera global con los otros flujos de calor Q_F , debido a su complejidad en la toma de mediciones en campo y la variedad de variables que intervienen en él.

La unidad de análisis tomada en este caso fue el cañón, estructura urbana que comparte similitudes aun en diferentes ciudades, como es su ubicación horizontal (microescala) y vertical (dosel). Dentro de la contextualización de la ICU, el cañón urbano se puede puntualizar como un microclima generado por las diversas configuraciones urbanas dentro de la capa de dosel y afectado por su entorno inmediato, su geometría y propiedades físicas-térmicas de los materiales (Santamouris, y otros, 2011) (Stromann-Andersen & Sattrup, 2011).

El primer acercamiento del flujo de calor, Q_F ; fue la consideración de sinónimo de consumo de energía (Oke, 1988) donde, su incorporación en los modelos de simulación de clima urbano es relativamente sencilla, incluido generalmente como constantes, en las ecuaciones presupuestarias de energía de volumen de superficie y de control.



1.1 Planteamiento del problema

El estudio del confort humano es abarcado desde varios enfoques, como es el análisis ambiental psicológico y fisiológico. Una cuestión, muy estudiada, es el confort higrotérmico de las personas a nivel de dosel, en espacios interiores o exteriores.

El fenómeno de Isla de Calor Urbano (ICU) alude al aumento de la temperatura en las zonas urbanas en relación con las rurales adyacentes; en otras palabras, es el registro de las temperaturas más altas en los centros urbanos en comparación con las áreas rurales o suburbanas circundantes ([Santamouris, Synnefa, & Karlessi, 2011](#)). Ante ello, surge la reflexión en torno a las investigaciones que determinan sus causas, su modo de medición, los efectos de estos sucesos en la calidad de vida humana, sus estrategias de mitigación y su legislación como un indicador de sustentabilidad de las ciudades.

En los espacios exteriores, el fenómeno de la ICU se manifiesta como un principal obstáculo para el objetivo del confort humano. Dentro de este, los principales tópicos ([Figura 1.1](#)) presentan a su vez subtemas como las causas de este fenómeno. Urbanistas, climatólogos y arquitectos han determinado que la generación del calor antropogénico es un factor primordial en la formación del fenómeno, objeto de estudio de esta investigación.

A partir del paradigma de que la ciudad se concibe como la creación fundamental para el desarrollo cultural de la humanidad, es pertinente el monitoreo de datos climáticos, sociales y económicos, con el rigor metodológico para obtener información certera que ayuden a cubrir las demandas de sus habitantes.

La determinación y el análisis de la Isla de Calor Urbana, ha sido centro a nivel mundial de investigaciones. Dentro de este contexto, en México se ha demostrado el interés realizando estudios de campo para determinar la configuración de las isothermas de algunas principales ciudades como se observa en la [Tabla 2.1](#) y tomando como ejemplo, el caso de la Ciudad de Mexicali ([García Cueto, Jáuregui Ostos, Toudert, & Tejeda Martínez, 2007](#)) ([García Cueto, Tejeda Martínez, & Bojorquez Morales, 2009](#)) ([Castillas, 2007](#)), establecer cuál es



el aumento en temperaturas proyectado actualmente y a futuro en relación a los usos de suelo. Cabe mencionar que, estos estudios requirieren recurso económico y humano.

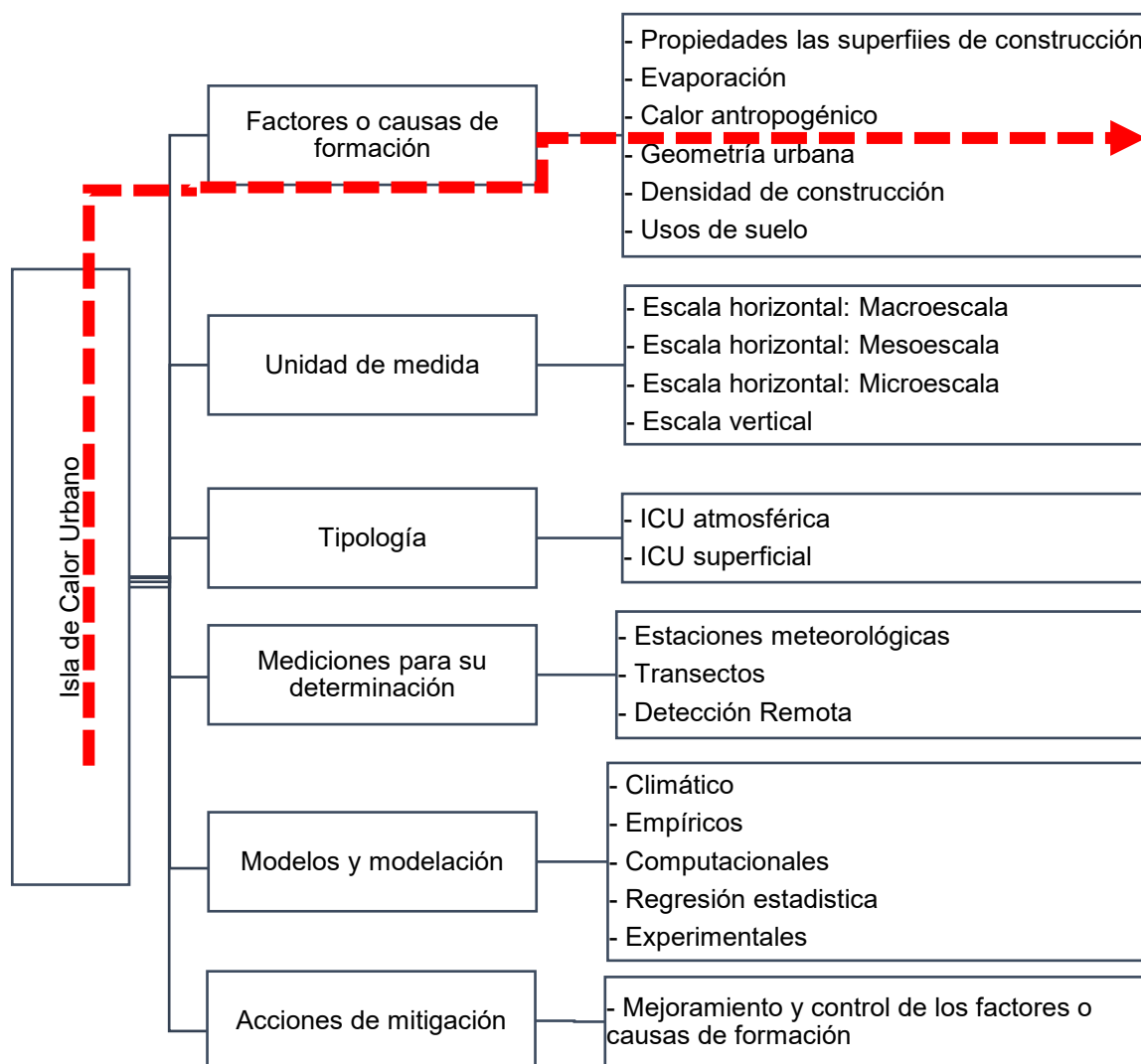


Figura 1.1 Líneas principales de investigación de la Isla de Calor Urbano y la señalización de la ubicación de nuestro objeto de estudio.

En este sentido, Stromman et al. (2011), simplificaron el estudio climático de una compleja ciudad y su estructura interna, enfocándose en la unidad urbana básica “cañón”, donde podemos encontrar patrones repetitivos en las mediciones, las cuales pueden ser extrapoladas a un todo.

Al comprender la influencia de los parámetros que conforman los cañones de una ciudad, se obliga a la planificación simultánea, desde la mesoescala (áreas exteriores, parques,



plazas) hasta la microescala (edificios) para obtener el confort térmico de los usuarios, ubicados en la escala de dosel.

Los parámetros que modifican la dinámica de los flujos (viento, térmicos, sonoros y partículas contaminantes) dentro de los cañones son afectados por las propiedades de las superficies de los materiales, la evapotranspiración, geometrías en el diseño urbano y edificios, parámetros meteorológicos y el calor generado por las actividades humanas (metabolismo, industria, edificios y vehicular).

El menos estudiado, es el calor antropogénico vehicular (Q_{FV}), actualmente Chow (2014) y Sailor (2015), buscan la estimación de estos valores de manera más detallada para varias regiones y generar una base de datos para la planeación urbana sostenible.

La magnitud de Q_{FV} está en función de la extensión espacial del área de análisis, adicionado las formas y funciones urbanas que dependen del consumo de energía, patrones de tráfico y microclima.

De hecho, Sailor et al. (2015), afirma que su magnitud es inversamente proporcional a su escala de estudio, es decir, en microescala es más alta, mientras que disminuye cuando se promedia con los valores de una ciudad, sin embargo, los valores que arrojan las investigaciones son muy variados.

En la actualidad varios especialistas en la materia plantean la importancia de correlaciones de ICU considerando la variante de calor antropogénico, en específico el efecto vehicular. En contraste con esto, en México no cuenta con investigaciones que consideren el efecto térmico del parque vehicular dentro de las ciudades.

Utilizando el método propuesto MeVA (Medición en Vuelo Autónomo) se logra relacionar la variante térmica con el calor expulsado por los coches. La propuesta es regular el flujo vehicular como una técnica de mitigación para reducir grados de calor, tomando en cuenta su costo social y económico.

Teniendo en cuenta el análisis preliminar de la ICU de la tesis de Baca (2011), finalmente se seleccionó el escenario de la Ciudad y Puerto de Veracruz y como caso de estudio la calle de Independencia ubicada en una de las isothermas de calor, para analizar la correlación entre incremento de temperatura por consecuencia del calor expedido por los autos, a una escala vertical de dosel en un cañón urbano.



1.2 Justificación

La comprensión de los parámetros geométricos y físicos que conforman el cañón urbano, obligan la planificación urbana, diseño de proyectos y áreas exteriores para el confort térmico de los usuarios, ubicado en la escala de dosel. El estudio de los aspectos de confort en exteriores conlleva en su disertación la consideración de parámetros climáticos que varían con el espacio y tiempo.

La información recabada de mediciones climáticas y su entendimiento de los fenómenos físicos que ocurren dentro de los cañones, constituyen un acervo de conocimiento para los planificadores urbanos, público y privados. Necesario para investigaciones desarrolladas sobre la salud, estrés y adaptación térmica que afecta aspectos psicológicos y físicos de los habitantes en las urbes (Nikilopoulou & Steemers, 2003).

Con el advenimiento de las advertencias del cambio climático y sobre todo, del alarmante informe de las Naciones Unidas en relación al comportamiento demográfico en la ciudades, donde *“el 54 por ciento de la población mundial actual reside en áreas urbanas, y se prevé que para el año 2050 llegará al 66 por ciento ... en otras palabras, el crecimiento de población que registrarán numerosas ciudades supondrá numerosos desafíos para ellas, en cuanto a atender las necesidades de sus habitantes tanto en vivienda, como en infraestructura, transporte y la provisión de servicios básicos”* (ONU, 2014), excluye la satisfacción ambiental térmica, que debe ser incorporada en la planeación urbanística.

De una manera exponencial se incrementó en las últimas tres décadas, el trabajo intelectual en muchas áreas técnicas, como: climatología, arquitectura, urbanismo e ingeniería en casi todas sus disciplinas, sobre una conciencia ecológica. De ahí que, saberes abordados a consecuencia de falta de prevención, al ocurrir una migración masiva de las zonas rurales a las urbana, sólo el 3% de la superficie terrestre es ocupada por ellas.

Parte, de los desafíos científicos es buscar una sabiduría colectiva que servirá como banco de pruebas para soluciones y acciones novedosas que despliegan enfoques sostenibles en un mundo caracterizado por el continuo crecimiento demográfico y fragmentación de hábitats con su entorno (Ruth & Baklanov, 2012).

En la actualidad, además de los estudios a gran escala como el de la ICU, los realizados a microescala tienen teniendo buena aceptación como un reflejo del comportamiento de una



ciudad, quedando claro que todas las urbes tienen diferentes morfologías edificatorias, por lo tanto, las mediciones locales han ganado prestigio para entender el comportamiento de la ciudad, utilizándolas para determinar y medir la efectividad de las estrategias de adaptación de manera puntual, de acuerdo con las condiciones ambientales del lugar.

La indagatoria de factores en los perfiles térmicos de las calles a nivel dosel de las estructuras urbanas, brinda valiosa información en el confort de sus habitantes. Además, la búsqueda en el diseño de una apropiada cuantificación permite la validación adecuada, comparable con otros resultados de distintos sondeos.

El desarrollo sistemático de un proyecto que garantice medir de manera eficaz y eficiente las variables básicas de las calles, mediante un equipo portátil multisensor fue utilizado en mi investigación encaminada en la línea de investigación del desempeño humano y ambiental enfocado en la problemática de la ICU, resultando un proyecto piloto con una nueva variable, en este caso el flujo de calor sensible vehicular.

Variable, que está siendo considerada en algunos estudios a una macroescala y casi relegada a una microescala. Su estudio pondrá en claro su jerarquía y la necesidad de visibilizarla en proyectos de urbanización.

1.3 Pregunta de investigación

A manera de guía se desarrolla la pregunta principal de investigación

- ¿Cómo determinar la correlación en grados centígrados del calor vehicular y la relación de aspecto de un cañón urbano para la modificación del perfil térmico de una calle?

De la cual surgen las siguientes incógnitas, que permiten ahondar en la determinación de datos y metodología:

- ¿Cuál es la ponderación de aporte de los autos en relación con otras variables de diseño?
- ¿Qué produce más aportación de calor autos en movimiento o estáticos?
- ¿Cómo determinar la velocidad del flujo vehicular para que disminuya la temperatura interna de un cañón urbano?
- ¿Cuántos vehículos deben dejar de transitar en una calle con clima cálido-húmedo para reducir grados de calor?



- ¿Por qué es importante una adecuada medición de parámetros climáticos de los cañones para la solución de la Isla de calor urbano?
- ¿Por qué es importante tener datos climáticos adecuados para la simulación?
- ¿Cómo determinar los resultados anteriores, como medidas de mitigación en la ICU? Ejemplo: Hoy no circula, cerramiento de la calle
- ¿Cómo traducir estos escenarios en términos de consumo energético?

1.4 Hipótesis

El calor antropogénico vehicular ($^{\circ}\text{C}$) en el perfil térmico de un cañón urbano, es posible su modificarlo a través de las relaciones de aspecto (parámetros geométricos), logrando una medida de mitigación al fenómeno de la Isla de Calor Urbano a nivel dosel.

1.5 Objetivo general y objetivos secundarios

El objetivo principal de la investigación es determinar la influencia de calor antropogénico vehicular, en el perfil térmico de un cañón urbano determinando el nivel de ponderación que tienen los parámetros geométricos (altura, ancho y longitud) en dicho fenómeno físico.

Para alcanzar este objetivo principal, se abordan otras actividades, que pueden considerarse como objetivos particulares, entre los que se destacan los siguientes:

- Análisis de investigaciones realizadas a nivel internacional y sus técnicas de medición;
- diseño del modelo de medición in situ, para determinar parámetros como: temperatura del aire y humedad relativa, dentro de un cañón urbano;
- realización de varios escenarios de simulación para determinar la ponderación de aporte del afluente vehicular en un cañón urbano;
- validación de los resultados de la simulación con las mediciones de campo; y
- correlación en la interacción de las variables encontradas

1.6 Alcances y limitaciones

Los alcances de la presente investigación incluyen, el reconocimiento del contexto bioclimático del caso de estudio desde la macroescala mediante la teledetección satelital del LandSat 8 con sus bandas térmicas 10 y 11 obteniendo las isotermas de la ciudad; el análisis climático con datos meteorológicos oficiales del Centro Hidrometeorológico Regional Boca del Río; el estudio del revestimiento de suelo y foro vehicular de la ciudad.



Hasta la exploración de la microescala mediante el monitoreo térmico de la calle seleccionada como caso de referencia mediante el desplazamiento de vehículos aéreos no tripulados (dron); la simulación del caso de estudio en software ANSYS, su validación, así como la aplicación en diferentes escenarios o modelos. Y, por último, el estudio estadístico de datos para el desarrollo del diagnóstico comparativo y conclusiones.

Tangencialmente se aludió aspectos como información básica del fenómeno de la Isla de Calor Urbano; definición del cañón como unidad de estructura urbana de análisis; los parámetros modificadores del microclima y el beneficio de su inclusión en la planeación urbana; las metodologías de medición a micro y macroescala actuales; los modelos climáticos usados para la predicción de la temperatura del aire; también se menciona la Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos avalada por la Organización Meteorológica Mundial como marco de la normativa para las mediciones climáticas urbanas.

Los aspectos no mencionados o abordados en el presente estudio fueron las estrategias de movilidad urbana; los procesos o técnicas constructivas para la modificación de los factores que alteran el macro y el microclima como son las propiedades de las superficies de las construcciones y la evapotranspiración, aludida a las áreas verdes.

Las limitaciones que se presentaron durante la investigación estuvieron vinculadas con la capacidad económica (compra de instrumentos, material o equipo), duración de la investigación y condiciones climáticas extremas.



II. ESTADO DEL ARTE

Como inicio, y dentro de la línea de investigación de medio ambiente, el tema de ICU permite tener un panorama holístico; el cual, dentro de sus generalidades, demuestra la importancia del tema de investigación y su relación con el confort térmico en los microclimas urbanos. A continuación, se hace un resumen de los conceptos básicos de la ICU, el microclima urbano y su conexión con los cañones urbanos, para finalizar con el análisis de estudios de casos mediante el uso de tablas sinópticas.

2.1 Isla de Calor Urbana

La climatología por definición es el estudio del comportamiento a largo plazo de la atmósfera en un lugar geográfico determinado. Dentro de sus disciplinas más especializadas, está la climatología urbana, para el estudio de las modificaciones locales por las actividades humanas y sus asentamientos urbanos. Su aplicación es relevante en los temas relacionados con la planificación urbana, la calidad ambiental del medio urbano y los riesgos climáticos que afectan a las ciudades, permitiendo la rehabilitación, la restructuración o reconstrucción de estas para el confort de sus habitantes ([Moreno, 2010](#)).

El mesoclima describe el clima de una región, que puede abarcar ciudades, pueblos e incluso países enteros, definido por los grandes accidentes topográficos, océanos, mares, la altitud y la ubicación geográfica. Mientras que el macroclima se refiere al clima a nivel continental, que está determinado por los sistemas de circulación atmosférica a gran escala. Ambos, están interrelacionados, y sufren alteraciones debido a las modificaciones locales que toleran los microclimas a través de varios de sus elementos.

Un microclima es un clima local, de características distintas a las de la zona en que se ubica, siendo un conjunto de patrones y procesos atmosféricos que caracterizan un entorno o ámbito reducido. Los factores que lo componen son la topografía, temperatura, humedad, altitud, latitud, radiación solar, la cobertura vegetal y la infraestructura humana que pueden incidir en las variables atmosféricas como meteorológicas y climáticas ([Oke, 1987](#)).

Además, de los microclimas naturales, existen los microclimas artificiales, que se crean principalmente en las áreas urbanas debido a los materiales de los entornos urbanos, modificación de las áreas verdes, las grandes emisiones de calor y gases de efecto invernadero. Un fenómeno que afecta a las metrópolis es la llamada Isla de Calor Urbana (ICU), la cual constituye una alteración de su clima natural a mesoescala y microescala.



En palabras del Helmt E. Lansberg, *“la manifestación climática más evidente de la urbanización es la tendencia a elevar las temperaturas del aire”* (Landsberg, 1981). La Isla de Calor Urbana (ICU), alude a ese aumento de la temperatura en las zonas urbanas en relación a las rurales adyacentes, en otras palabras, se relaciona con las temperaturas más altas en las concentraciones urbanas en comparación con las áreas rurales o suburbanas circundantes (Santamouris, Synnefa, & Karlessi, 2011).

Los iniciadores de las observaciones climáticas urbanas fueron Luke Howard, Emilién Renou y Wilhelm Schimidt, en Londres, Francia y Viena, respectivamente. Evaluaron y analizaron en sus estudios las disímiles temperaturas dentro de su ciudad y la periferia (Gartland, 2008).

Luke Howard, observó en la ciudad de Londres, un aumento en temperatura, entre la zona urbana y rural, atribuyendo estas diferencias a procesos antropogénicos, es decir, el intenso uso de combustible fósil. Escribió su primer libro en 1818; una segunda edición en 1820 y una extensa en 1833. Renou, climatólogo francés, entre 1885 y 1868, genera nueva evidencia del fenómeno Isla Calor Urbano al advertir que la capital parisina, presenta diferencias de más de uno a dos grados centígrados en el centro que en sus alrededores y W. Schimidt inicia sus informaciones de la ciudad de Viena entre 1917 y 1929 (Landsberg, 1981). Posteriormente, en los Estados Unidos, en 1953 con el climatólogo J. Murray Mitchell Jr. (1953), expone una disertación comprendida de 1900 a 1940, donde se estudian 77 estaciones meteorológicas en todo el país; remarca la importancia de reconocer el acrecentamiento de las temperaturas, por el incremento de la población y las actividades que se generan, las cuales contribuyen a la ahora tipificada Isla de Calor Urbano.

Ante ello, se apertura la reflexión a la problemática de las investigaciones que determine sus causas, su modo de medición, los efectos de estos sucesos en la calidad de vida humana, sus estrategias de mitigación y su legislación como un indicador de sustentabilidad de las urbes.

Después, de estas mediciones y comparaciones brindadas por los climatólogos, oficialmente se inventa el término de ICU por Gordon Manley (1958) en alusión a una representación de un mapa de isotermas que se distribuyen concéntricamente en la ciudad de Londres, demostrando un efecto de calidez artificial.



Los investigadores introducen una nueva terminología en conceptos de la climatología urbana, para determinar mejor el fenómeno, como ([Figura 2.1](#)):

- Capa límite urbana (urban boundary layer);
- capa de dosel (urban canopy layer);
- cañón urbano (urban canyon);
- factor de visión del cielo (sky view factor SVF);
- transecto (transect);
- brisa urbana (rural wind);
- meseta térmica, escarpe y pico (termic plateau, cliff and peak); y
- isla de sequedad (dry island).

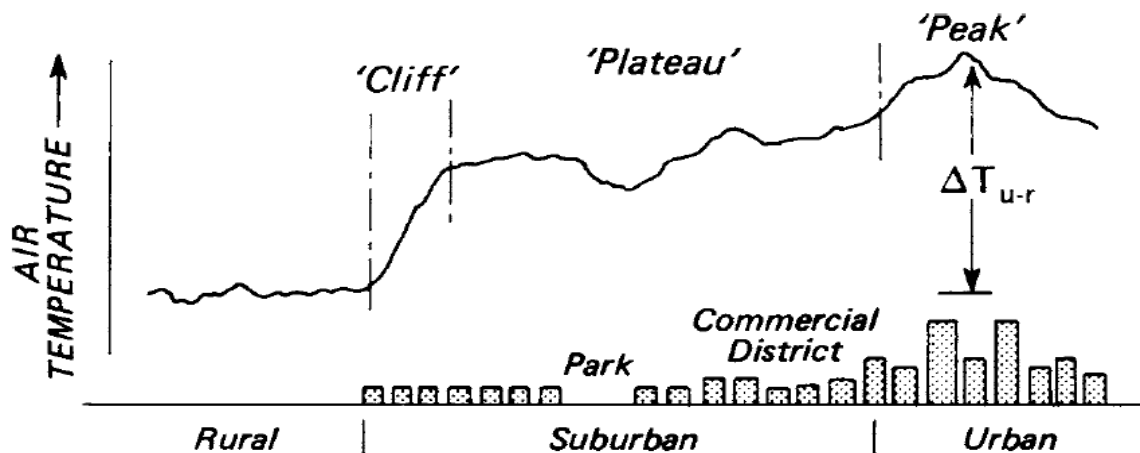


Figura 2.1 Sección típica de la ICU resultado de la urbanización. Fuente: (Oke, 1987).

Mucha de la nueva terminología fue introducida por el climatólogo canadiense Tim R. Oke desde 1976, y una de sus trascendentes traductoras al castellano, es la doctora María del Carmen Moreno García ([1997](#)), maestra de la Universidad de Barcelona.

El fenómeno de la ICU se inicia cuando el hombre altera el medio físico ambiental con la llegada de la Revolución Industrial, primeramente con la invención de la máquina de vapor modificando aspectos de la vida y disminuyendo tiempos de producción y posteriormente, fomentando el uso de combustibles fósiles para la generación de energía, ([Conde , 2007](#)), pero dañando el medio ambiente.



Romper el nexo con el contexto ambiental, cubrir y alterar la vegetación propia del lugar con materiales inventados por el ser humano; para el imaginario social, estas acciones son una señal de estatus de superioridad, sin ver las consecuencias a largo plazo.

Alrededor del mundo se realizan grandes esfuerzos para mitigar el fenómeno de ICU, su consecuencia de alteración térmica en el confort de la sociedad. En la [Figura 2.2](#), se muestran las causas de del fenómeno.

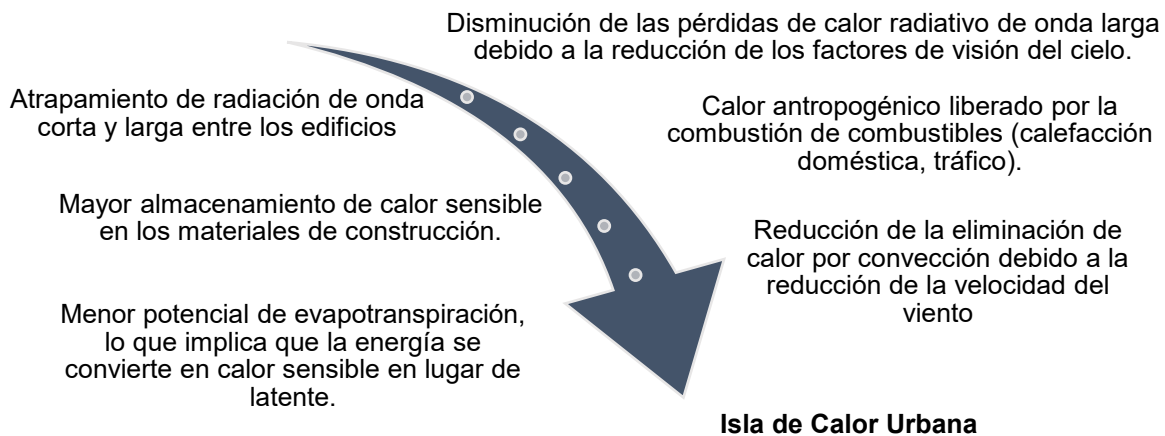


Figura 2.2 Causas de la Isla de Calor Urbana.

Son cinco las características que determinan el fenómeno de la ICU. La principal es el aumento de temperaturas de la zona urbana central y la periferia rural, con un distinto patrón de comportamiento diario, debido a las particularidades propias del lugar, identificándose la capa de dosel. Segundo, las temperaturas son impulsadas por los tipos de materiales de construcción usados en las ciudades, los cuales absorben mayor radiación solar. Otra característica, es el hecho que las temperaturas se incrementan en función de los días sin viento y despejados. Por último, las áreas con menor vegetación y mayor superficie artificial alimentan el fenómeno ([Gartland, 2008](#)).

El fenómeno de la ICU es explicado por la física a través de la primera ley de la termodinámica; para evaluar este fenómeno se aplican los tres mecanismos básicos de la transferencia de calor: la conducción, convección y radiación que ocurren de manera simultáneas. Los aspectos climatológicos de la región, la morfología de la ciudad (altura y rugosidad), los materiales de construcción, usos de suelo, la superficie de vegetación de la ciudad y las actividades humanas, son las variables que afectan estos fenómenos.

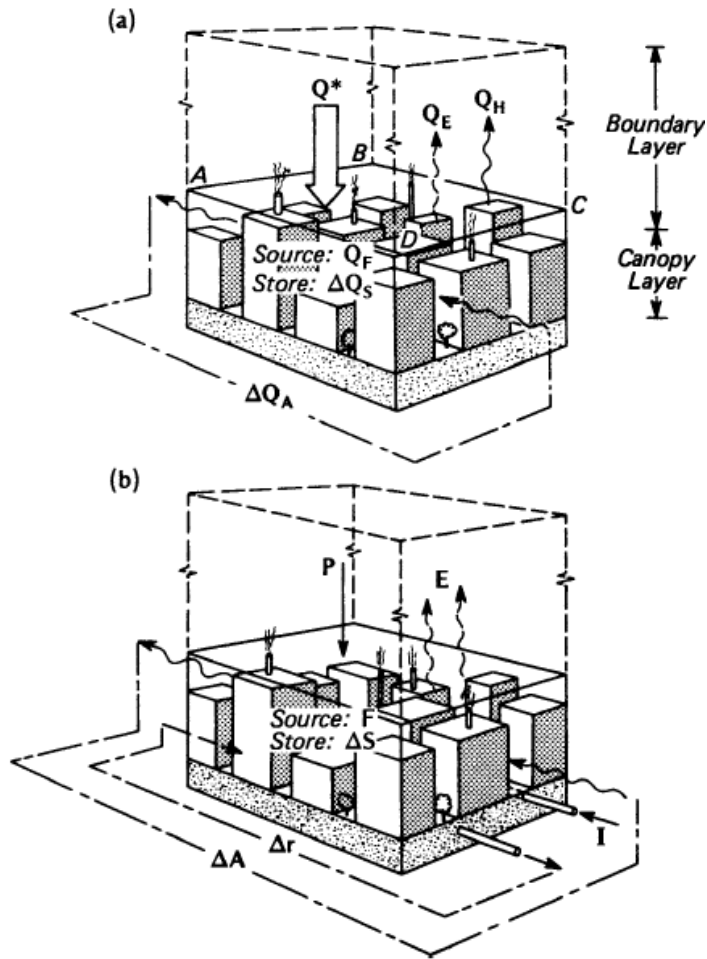


Figura 2.3 Representación esquemática de los flujos involucrados en (a) la energía y (b) el balance hídrico de un volumen urbano de aire de construcción. Fuente: (Oke, 1987)

La teoría aceptada para entender el fenómeno, es la propuesta por T.R. Oke (1987) donde enseña que todo inicia con la radiación solar que incide en las superficies artificiales de las ciudades, se le resta la radiación reflejada y emitida por las mismas, quedando entonces la radiación neta (Q^*). Esta radiación es la energía que queda disponible en el sistema suelo-atmósfera sobre la que ocurren los siguientes procesos: una parte es cedida por la superficie a la atmósfera como calor sensible turbulento, para calentar el aire a través de remolinos que transportan calor (Q_F), otra porción también es cedida del suelo a la atmósfera como calor latente de aportación, para evaporar agua, (Q_E) y otra parte se queda como calor retenido en los materiales del tejido urbano Q_S . Hay que añadir también la radiación de origen

terrestre que es absorbida por la capa de smog, más el calor de origen antropogénico (Q_F), la cual es combinada con la fórmula de balance hídrico que se produce en una zona rural.

Balance del flujo energético de un volumen de aire (Figura 2.3):

$$Q^* + Q_H = Q_F + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

Ec. 1

Donde:

Q = Radiación solar.

Q^* = Radiación neta.

Q_H = Calor sensible turbulento (transportado por los sus propios remolinos).

Q_E = Radiación cedida del suelo a la atmósfera por calor latente de evaporación.



Q_F = Calor de origen antropogénico.

ΔQ_S = Calor retenido en los materiales.

ΔQ_A = Transferencia horizontal neta de calor sensible y latente.

Balance del flujo energético de un volumen de aire ([Figura 2.3](#)):

$$p + F + I = E + \Delta r + \Delta S + \Delta A$$

Ec. 2

Dónde:

p = Precipitación.

F = Agua liberada a la atmósfera por la combustión.

I = Agua de tubería suministrada por unidad de área.

r = Resistencia al flujo.

S = Contenido de humedad del suelo.

A = Humedad transportada horizontalmente en el aire por unidad de área horizontal.

De la ecuación anterior, se deduce que las causas del fenómeno son la falta de vegetación, los materiales de construcción y la geometría de la ciudad.

El primero, por su poca inclusión en el área urbana, reduce la evaporación y no permite disipar el calor por la evapotranspiración. Los materiales que se usan en las superficies de las ciudades tienen gran capacidad de almacenaje de calor, incrementando la radiación neta, reducen la convección y la evaporación, lo último, debido a que son impermeables y no permiten que el calor sea disipado.

Finalmente, la tercera atrapa el calor y reduce la velocidad del viento, incrementando la radiación y disminuyendo el fenómeno de la convección.

Por último, las actividades antropogénicas incrementan las fuentes de calor, como es el transporte, industria y la misma población en las urbes, con su obvia consecuencia de contaminación en el aire, atrapando la radiación neta. La cual cierra el círculo de consecuencias ocasionadas por el desarrollo urbano; incrementando el calor, la demanda de uso de energía y, por lo tanto, el aumento de contaminación ([Gartland, 2008](#)).

Si se analiza el fenómeno de la ICU de acuerdo con la fórmula del balance de energía obtenemos la siguiente tabla 2.1 propuesta por Oke ([1982](#)).



Tabla 2.1 Posibles causas de la Isla de Calor Urbana (No por orden de importancia)

Capa urbana de edificación	
Incremento en la absorción de radiación de longitud de onda corta	Geometría de cañón- incremento en el área superficial y de la reflexión múltiple
Incremento en la radiación de longitud de onda larga proveniente del cielo	Contaminación del aire- mayor absorción y reemisión
Decremento en la pérdida de radiación de longitud de onda larga	Geometría de cañón-reducción del factor de visibilidad del cielo
Fuentes antropogénicas de calor	Pérdida de calor por los edificios y el transporte
Incremento en el almacenamiento de calor sensible	Materiales de construcción-incremento de la admitancia térmica
Decremento en la evapotranspiración	Materiales de construcción- incremento en la impermeabilidad
Decremento del total del transporte de calor por turbulencia	Geometría de cañón- reducción de la velocidad del viento
Capa límite urbana	
Incremento en la absorción de radiación de longitud de onda corta	Contaminación del aire-incremento en la absorción por aerosoles
Fuentes antropogénicas de calor	Pérdida de calor en chimeneas
Incremento de calor sensible entrante por debajo	Isla de calor en la capa urbana de edificación-incremento del flujo de calor desde la capa urbana de edificación y las azoteas
Incremento de calor sensible entrante por encima	Isla de calor, rugosidad-incremento de la turbulencia

Conforme avanzan las exploraciones, uno de los primeros modelos teóricos para calcular la intensidad de la IUC (ΔT_u), es el relacionado con la población (P), ejemplo son las siguientes fórmulas propuestas por Oke (1967, pág. 777):

$$\Delta T_{u-r(max)} = 2.96 \log P - 6.41 \quad \text{Ec. 3}$$

$$\Delta T_{u-r(max)} = 2.01 \log P - 4.06 \quad \text{Ec. 4}$$

Con margen de error:

-En ciudades del norte de América de +/- 0.7°C.

-En ciudades europeas de +/- 0.9°C.

La cual es corregida por Okey después de un transecto en automóvil en 1976 por:

$$\Delta T_{u-r(max)} = 3.06 \log P - 6.79 \text{ con un error de +/- } 0.6^\circ\text{C} \quad \text{Ec. 5}$$



Ante ello, las primordiales variables climáticas que se deben considerar para el entendimiento de la ICU son la temperatura, la presión atmosférica, el viento, la humedad, la radiación neta, la radiación solar reflejada, la radiación atmosférica, la radiación superficial, y los instrumentos básicos de medición son el termómetro de bulbo seco, anemómetro, higrómetro, albedómetro y radiómetro.

Se han encontrado tres técnicas para la medición que determinan las líneas isotérmicas en un clima urbano: estaciones meteorológicas fijas, desplazamientos móviles (transectos) y detección remota ([Gartland, 2008](#)). Las técnicas usadas dependen de la escala horizontal o vertical que se requiere representar en isotermas o perfiles térmicos de la ICU.

La ICU ha sido estudiada en tres escalas horizontales:

- La mesoescala o regional de 10^4 a 10^5 m, es la que considera toda la ciudad y sus alrededores.
- La local de 10^2 a 10^4 m, representa las características espaciales, capa de rugosidad y los diferentes usos de suelo dentro de una planeación urbana.
- La microescala de 10^2 a 10^1 metros representa las características de los elementos individuales (edificios, cañones o árboles) y su proximidad con las fuentes de flujos de energía, por ejemplo, caminos o vegetaciones ([OMM, 2011](#)).

La escala vertical de la ICU está comprendida entre los rangos de 10^4 a 10^1 m de altitud, que corresponden a entornos urbanos, como son edificios, corredores o cañones urbanos, bloques de áreas urbanas o modelos regionales ([Arnfield A. , 2003](#)).

Oke ([1987](#)) define a las capas como resultado de la forma única en que cada superficie responde a fenómenos como calentamiento solar, precipitación y flujo de aire, proporcionando a cada causa, un efecto.

Estos rangos de valores en la estratificación vertical o capas que definen la ICU, tiene como nombres:

- Capa límite urbano. Es la capa de aire de la atmósfera más próxima a la superficie, que se encuentra modificada por la presencia de la superficie de una ciudad. Se extiende de la altura de los techos, hasta donde los fenómenos locales de la ciudad no la afecten su comportamiento. Esta se encuentra encima de la capa de dosel ([Figura 2.4 y Figura 2.5](#)).



- Capa límite rural. Al igual que la anterior es la capa del aire de la atmósfera que se encuentra posada sobre superficies naturales.
- Pluma urbana, Es la prolongación de la capa límite urbana sobre la rural. Esta superposición se debe a la prolongación a sotavento de la capa límite urbana por la acción prolongada de los vientos dominantes.
- Capa superficial. Es el límite entre la capa límite urbana y la capa de rugosidad
- Capa de rugosidad. Es el perfil de la ciudad, que influye en los vientos de la capa límite urbano y su principal efecto es la disminución de la velocidad de este, lo cual no permite que el calor se disipe por convección.
- Capa de dosel. Es la capa de aire que existe por debajo de la capa límite urbana, extendiéndose desde la superficie hasta aproximadamente la altura media del edificio. Tal capa se puede subdividir en el cañón urbano, como son los espacios o áreas de separación entre los edificios, creándose en estos entornos, microclimas (Moreno, 2010).

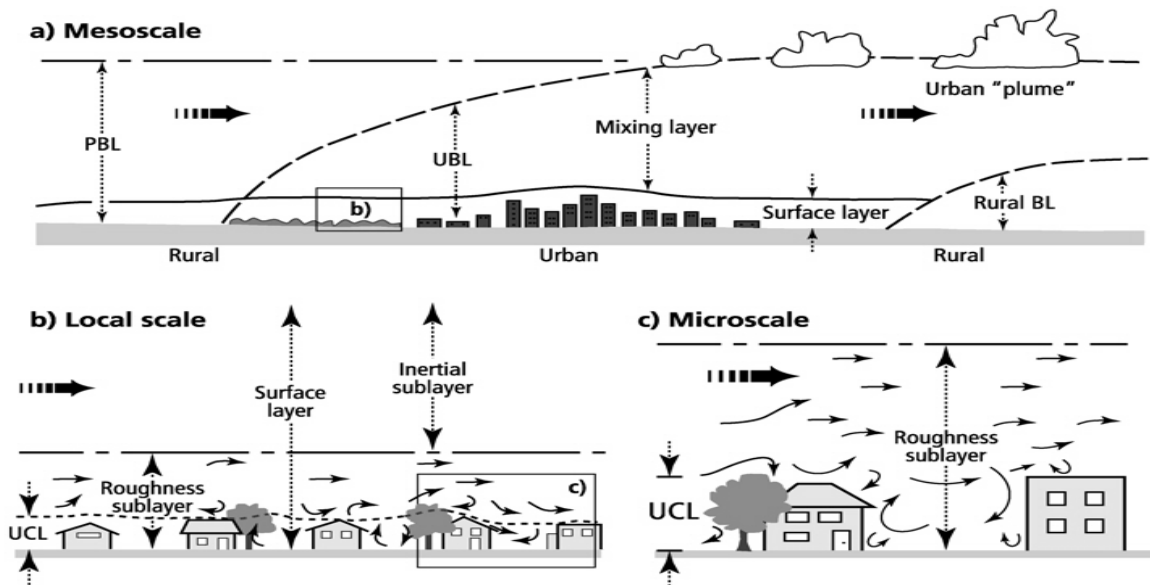


Figura 2.4 Escalas (horizontes) y capas (verticales) atmosféricas en el clima urbano. Fuente: modificado de (Oke, 1987).

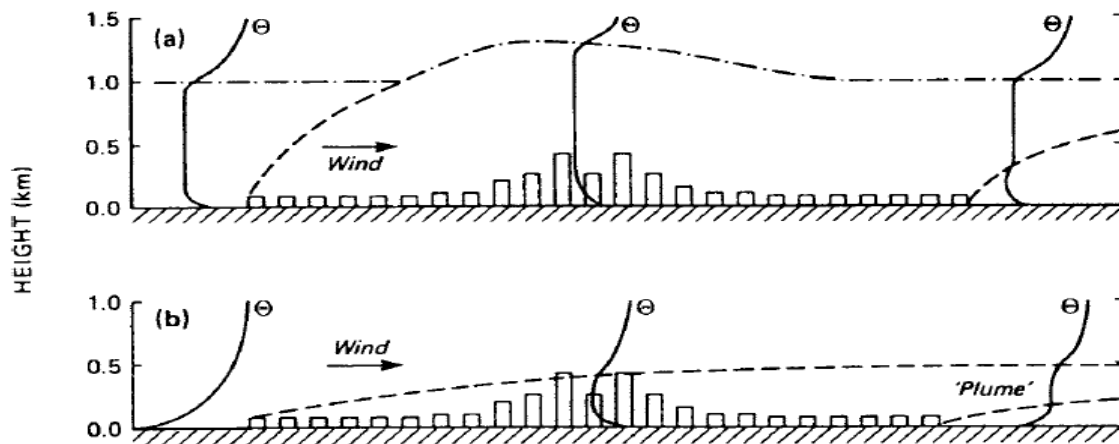


Figura 2.5 Corte del comportamiento térmico en su escala vertical. Fuente: (Oke, 1987).

En la teoría de Voogt y Oke (2003), las islas de calor se pueden caracterizar por las diferentes capas de la atmósfera urbana dando como resultado: Isla de Calor de Capa de Cosel (ICUD), Isla de Calor de Capa Límite (ICUL) e Isla de Calor Urbano Superficial (ICUS). La ICUD y la ICUL son islas de calor atmosférico ya que denotan un calentamiento de la atmósfera urbana, mientras que la ICUS se refiere a la relativa calidez de las superficies urbanas en comparación con las áreas rurales circundantes.

La interacción con los diferentes estratos o capas determina diferentes perfiles térmicos, y cada uno afecta de manera diferente a los usuarios. Se sabe que las ICU atmosféricas son más grandes por la noche, mientras que las ICU superficiales son más grandes durante el día.

2.2 Microclima urbano y su relación con el confort térmico

Las investigaciones de la ICU comprenden, desde estudios a gran escala (ciudades) hasta entornos más pequeños como los cañones urbanos, como se ha mencionado en párrafos anteriores. La búsqueda de las relaciones con este fenómeno ha sido profunda, abarcando aspectos: físicos naturales y artificiales, económicos y sociales.

Para entender las variación y características de los microclimas de la ciudad se requiere definir la condiciones deseables del “clima urbano ideal”, donde de Schiller et al. (2001), nos aporta que los componentes más relevantes según la definición de Katzcher (1998) son:



- Es para el hombre: enfatiza el impacto de las variables climáticas a nivel peatonal y alrededores de los edificios;
- Variación temporal y espacial: No es posible lograr condiciones óptimas en toda el área urbana y durante todo el tiempo; por eso se requiere variación espacial para evitar condiciones desfavorables en toda la zona urbana;
- Distancias hasta 150 metros: Se propone la creación de algunos espacios con microclima favorable, accesible para peatones, especialmente niños y personas mayores, y a distancias cortas en toda la zona urbana.
- Evitar concentraciones de polución aérea: Los vehículos y edificios emiten polución aérea en forma distribuida en toda la zona urbana. Las ciudades deben incorporar canales de ventilación urbana que permitan la dispersión y evacuación de la polución. Los requerimientos de confort térmico y control de polución son contrapuestos en muchos casos. Por eso, se proponen soluciones que ofrezcan canales de ventilación adecuados; y
- Estrés térmico: La evaluación de microclima requiere un índice de confort que contemple el impacto de temperatura, humedad relativa del aire, radiación de onda larga y corta, y viento.

Las investigaciones, con un enfoque físico-matemático, han determinado que todo se reduce en la ecuación del balance de energía superficial expuesta por Tim Oke, y ha brindado la oportunidad para la determinación del enunciado, propuesto por Christen y Vogt (2004): la suma de radiación solar e infrarroja (R_{net}), los flujos turbulentos de calor sensible (Q_{sen}) y latente (Q_{lat}), el almacenamiento (Q_{sto}) y el flujo de calor antropogénico (Q_{ant}), da por resultado la radiación neta.

$$R_{net} = Q_{sen} + Q_{lat} + Q_{sto} + Q_{ant}$$

Ec. 6

La ecuación seis ha guiado, las indagaciones, para encontrar respuestas urbanísticas al fenómeno. El objetivo principal de las teorías es incorporar el fenómeno de ICU en el diseño de las ciudades, cañones y edificios inmersos en grandes núcleos urbanos, donde las cartas de bioclimática no son suficientes para evaluar la eficiencia energética de las construcciones.

Un modelo propuesto Tornay et al. (2017) es la parametrización de toda una ciudad como Francia, en zonas climáticas locales (LCZ por sus siglas en inglés Local Climate Zone),



donde se distingue los parámetros para conocer la sensibilidad de los arquetipos edificatorios, en el balance energético con la superficie urbana que los rodea.

El estudio de Takebayashi y Moriyama (2012) concluyen que la implementación de medidas de mitigación de la ICU, desarrollan el siguiente orden: en primer grado son las grandes áreas de techos; segunda prioridad se enfoca en techos más pequeños y pavimentos en cañones urbanos, con aspecto de radio de $W/H > 1.5$, y por último, son las paredes. Esta teoría está fundamentada en el análisis de cañones urbanos, su distribución de temperatura y su ganancia de radiación solar de dos calles de la ciudad de Osaka.

2.3 El Cañón urbano

Un cañón urbano es una estructura urbana. Es un lugar donde la calle es flanqueada por edificios en ambos lados creando un entorno parecido a un cañón. Muchos climatólogos la definen como la unidad urbana básica. Al estudiar el clima en los cañones, se espera extrapolar a la ciudad como un todo y encontrar propiedades generales del clima urbano aplicables a una variedad de ciudades (MIT, 2012).

Además, la cualidad clave de estas estructuras urbanas es la simplicidad que ofrece al describir un patrón repetido en el campo, en comparación con los demás espacios urbanos exteriores y formas de construcción (Stromann-Andersen & Sattrup, 2011).

El cañón urbano dentro de la contextualización de la ICU (Figura 2.6) se puede puntualizar como un microclima generado por las diversas configuraciones urbanas dentro de la capa de dosel y afectado por su entorno inmediato, su geometría, materiales y propiedades físicas (Santamouris, 2011).

Los cañones urbanos son formas estructurales urbanas que comparten similitudes, aun en diferentes ciudades, como es su ubicación horizontal y vertical, microescala y dosel respectivamente. Sus estudios en la climatología urbana tienen como objetivos, la comprensión de la dinámica de los flujos: vientos, térmicos, sonoros y partículas contaminantes.



La evaluación del microclima dentro de un dosel urbano, es decir, en la capa atmosférica entre el suelo y el nivel del techo (Oke, 1976) es relevante para muchas aplicaciones prácticas en diferentes campos. La estructura térmica y dinámica de la atmósfera en un dosel urbano es un factor clave para controlar la dispersión de contaminantes y el intercambio de calor entre los edificios y el entorno.



Figura 2.6 Cañones urbanos. Londres, Ciudad de México, Manhattan y Veracruz.

Por lo tanto, la comprensión de los procesos dentro del dosel urbano es un requisito previo crucial para la adopción de medidas que apuntan a mejorar la comodidad humana, proteger la salud de los ciudadanos y apoyar el diseño de edificios energéticamente eficientes.

La realización de la medición de los parámetros ambientales dentro del cañón urbano permite la adecuada interpretación de relaciones, en enfoques como:

- Cálculo en el consumo de energía de una edificación de acuerdo con su entorno inmediato;
- determinar el confort peatonal, tanto térmico como de contaminación;



- elaborar ecuaciones para la dispersión de partículas contaminantes;
- elaborar técnicas para la ventilación natural;
- evaluar la eficiencia de los programas de cómputo; y
- evaluar la implementación de medidas estratégicas en la mitigación de la ICU.

En los actuales estudios, la ubicación y el tipo de equipo de medición, es determinado por el investigador, de acuerdo con las necesidades del experimento.

2.4 Antecedentes

Se realizó una exhaustiva investigación, mediante el análisis de una gran cantidad de artículos para determinar la oportunidad de la investigación y su pertinencia en las problemáticas actuales. En la [Figura 1.1](#) se explica el acercamiento al objeto de estudio. A continuación, se anexan tablas para exponer los artículos con mayor trascendencia en la comprensión del tema de la ICU y el cañón urbano.

La [Tabla 2.2](#), muestra los trabajos realizados por instituciones tanto públicas como privadas dentro de la República Mexicana. Esos informes miden o contribuyen directamente en el tema de la ICU. Es importante aclarar que muchas de esas investigaciones resaltan la importancia del tema, especialmente aquellas donde su enfoque es el confort térmico; sin embargo, se desechan documentos que sólo refieren, pero no miden o informan algún valor relevante al tema.

Tabla 2.2 Investigaciones enfocadas en determinar la máxima temperatura entre isotermas (Max.Δ) en la Isla Calor Urbano en México

Referencia	Ciudad	Año de estudio	Población	Max. Δ Temperatura °C
(Castillas, 2007)	Mexicali, Baja California (Seco extremo)	2002-2007	553,046	4.0
(García Cueto, Jáuregui Ostos, Toudert, & Tejeda Martínez, 2007)		1998	549,873	4.5
(Santamouris, Synnefa, & Karlessi, 2011)		1950-2000 2000-2005	653,046	5.7 (Nivel dosel)
(García Cueto, Tejeda Martínez, & Bojorquez Morales, Urbanization effects upon the air temperature in Mexicali, BC, Mexico, 2009)		2002 -2005	653,046	5.3
(Contreras, Mendoza, Angulo, & Urías, 2015)	Juárez Chihuahua (Seco extremo)	2007	1,313,338	6.0 día -7.0 noche
(Díaz Soto & Ruiz Pérez, 2015)		2014	1,391,180	11.0



(Jáuregui, La isla de calor urbano de la ciudad de México a fines del siglo XIX., 1992)		1878-1889	8,200,000	2.0
(Jáuregui, 1997)		Mayo 1994 – Abril 1995	8,600,000	9.0 Nocturno 5.0 Época de lluvia
(Jáuregui & Luyando, 1997)		1967 - 1988	8,600,000	9.0
(Correa & García, 2000)		1986 – 1999	8,600,000	Tendencia de incremento térmico anual = 0.39
(Jáuregui, 2004)		1961 – 1985	8,700,000	Incremento de temperatura anual de 0.07 Max. T., 0.15 Min T. 0.08 rural
(Ballinas, 2011)		2009	8,800,000	8.5
(Luyado, 2016)		2010	8,900,000	9.0
(Molar Orozco, 2015)	Saltillo, Coahuila (Semi seco)	Primavera y verano 2013		Microescala: parque
(Galindo, 2007)	Colima, Colima	1997-2006	596,550	6.6
(Jáuregui, 1979)	Toluca, Estado de México (Sub húmedo)	Febrero 2-3, 1978		5.0 Capa de dosel
(Vidal & Jauregui, 1990)		Febrero 1977 y octubre del 1990		8.5
(Morales, Madrigal, & Gonzalez, 2007)		Julio 15, 2004 y enero 13, 2005	467,712	3.0 Día 1.0 Noche en invierno
(Dávila, Méndez, & Némiga, 2011)		Julio 29, 2009 y febrero 7, 2010	489,333	5.0 Día 4.0 Noche en invierno
(Martínez Arredondo, Jofre Meléndez, Ortega Chávez, & Ramos Arroyo, 2015)	Cuenca del Río Guanajuato	1951-2010		5.0 Macro escala
(Galindo, 2007)	Guadalajara, Jalisco (Árido extremo)	1997-2006	605,304	13.0
(Martinez, 1999)	Puebla, Puebla	Dic. 1998 - abril 1999	1,400,000	5.0
(Colunga, Suzana Azpiri, Guevara Escobar, & Luna Soria, 2015)	Querétaro, Querétaro	1990-2010	804,663	5.0
(Lara Lárraga, 2014)	San Luis Potosí, San Luis Potosí	1940-2013	722,722	Microescala, sólo determina un aumento
(Mercado & Lovriha, 2017)	Hermosillo, Sonora	Agosto 26, 29, 39; 2015	715,061	4.0
(Cervantes, y otros, 2000)	Villahermosa, Tabasco	Junio, julio y agosto 1997	199,000	1.5
(Cervantes, Sánchez, & Barradas, 2001)	Villahermosa y Xalapa	Xalapa en mayo, 1998 Villahermosa en julio 1997	349,6000	3.0



(Evans & De Schiller, 2005)	Tamaulipas, Tampico	2004 verano	294,984	3.0
(Fuentes Pérez, Climatología urbana por modificación antropogénica. Alteración del balance de energía natural., 2015)		Enero y agosto 2012		4.9
(Fuentes Pérez, 2015)		Enero y agosto de 2014		0.40 Aumento anual 10.0 durante agosto
(Hernández Romero & Segura López, 2012)	Poza Rica, Veracruz	Septiembre a octubre del 2010	185,242	6.0
(Parada Molina, 2013)		Julio – Sept. 2012	185,242	7.0
(Barradas, 1987)	Xalapa, Veracruz	Julio 1980		6.0
(Tejeda Martínez & Acevedo Rosas, 1990)		Agosto 1988 y mayo 1989		7.0
(Baca, 2011)	Veracruz y Boca del Río, Veracruz	Marzo a septiembre 2011		5.0
(Pérez Medina & López Falfán, 2015)	Mérida, Yucatán	2010		2.0
(Jáuregui, 2005)	Población >10 ⁶ 10 ⁶ -10 ⁴	1950 - 1990		0.57 Grandes ciudades 0.37 Medio urbano 0.07 Clima global ¹
(López Espinoza, Zavala Hidalgo, & Gómez Ramos, 2012)	Ciudad de México, Puebla y Tlaxcala	1993-2009		Aumento promedio 1.33 máximo diario 0.12 mínimo diario
(Lucero Álvarez, Alarcón Herrera, & Martín Dominguez, 2014)	20 ciudades para representar las diferentes zonas térmicas en México	1981 - 2000		Determina las mayores reducciones en la carga térmica anual ocurren en ciudades con clima más cálido

De la [Tabla 2.2](#), podemos concluir que de los 31 estados más la Ciudad de México, en 11 entidades federativas (34%), el tema no es prioritario en su agenda; estos son Baja California Sur, Campeche, Chiapas, Durango, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca y Sinaloa, cuyas características climatológicas presentan altas temperaturas.

La Ciudad de México ha sido sujeta de estudios desde 1899: se han redactado ocho documentos (16%), los cuales fueron mediciones y análisis de posibles soluciones. Le sigue Mexicali con 14%, es decir, siete investigaciones. En el estado de México, Toluca presenta 8%, cuatro estudios de ubicación de la ICU; y para el estado de Veracruz se encontró 10%, 5 investigaciones para las ciudades de Poza Rica, Xalapa, puerto de Veracruz y Boca del

¹ Se refiere al promedio del aumento de temperatura por década



Río. Sin embargo, ninguna investigación de las antes pensionadas menciona el factor de calor antropogénico o puntualiza algún otro factor en su conformación.

En la [Tabla 2.3](#), se presentan investigaciones internacionales a nivel mesoescala, en diferentes tipos de ICU. En este caso, la relevancia de considerar esta información se debe a que la variable objeto de estudio es el calor antropogénico (Q_F) y su contribución al alza de temperaturas dentro de las urbes y por consiguiente a la ICU. En la mayoría de los casos, la Q_F es determinado de manera global, sin hacer distinciones entre su tipología (metabolismo, industria, edificación y vehicular). Cabe mencionar que los estudios utilizan la metodología de inventarios, la cual es explicada más adelante.

Tabla 2.3 Estimaciones de contribuciones de calor antropogénico en varias ciudades del mundo

Autor y año	Tipo de ICU	Ciudad	Grado de afectación por Q_F
(Torrence & Shum, 1976)	ICU atmosférica en verano ICU atmosférica en invierno	Ciudades Americanas	1.7°C 3.1°C
(Taha, Akbari, Sailor, & Ritschard, 1992)	ICU atmosférica diurna ICU atmosférica nocturna	Filadelfia	2°C 3°C
(Ichinose, Shimodozono, & Hanaki, 1999)	ICU atmosférica diurno verano ICU atmosférica nocturno invierno	Tokio	1.5°C 2.5°C
(Kondo & Kikegawa, 2003)	ICU atmosférica diurna	Tokio	1°C
(Ohashi, y otros, 2003)	ICU atmosférica en dosel	Tokio	1 a 2°C
(Narumi, Shimoda, Kondo, & Minoru, 2003)	ICU atmosférica diurna	Osaka	1°C
(Sailor & Fan, 2004)	ICU atmosférica diurna ICU atmosférica nocturna	Houston	0.5°C 2.5°C
(Fan & Sailor, 2005)	ICU atmosférica invernal	Filadelfia	2-3°C
(Murakami, Hoyano, & Sasagawa, 2006)	ICU superficial	Tokio	5 a 6°C
(He, Jiang, Chen, & Liu, 2007)	ICU superficial nocturna	Nanjing, China	0.5 a 1.0°C

Como parte de la investigación, y para determinar un marco contextual, la [Tabla 2.4](#), menciona los principales autores en la determinación teorías de los parámetros básicos del cañón, los cuales hasta el momento han puesto la pauta en líneas de investigación; estos parámetros se han relacionado con las condiciones de confort para establecer reglas o



medidas de diseño urbano, ampliando el conocimiento en la ecuación de balance de energía y transferencia de calor dentro de un cañón urbano. Se consideran trabajos de investigadores que han marcado una corriente o pautas importantes en la climatología.

Tabla 2.4 Parámetros básicos del cañón en investigaciones.

Autor y año	Parámetros considerados en la investigación
(Nuñez & Oke, 1977)	Superficies (piso y paredes Superficie superior (Top) Aire Estático: Volumen de aire contenido Aire Movimiento: Flujos paralelos o perpendiculares
(Santamouris, 2011)	SVF / Canopy layer Distribución temperatura: Superficial e interna Viento: perpendicular, axial, paralelo
(Jamei, Rajagopalan, Seyedmahmoudian, & Jamei, 2016)	SVF Relaciones de aspecto (H,W,L) Orientación de la calle Configuración urbana

La [Tabla 2.5](#) visualiza los estudios que han requerido mediciones en campo, para determinar las relaciones de aspecto con diferentes variables. Debido a que dentro del estudio es necesario la determinación de equipos, posiciones de estos y su tiempo de medición, se analizan estos trabajos, como pautas para la determinación de la metodología de este trabajo.

Tabla 2.5 Investigaciones que validan sus hipótesis con mediciones en campo

Autor, año y lugar	Objetivo	Descripción
(Erell & Williamson, 2006) Adelaide. Australia	Generar modelo para calcular los perfiles térmicos, mediante la comparación de datos de una estación meteorológica estándar ubicada en un sitio cercano a las estaciones en las calles de estudio, expuesta al mismo entorno de ciudad.	Los círculos marcan la localización de los sensores. La velocidad y dirección del viento fueron medios en medio de la calle a 6 m arriba de su nivel.
(Krüger, Minella, & Rasia, 2011) Curitiba, Brasil	Se evaluó el impacto de la geometría de la calle con el Factor de Vista del Cielo y se realizó cuestionario de confort térmico mediante encuesta.	Estación fija, con 2 Hobo, anemómetro, sondas de temperatura, humead del aire.
(Giovannini & Zardi, 2013) Trento, Italia	Medición de estructura térmica para validar modelo Rational Energy Use Towards Sustainability-Photocatalytic.	Model HOBO H8 Pro devices 26 julio - 20 agosto 2007 23 dic 2008 - 22 enero 2009 0.30 m a las paredes.



(Dimoudia, A., Zoras., Pallas, & Kosmopoulos, 2013) Serres, Grecia	Análisis de las condiciones microclimáticas en cañones urbanos. Características del viento (velocidad y dirección). Red fija para medir T, RH, Ws, Wd, 4.5m Red de equipo portátil para medir T(6 puntos), RH, Ws, Wd, 1.8 m).	HOBO Pro V2 Temp/RH data logger. WindSonic ultrasonic wind sensor. Delta OHM 2102.2 photo-radiometer.
(Georgakisa, Zoras, & M., 2014) Grecia	Análisis de temperatura en fachadas, aceras y dentro del cañón para Simulaciones CFD (cálculo de temperatura superficial) para comparación de resultados recubrimientos "fríos".	Estación meteorológica móvil (vehículo y mástil telescópico de 15.30 m a 3.5, 7.5, 11.5, 15.5 m cada 30 seg. Termómetro de rayo laser para temperatura superficial: 2.5, 6, 9.5, 13, 16.5 y 20 m
(Lamarca, Quense, & Henríquez, 2016) Concepción, Chile	Estudios de relaciones de aspecto con la temperatura interna.	Estaciones meteorológicas en ocho puntos.

Debido a que la metodología utilizada en esta investigación es un sistema autónomo de vuelo, se anexa [Tabla 2.6](#), la cual ejemplifica algunos trabajos relacionados mostrando la utilidad del dron en varias aplicaciones en el campo de la investigación meteorológica.

Tabla 2.6 Mediciones atmosféricas con drones o RPAS

Autor, año y lugar	Objetivo	Descripción
(Neumann, Asid, Hernández, Lilienthal, & Barholmai, 2013)	Medición del carbono (CCS) para la gestión de gases de invernadero (GEI) Región Toscana, Italia	Utilización de los micro-drones para determinar su utilización para complementar la infraestructura de monitoreo existente para áreas de almacenamiento de CO ₂ , y para aumentar la granularidad de las mediciones de concentración de gas.
(Lawrence & Balsley, 2013)	Observaciones meteorológicas recreando perfiles de temperatura, humedad relativa y de viento.	El equipo RPAS data Hawk SAMS demuestra la viabilidad de la detección in situ a resoluciones espaciales de ~ 1 m, en una escala horizontal > 1 km, y en altitudes que varían desde unos pocos metros hasta al menos 9 km, con posiciones horizontales controlables y una ascensión precisa / tasas de descenso.



(Baxter & Bush, 2014)	Mediciones meteorológicas como temperatura, humedad relativa, presión, vientos. Medición continua de gases - Ozono y otros gases Medida de material particulado - Basado en filtro - Tiempo real	Reemplazar las técnicas de muestreo de atado y / o vuelo libre Proveer una plataforma X-Y-Z estable y de alta precisión para la recolección de muestras. Proporcionar tiempo de vuelo adecuado para varias misiones de recopilación de datos integradas y series de tiempo Proporcionar enlaces de datos en tiempo real e imágenes Desarrollar métodos autónomos para la recolección de muestras Muestreo gaseoso integrado.
(Villa, Gonzalez, Miljevic, Ristovski, & Morawska, 2016)	Determinar las afectaciones del CO ₂ en las bajas capas de atmosfera	Investigaciones sobre emisiones de carbono en las capas bajas de la atmósfera gracias a sensores y dispositivos adaptados en drones de uso civil, los resultados obtenidos permiten conocer específicamente los niveles de contaminación y el impacto ambiental que generan gases como el CO₂ actualmente. Los equipos utilizados para tal efecto son sensores de luz, detección de luz y sensores de control de calidad del aire.
(Suarez, Llugsi, Lupera, & Chango, 2017) Zona norte el Distrito metropolitano de Quito, Ecuador	Medición de variables de temperatura, humedad y presión de la baja atmosfera	Prototipo desarrollado por un sistema aéreo móvil y un sistema fijo en tierra. La parte móvil se encarga de la adquisición de información meteorológica durante el sobrevuelo de un dron, junto con sensores de parámetros meteorológicos, dispositivos GPS, tarjetas de comunicación inalámbrica y un Raspberry Pi, para su posterior transmisión hacia el sistema en tierra.



III.MARCO TEÓRICO

3.1 Parámetros modificadores en un microclima

Partiendo del fenómeno de ICU a mesoescala, se infiere que los factores que afectan el comportamiento de la ecuación de balance de energía en la ciudad son los mismos que se observan en la microescala, con algunas variantes de acuerdo con su escala ([Figura 3.1](#)).

3.1.1 Propiedades de las superficies urbanas

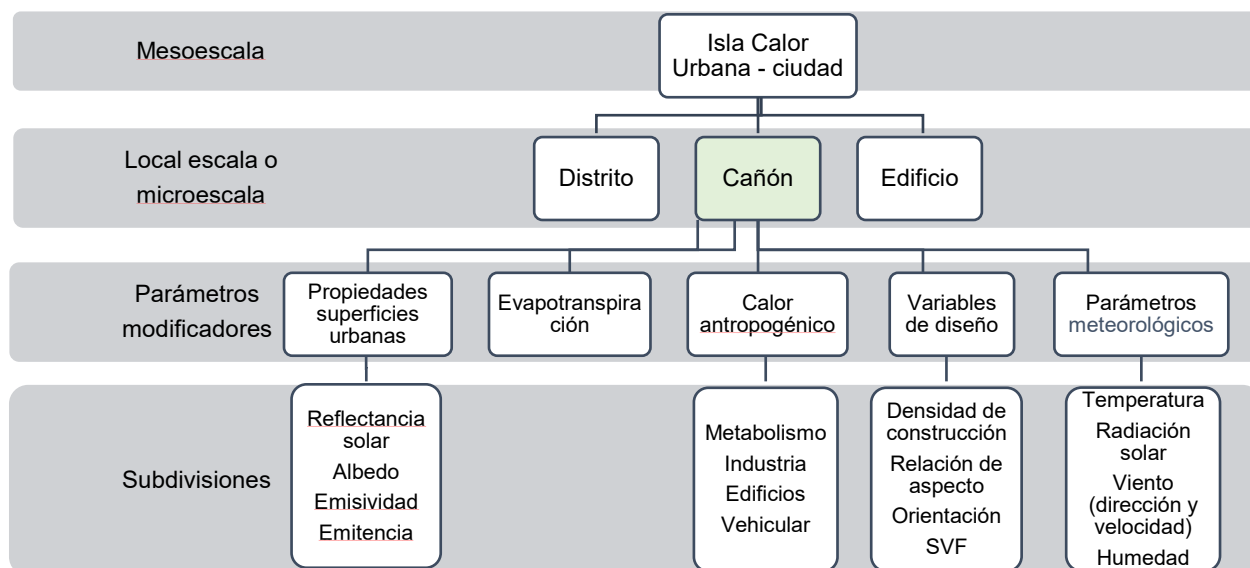


Figura 3.1 Esquema de los parámetros modificadores en un cañón urbano.

Los insumos de construcción utilizados en las envolventes (fachadas y techos) de los edificios y las estructuras urbanas (pavimentos) desempeñan un papel significativo en el equilibrio térmico urbano porque absorben la radiación solar e infrarroja y disipan parte del calor acumulado, a través de procesos convectivos y de radiación a la atmósfera aumentando la temperatura ambiente ([Santamouris, Synnefa, & Karlessi, 2011](#)).

Se ha puesto especial atención al factor del albedo en la edificación de las ciudades, comparado con sus zonas rurales y suburbanas, que tienen un mayor índice de reflectancia, presentando menores temperaturas.

Haider Taha ([1997](#)) en sus simulaciones observa que, con cambios de albedo en los materiales de construcción y la inclusión de cubierta vegetal, se pueden revertir los efectos



de las altas temperaturas. Considera que los agentes antropogénicos sólo son relevantes en los centros urbanos. Propone que el aumento del albedo general en las ciudades puede disminuir 2°C en las zonas urbanas, y con la inclusión de áreas de vegetación para mejora la evapotranspiración, juntas estas dos técnicas, la temperatura del aire puede descender hasta 4°C en una misma zona.

Es aquí donde surge el concepto de materiales fresco. Akbari (2009) demuestra que con un aumento de 0.15 a 0.25% en el albedo de los materiales, a nivel global, en azoteas urbanas y superficies pavimentadas respectivamente, se induce un forzamiento radiativo negativo equivalente a la compensación de 44 Gt (miles de millones de toneladas) de emisiones de CO₂, y expone la propuesta económica viable para su puesta en práctica.

Los estudios se han centrado en mejorar las características físico-térmicas de los materiales para corregir su desempeño térmico en relación con el medio construido. Las soluciones han sido diferentes entre cada uno de los materiales, por el tipo de uso que se le aplica en cada elemento constructivo.

Los materiales, añadiéndoles la terminología de material fresco son aquellos que han sido mejorados en las siguientes características ([Figura 3.2](#)):

- Índice de Reflectancia Solar (SRI por sus siglas en inglés Solar Reflectance Index): es una medida de la capacidad que un material posee para rechazar el calor solar, que se manifiesta por el alza de temperatura. Se define que el color negro (reflectancia 0.05, emitancia 0.9) es 0 y que un blanco (reflectancia 0.8 y emitancia 0.9) es 100. Por ejemplo, el negro tiene un aumento de temperatura de 90°F (50°C) en sol pleno y el blanco de 14.6°F (8.1°C). Una vez calculado el aumento máximo de temperatura de un material determinado, se puede calcular el SRI interpolando entre los valores para blanco y negro. Se mide en una escala de 0 a 1 (o del 0 al 100%).
- Reflectancia solar (SR). La reflectancia solar es una medida de la capacidad de un material de superficie para reflejar la radiación solar, incluyendo la reflexión especular y difusa.
- Albedo: Es la capacidad de una superficie para reflejar la luz del sol (0-1). Esta definición se aplica tanto a superficies uniformes simples como a heterogéneas y complejas. En climatología urbana, el término se usa para determinar grandes áreas urbanas, y puede interpretarse como el promedio de diferentes materiales y sus reflectancias. (1-100%).



- Emisividad: Proporción de la radiación emitida por una superficie a la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura.
- Emisión infrarroja alta (e) o emitencia. Es una medida de la capacidad de una superficie para liberar, el calor absorbido. Especifica qué tan bien una superficie irradia energía lejos de sí misma en comparación con un cuerpo negro que opera a la misma temperatura. La emitencia infrarroja se mide en una escala de 0 a 1, cuando este valor aumenta más rápidamente decrece la temperatura superficial del elemento (Santamouris, Synnefa, & Karlessi, 2011).

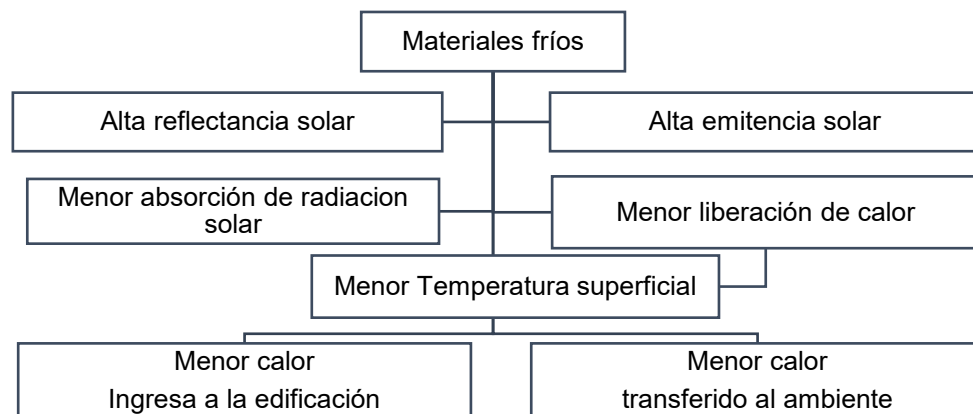


Figura 3.2 Principios básicos de materiales fríos Fuente: (Alchapar, Correa, & Cantón, 2012)

Para la obtención de la reflectancia de los materiales, existen las siguientes normas:

- NMX-U-125-SCFI-2016. Industria de la Construcción - Edificaciones - Revestimientos para techo con alto índice de reflectancia solar - especificaciones y métodos de ensayo;
- ASTM-E903-12. Standard Test Method for Solar Absorptance, Reflectance, and Transmittance of Materials Using Integrating Spheres;
- ASTM C1549-09 (2014). Standard Test Method for Determination of Solar Reflectance Near Ambient Temperature Using a Portable Solar Reflectometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2009;
- ASTM C1371-15. Standard Test Method for Determination of Emittance of Materials Near Room Temperature Using Portable Emissometers, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004;
- ASTM E408-71 (2008). Standard Test Methods for Total Normal Emittance of Surfaces Using Inspection-Meter Techniques; y



- ASTM E1980-11. Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001.

3.1.2 Evapotranspiración

La evapotranspiración se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en milímetros por unidad de tiempo. La climatología, ha usado este fenómeno como un indicador de aridez de las distintas zonas, basado en un largo registro de observaciones de distintos elementos climáticos durante treinta años.

La evapotranspiración (evaporación y transpiración) de los sistemas suelo-vegetación es un factor efectivo de la modificación de las temperaturas superficiales, particularmente en las latitudes cálidas, secas y bajas (Taha, 1997).

Para áreas sin vegetación, las mediciones de temperatura de las superficies del suelo son representadas como un suelo desnudo directamente iluminado por el sol. A medida que aumenta la cantidad de vegetación, la temperatura radiativa registrada se aproxima más a la temperatura de las hojas verdes y la temperatura del dosel, a la vegetación espectral máxima (Weng, Lu, & Schubring, 2004).

En las áreas urbanas, la evapotranspiración es modificada por las áreas verdes, y también por las superficies de pavimentos extensas e impermeables, debido a que el agua del suelo drena rápidamente y, a la larga, queda menos agua superficial disponible para la evapotranspiración, lo que afecta el equilibrio energético de la superficie urbana (Grimmond & Oke, 1991), teniendo más escorrentía que sus contrapartes rurales.

La menor tasa de evapotranspiración en las áreas urbanas es un factor importante en el aumento de las temperaturas diurnas. La vegetación controla la temperatura por evapotranspiración y sombreado, mientras que las áreas pavimentadas sin vegetación no tienen enfriamiento por evapotranspiración, y transfieren la mayor parte de la radiación entrante a la atmósfera urbana en forma de calor (Nichol & Wong, 2005).

Por ejemplo, Taha (1988) mediante modelos de simulación convino un dosel vegetativo con la ciudad Davis en California, lo cual dio como resultado bajas temperaturas diurnas y altas en la noche, llegando a la conclusión que el enfriamiento fue por la evaporación y el



sombreado del suelo y el alza nocturna por la reducción del factor de vista del cielo. Afirmando que una cobertura vegetal del 30% podría producir un oasis a mediodía de hasta 6°C en condiciones favorables, y una isla de calor durante la noche de 2°C.

Basado en estudios de teledetección térmica y evapotranspiración, se ha puesto en marcha la utilización del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés Normalized Difference Vegetation Index) en la planificación urbana. Para la determinación del NDVI en el entorno urbano, se analizan las variables como: cantidad de cobertura vegetal en la superficie, análisis térmico de las capas atmosféricas en el día y la noche, evaluación de las temperaturas de la capa superficial, albedo de las superficies, contenido de agua superficial del suelo y porcentaje de superficie impermeable.

Los valores más altos de NDVI generalmente indican una fracción mayor de vegetación en un píxel de una imagen de teledetección. La cantidad de vegetación determina la temperatura superficial del suelo por el flujo de calor latente de la superficie a la atmósfera a través de la evapotranspiración (Yuan & Bauer, 2007).

3.1.3 Calor antropogénico

Antropogénico significa todos los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas, como la producción de gases invernadero por medio de la gran cantidad de fábricas, autos, etc; a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

Según Sailor (2010) el calor antropogénico en el entorno urbano se centra en cuatro fuentes. Tres de ellas, ubicados en los sectores económicos de consumo de energía: transporte, edificaciones habitacionales e industria. Y el cuarto, es la liberación de calor antropogénico directamente del metabolismo humano (Figura 3.3).

El primer acercamiento del este flujo de calor fue usado como sinónimo de consumo de energía (Oke, 1988) donde su incorporación en los modelos de simulación de clima urbano es relativamente sencilla, incluido generalmente como constantes, en las ecuaciones presupuestarias de energía de volumen de superficie y de control.

$$Q_F = Q_{FV} + Q_{FH} + Q_{FM}$$

Ec. 7

Donde:



Q_{FV} = Calor liberado por vehículos

Q_{FH} = Calor liberado por edificaciones e industria

Q_{FM} = Calor liberado por el metabolismo humano

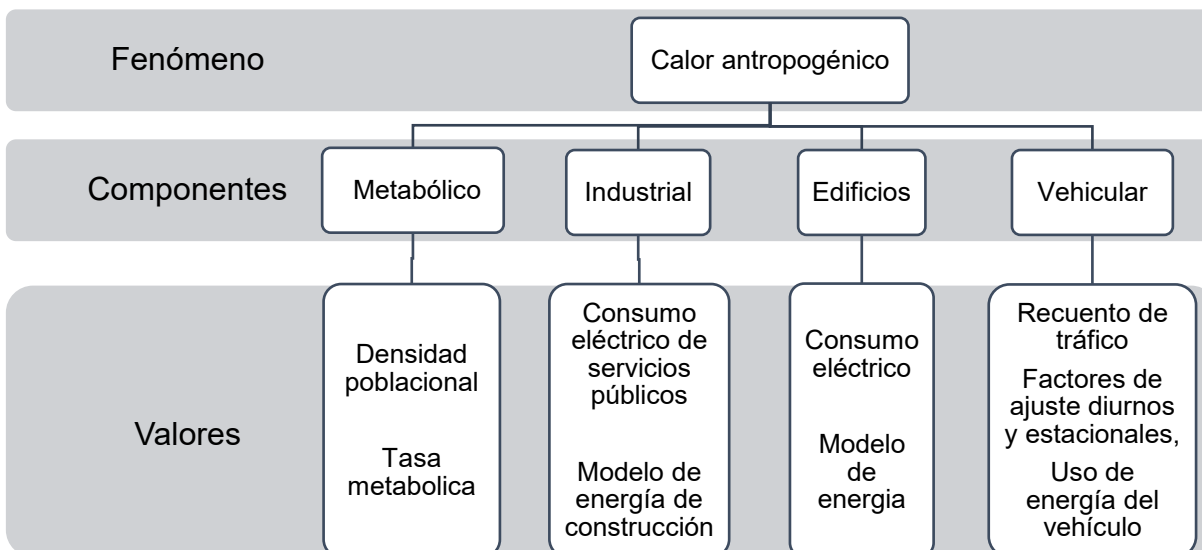


Figura 3.3 Esquema teórico del calor antropogénico (Q_F) Modificado de fuente (Chow, y otros, 2014)

La magnitud de este flujo de calor (Q_F) se ha correlacionado con la densidad de población. A escala continental, este valor es bajo en magnitud de 0.4 Wm^{-2} en EEUU, 0.7 Wm^{-2} en Europa Occidental y 0.2 Wm^{-2} (China) (Flanner, 2009). Pero dentro de las escalas menores como una urbe, calculada bajo los inventarios de consumo de energía, los investigadores han estimado emisiones de calor antropogénico del orden de $10\text{-}100 \text{ W/m}^2$ para ciudades tan diversas como Lodz, Polonia y Philadelphia, EE. UU. (Sailor, Georgescu, Milne, & Hart, 2015).

En una escala menor como una manzana, Ichinose (1999), lo asocia proporcionalmente con la altura de los edificios (número de pisos) dando valores de 400 Wm^{-2} como promedio durante el día y ascendiendo a 1590 Wm^{-2} durante el invierno en el centro de Tokio.

La magnitud de Q_F , varía de acuerdo con la extensión espacial del área de análisis, adicionado las formas y funciones urbanas que dependen del consumo de energía, patrones de tráfico y microclima. Su magnitud es inversamente proporcional a su escala de estudio, es decir, en microescala es más alta, mientras que disminuye cuando se promedia con los valores de una ciudad (Stewart & Oke, 2012).



La emisión de calor antropogénico sensible a la atmósfera puede ser directamente a través de tubos de escape, chimeneas y equipos de aire acondicionado o calefacción, o indirectamente por conducción a través de una envolvente del edificio y luego por convección y radiación en el entorno urbano. Las emisiones de calor sensibles pueden retrasar el tiempo del consumo de energía y pueden diferir sustancialmente en magnitud.

Aunado al calor antropogénico, uno de los máximos expertos, Sailor (2010) señala que la liberación total de calor (Q_F) resulta de la suma de estas fuentes y va acompañada de una emisión de humedad y también un impacto en el presupuesto de radiación de onda larga urbana. Agrega el concepto de humedad antropogénica, definiéndola como la generación latente y química de la humedad resultante del consumo de energía en el entorno urbano y las divide en dos formas:

- El calor extraído de los edificios puede eliminarse a través del equipo de enfriamiento por evaporación. Tal eliminación de calor a menudo se denomina calentamiento latente antropogénico, y el efecto neto sobre la atmósfera urbana es una fuente de humedad.
- El segundo mecanismo de emisiones de humedad antropogénicas es la reacción química que se produce en la combustión de combustibles de hidrocarburos en los motores de los vehículos o en los hornos de combustión. Tal proceso crea vapor de agua antropogénico como resultado de una reacción química en lugar de un cambio de fase, a diferencia de las emisiones de calor latente.

Los modelos de emisiones antropogénicas que tratan sólo a un sector, e ignoran las emisiones de humedad, pueden tergiversar significativamente el momento y la magnitud de las emisiones antropogénicas.

La inclusión de Q_F claramente tiene implicaciones significativas para el clima urbano, la calidad del aire y la demanda de energía.

Una manera propuesta ha sido la estimación. asociada con las densidades de la población urbana y considerada con una distribución espacial homogénea en magnitud y ubicación igual que la insolación natural.

Ahora se sabe que las magnitudes son localmente diferentes en Wm^{-2} depende de la ubicación y el tiempo en horario.



Según Lin et al. (2008) dentro de los modelados urbanos a mesoescala, los softwares tienen dos opciones de datos. Primero, el uso del sistema de Meteorología de Investigación y Predicción (WRF por sus siglas en inglés Weather Research and Forecasting) con parámetros establecidos como 90, 50, y 20 Wm^{-2} , respectivamente, para las categorías de suelo urbano residencial de alta densidad residencial y de baja densidad, o a utilizar perfiles personalizados que descuidan algún componente clave de emisiones como el sector del vehículo (Figura 3.4).

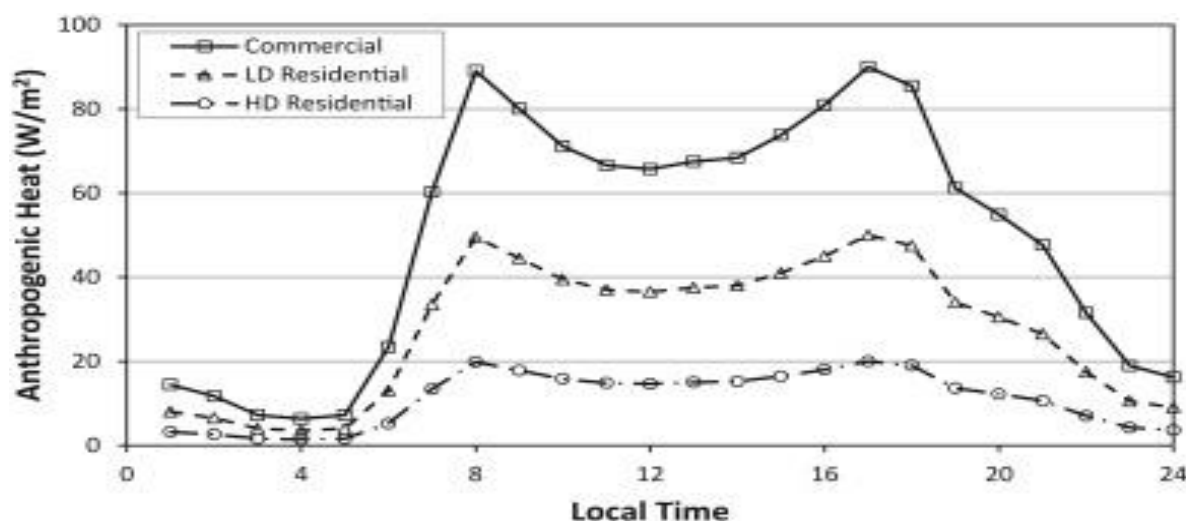


Figura 3.4 Representación diurna de los perfiles de calor antropogénico disponibles en el WRF.

Fuente: (Sailor, Georgescu, Milne, & Hart, 2015).

Una segunda opción dentro de WRF es usar la opción BEP + BEM (por siglas en inglés Building Effect Parameterization with Integrated Building Energy Model). Sin embargo, como lo señala Salamanca (2012) éste enfoque puede llevar a una subestimación del efecto de calor antropogénico, ya que ignora por completo las emisiones del transporte.

Actualmente, trabajos como los de Chow (2014) y Sailor (2015) buscan la estimación de estos valores de manera más detallada para varias regiones, utilizándolo con las variables de tiempo y lugar, para generar una base de datos antropogénicos para la planificación urbana sostenible.

Para mayor referencia de las estimaciones del calor antropogénico al balance de energía de varias ciudades, subcapítulo 2.4 Antecedentes, Tabla 2.3.



3.1.3.1 Metabolismo

Para estimar la liberación de calor del metabolismo humano, López et al. (2003) definieron primero que las tasas metabólicas varían a lo largo del día. La tasa metabólica es la fracción del gasto energético consumida por un sujeto en diferentes actividades y en condiciones térmica ambientales dadas, es decir, es la cantidad de energía que se gasta durante una actividad y un período específico de tiempo y puede medirse en joule, calorías o kilocalorías por unidad de tiempo.

Los seres humanos requieren energía para realizar trabajos y producir calor para mantener una temperatura interna del cuerpo de alrededor de 37°C. La producción de calor metabólico (Q_{FM}) es en unidades de potencia y su ecuación es (Havenith, Holmér, & Parsons, 2002):

$$Q_{FM} = M - W \quad \text{Ec. 8}$$

Dónde:

M: Tasa metabólica.

W: Trabajo mecánico realizado por el cuerpo, que usualmente varía del 0 al 20% de M. Por ejemplo, para actividades sedentarias como trabajo de oficina W tiene un valor de cero.

Específicamente, en referencia a los datos de Fanger (1972) y Guyton (1986), la tasa metabólica de sueño para un hombre típico de 70 kg es de aproximadamente 75 W. Durante el día la tasa metabólica aumenta dependiendo de la actividad. Una persona típica tiene una tasa metabólica que puede variar desde aproximadamente 100 W en reposo, hasta 200 W mientras camina, y más de 300 W durante una actividad extenuante. Por lo tanto, se deduce que la magnitud del calentamiento antropogénico del metabolismo humano en una ciudad depende claramente de la densidad de población.

La mayoría de los estudios integran el metabolismo como un componente de su modelo energético de construcción como Hsieh (2007) Heiple (2008), o simplemente lo ignoran como Grimmond (1992) y Sailor (2004). Sobre la base de la suposición razonable de que más de la mitad del calor metabólico ocurre en las edificaciones, Salilior (2010) explica que el metabolismo humano al aire libre generalmente es menos del 1% del calentamiento antropogénico total de una ciudad, por lo tanto, puede ser ignorado.



Las densidades de población durante el día en las ciudades de Estados Unidos suelen ser del orden de 5,000 personas por kilómetro cuadrado y el flujo de calor metabólico correspondiente es del orden de aproximadamente 1 Wm^{-2} . Mientras que muchas ciudades en todo el mundo tienen densidades de población más altas en sus núcleos urbanos, en cualquier instante en el tiempo, gran parte de la población urbana se encuentra dentro de los edificios.

El calentamiento antropogénico total en un área urbana dentro del sector de la construcción se ocupa de las cargas de internas generadas por las actividades dentro de una edificación, el metabolismo humano no debe tratarse por separado, ya que da lugar a un doble conteo de esa fuente de calor.

3.1.3.2 Industria

Los datos para estimar cuanto calor antropogénico son dados por este sector son muy variados en los estudios. Sin embargo, la fórmula de estimación (en la mayoría de los casos de investigación) se obtiene de la relación entre los datos de las bases de consumo de las agencias gubernamentales de energía y el análisis de uso de suelo de los planes de desarrollo, dando valores para Q_{FH} en Wm^{-2} .

En relación con su variación con los parámetros climáticos y su distribución en el tiempo (diurna o estacional) generalmente es más uniforme que los otros componentes. De hecho, una vez que se determina la distribución espacial y la intensidad de la industria dentro de una ciudad, es bastante común suponer que el consumo de energía se distribuye uniformemente entre las 8,760 horas del año, por ejemplo Sailor y Fan (2004), Sailor y Lu (2004), y Torrance y Shum (1975), lo determinan de esa manera.

Los grandes consumidores industriales son generalmente reticentes cuando se trata de compartir detalles de sus patrones de consumo de energía. En consecuencia, se deben realizar estimaciones razonables sobre la base de datos disponibles públicamente sobre las características del equipo y el uso dentro de las industrias (Sailor, 2010).

3.1.3.3 Edificación

El alto consumo eléctrico en los edificios urbanos afecta el presupuesto de energía de la superficie urbana y causa la emisión de flujo de calor antropogénico a la atmósfera. Hoy en día, con la creciente población y sus actividades en los edificios, gran parte de la



preocupación se centra en la disminución del calor a través de edificios de bajo consumo de energía y más eficientes energéticamente. Para estimar la Q_{FH} , se realiza generalmente la metodología de inventario de carga energética, al igual que la industria.

La demanda de energía del edificio contribuye a la emisión de calor antropogénico (Boehme, Berger, & Massier, 2015). Si se supone que los edificios se mantienen en un estado térmico interior relativamente constante en promedio, puede conjeturarse que el calor residual generado por el consumo de electricidad del edificio se rechaza instantáneamente y es expulsado al exterior.

Sailor (2010), expone que el uso de energía en el sector de la edificación se divide en tres categorías principales: cargas de iluminación; cargas de contactos y electrodomésticos, y para equipos de confort térmico (calefacción, ventilación y aire acondicionado). La iluminación es bastante sustancial, a menudo comprende entre el 20 y el 30% del uso total de electricidad del edificio.

Las cargas energéticas de contactos e iluminación están directamente relacionadas con el cronograma de ocupación del edificio, el tipo de día (laborado o festivo), la categoría de uso del edificio y sus actividades extracurriculares.

Los edificios residenciales suelen tener un consumo máximo de energía a primera hora de la mañana y nuevamente a media tarde. En el sector comercial, las cargas aumentan en las mañanas de los días laborales, nivelándose al mediodía y bajando al final de la tarde. Los patrones de carga de fin de semana son claramente diferentes en ambos.

El uso de energía en los edificios para confort térmico es una función complicada de ocupación, cargas internas y cargas ambientales. Durante las horas máximas de ocupación, los controles automáticos del edificio gestionan las condiciones internas mediante su monitoreo, no accediendo al conocimiento del gasto total.

El calor antropogénico por edificación (Q_{FH}), ingresado al medio ambiente, tiene la siguiente expresión (Sailor, 2010):

$$Q_{FH} = E + P + M + L + AC \dots \dots \dots \text{Ec. 9}$$

Dónde:

E=Total de calor sensible y latente transmitido del exterior al edificio.

P= Calor interno generado por total de consumo de energía.



M =Calor antropogénica metabólico.

L =Calor interno generado por la iluminación.

AC =Energía adicional del sistema de refrigeración para rechazar el calor al medio ambiente.

Dependiendo del tipo de equipo mecánico usado para acondicionar el edificio, el calor rechazado puede comprender tanto un componente sensible como latente. Específicamente, las torres de enfriamiento pueden rechazar hasta el 80% de su carga de enfriamiento por evaporación en forma de humedad.

El intercambio de calor entre el edificio y el ambiente es variable de acuerdo con la época estacional y el tipo de construcción. Por ejemplo, en los edificios residenciales la mitad del volumen de aire es remplazado por el aire exterior en una hora, es decir intercambios de 0.3 a 0.5m³ de aire por hora. En época invernal el calor interno se pierde con conducción y fugas de aire involuntarias. En verano, el calor ambiental se filtra por conducción y radiación a través de las ventanas, alcanzado el 60% al 80% del total de la trasmisión de onda corta, el cual es eliminado por el aire acondicionado ([Sailor & Brooks, 2009](#)). Esto sin considerar que algunos sistemas de aire acondicionado usan enfriamiento por evaporación para intercambiar calor con el ambiente exterior como agua evaporada.

Como resultado de estas complejidades, para representar la emisión de Q_{FH} , del sector de la construcción se utiliza un enfoque de inventario de uso de energía. El enfoque, que simplemente equipara el consumo de energía con emisiones de calor sensibles, puede sobreestimar o subestimar el calor antropogénico dependiendo de la temporada y los tipos de edificios.

Un aspecto que le preocupa a Sailor ([2010](#)) es que los enfoques de inventario generalmente descuidan las emisiones de humedad relacionadas con la energía, que pueden ser bastante grandes en ciudades donde se cumple una fracción significativa de la carga de aire acondicionado, usando sistemas evaporativos residenciales o torres de enfriamiento, que son comunes en grandes edificios comerciales.

Otro aspecto desafiante de la evaluación de las emisiones de Q_{FH} y la humedad del sector de la construcción es la estimación de la ubicación vertical real de estas emisiones. Algunas de las emisiones ocurren como conducción a través de la envolvente del edificio ([Fan & Sailor, 2005](#)).



La estructura vertical de los edificios urbanos también se reconoce como un contribuyente al ICU al atrapar la radiación en los cañones urbanos y almacenar el calor en los edificios. Estos efectos se han representado en los esquemas de parametrización del dosel urbano implementados en modelos atmosféricos, por ejemplo: Marilli (2002), Masson (2000), Taha (1999), y Grimmond (1991).

Una fracción más grande ocurre como resultado de intercambios de aire a través de la fachada y del funcionamiento natural de ventanas y puertas. La mayor parte de las emisiones Q_{FH} de los edificios se produce en forma de calor y humedad rechazados por los sistemas mecánicos de calefacción, refrigeración y ventilación. Por lo tanto, es importante saber dónde se ubican los equipos.

Según Sailor (2010), en edificios que tienen menos de 10 pisos de altura, el equipo de confort térmico puede ubicarse junto al edificio en el nivel del suelo, en un techo de entresuelo o en la azotea del último piso. Sin embargo, en edificios comerciales de altura, las emisiones pueden distribuirse verticalmente de manera más uniforme en los pisos de los servicios públicos (quizás cada 10 o 12 pisos) o consolidarse a nivel de la azotea.

Como resultado, es difícil especificar la altura de las emisiones antropogénicas de las construcciones verticales a menos que se conozcan las características específicas del inmueble. Como regla general, Sailor sugiere que es razonable suponer que tales emisiones están uniformemente distribuidas en la altura del edificio.

3.1.3.4 Vehículos

Con el fin de estimar el calor liberado por los vehículos a mesoescala, es deseable contar con perfiles detallados por hora del tráfico en las calles principales y secundarias a lo largo de un área metropolitana. Además, es útil tener información detallada del tipo de vehículos, incluida una estimación de la velocidad, horaria y gasto de combustible promedio por tipo de automotores. Los recuentos de vehículos en las investigaciones, se realizan un número determinado de ubicaciones dentro de la ciudad, dando lugar a la suposición de que el tráfico en cualquier punto es uniforme a lo largo de la de urbe.

La liberación de calor antropogénico a cualquier hora y a un nivel de mesoescala se estima como Sailor y Lu (2004):

$$Q_{FV} = pcDVD Ft (h) \rho_{pop} (h) EV \dots \dots \dots Ec. 10$$



Dónde:

F_t = Perfiles de tráfico por hora.

$pcDVD$ = Distancia diaria per cápita por vehículo.

$\rho_{pop}(h)$ = Densidad de población por hora.

EV = Liberación de energía por vehículo por metro de recorrido

$$EV = NHC \cdot \rho_{fuel} \cdot FE \dots \dots \dots Ec. 11$$

De la ecuación 10, para despejar EV , se considera la siguiente igualdad:

Dónde:

NHC = Calor neto de la combustión de la gasolina ($J \cdot kg^{-1}$).

ρ_{fuel} = Densidad del combustible ($kg \cdot l^{-1}$).

FE = Consumo de combustible medio por kilómetro ($km \cdot l^{-1}$)

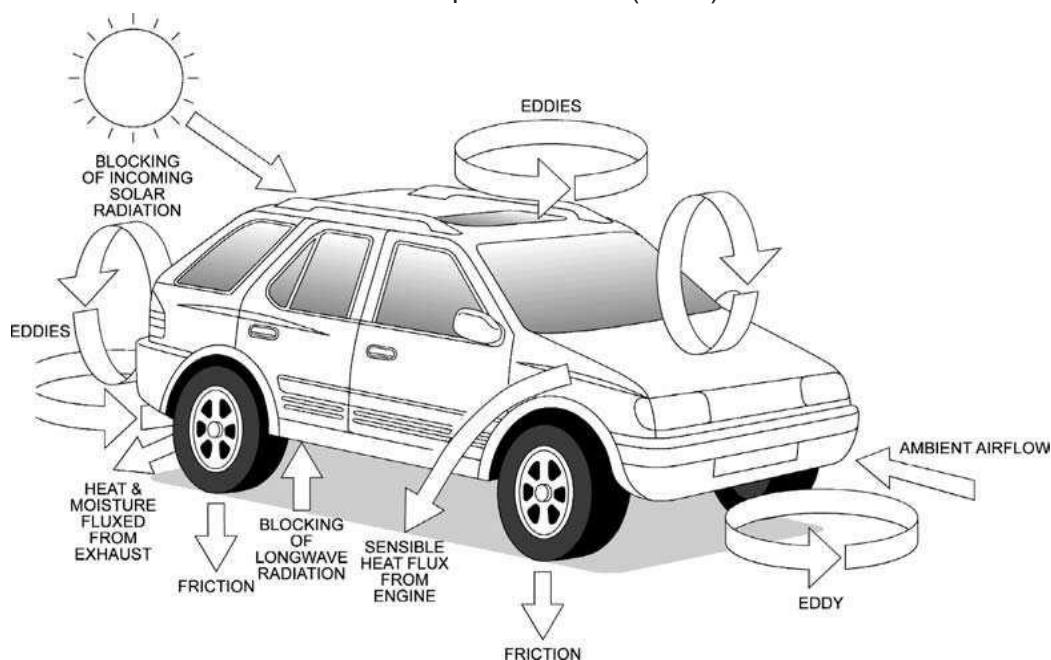


Figura 3.5 Impacto de los vehículos sobre la temperatura de la superficie de rodamiento Fuente: (Annamalai & Ishwar, 2006)

En la investigación de Sailor y Lu (2004) suponen un gasto de combustible medio de 8.50 km^{-1} (~ 20 millas gal^{-1}), un calor de combustión típico de $45 \times 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$ y una densidad de combustible nominal de $0,75 \text{ kg} \cdot \text{l}^{-1}$, EV asume un valor de $3975 \text{ J} \cdot \text{m}^{-1}$ de recorrido del



vehículo. Los datos del gasto de combustible, de acuerdo con la tipológica de autos están disponibles en su investigación, por lo que puede ser sustituido en la ecuación anterior para obtener una mejor estimación de EV, de acuerdo con la ciudad.

45 MJ/kg es un valor de referencia del calentamiento típico para los combustibles de vehículos en Estados Unidos de Norteamérica ([Annamalai & Ishwar, 2006](#)). Sailor señala que debe tomarse en cuenta cuando se analiza el calor, la humedad liberada por el transporte público y privado, concluyendo que incrementa el efecto antropogénico y perturba el confort térmico de la población ([Figura 3.5](#)).

A medida que se quema el combustible, la reacción química conduce a la generación de vapor de agua. Según Sailor ([2010](#)) por cada litro de gasolina o gasóleo quemado se genera de 0.9 a 1.0 kg de vapor de agua. Esto corresponde a aproximadamente 100 g de vapor de agua por cada kilómetro recorrido. Al igual que con el sector de la construcción, esta emisión de vapor de agua, en sí misma, puede ser un aspecto significativo del sistema climático urbano.

El aspecto desafiante que determina las emisiones antropogénicas en el sector de los vehículos implica estimar la distribución espacial y temporal de éstos en las calles principales y secundarias dentro de la ciudad. Además, el consumo de combustible real de los vehículos varía según el tipo, y la distribución en las vías cambia a lo largo del día. El consumo de gasolina depende en gran medida de la ciudad y el país de análisis, pero por lo general, según Sailor ([2010](#)) está en el rango de 8 a 16 km/l (20 a 40 millas por galón).

En los países del primer orden, las autoridades responsables del transporte cuantifican datos generales sobre el uso de los vehículos, como estadísticas sobre la distancia promedio recorrida por día por los residentes urbanos en las principales ciudades. En los Estados Unidos, estos datos son compilados por el Departamento de encontrando que un ciudadano promedio recorre entre 30 y 60 km/persona/día. En otros países del mundo, estas cifras son a menudo sustancialmente menores.

Dado que los datos detallados del conteo de tráfico por hora no están disponibles para todos los tipos de calles en la mayoría de las ciudades, se necesita algún nivel de desagregación y asignación de perfiles diurnos. Por ejemplo, Hallenbeck et al. ([1997](#)) crearon datos de perfil diurnos útiles que ilustraban los picos típicos de la mañana y la noche en el tráfico de hora punta en las ciudades americanas.



Descubrieron que aproximadamente el 16% de todo el tráfico diario ocurre entre las 16:00 y las 18:00, hora local, y un 13% ocurre entre las 07:00 y las 09:00, en las horas punta de la mañana. El análisis de Sailor y Lu (2004) sugiere que en las ciudades como Houston, el calentamiento antropogénico total del sector de vehículos es de 300 W/m^2 durante la hora pico de la tarde, sobre cuadrículas de análisis de 500m ubicadas en las calles principales.

3.1.4 Morfología urbana

3.1.4.1 Densidad de construcción

La densidad constituye una variable fundamental de la compacidad de una ciudad. Según Hermida et al. (2015) se entiende por compacidad *la combinación de la densidad urbana, el tipo de ocupación, el reparto del viario público, la proximidad a redes de transporte alternativo al automóvil, la accesibilidad peatonal, el porcentaje de condominio cerrado y de espacio libre*. La densidad puede ser medida por el número de viviendas y/o de habitantes en un área determinada.

En este caso la densidad urbana de construcción es presentada por:

$$j = A_r/A_1 \dots\dots\dots \text{Ec.12}$$

De donde

A_r = Área del techo promedio de la zona de estudio

A_1 = Área ocupada por cada edificio.

Esta relación geométrica influye en el balance de energía, porque determina el sombreado de las fachadas y suelo de rodamiento, creando espacios en sus características térmicas muy diferentes.

La geometría básica de las alturas de los edificios y la distancia entre ellos regulan el acceso a la luz y al calor solar. Las leyes de zonificación y las normas de construcción que regulan esta geometría básica establecen relaciones de altura a distancia que determinan el ensombrecimiento que los edificios pueden causar en los espacios públicos y otros edificios. Para los propietarios, el aprovechamiento de la luz solar y el acceso del aire es una cuestión indispensable más que regular el confort térmico, ventilación y visibilidad al interior y exterior desde cualquier sitio.



Como ya se ha mencionado, una abstracción geométrica similar es el cañón urbano, utilizado en la climatología para describir como la forma de los espacios de la ciudad crean condiciones ambientales especiales. Es un arquetipo espacial que nos permite integrar el conocimiento de varios campos de investigación especializados. En términos geométricos, se describe como las relaciones de altura/ancho, ancho/profundidad y altura/profundidad del espacio entre las construcciones adyacentes y su calle ([Stromann-Andersen & Sattrup, 2011](#)).

Como la historia marca, las ciudades se desarrollan con el tiempo, y las proporciones de espacios: calles, plazas, patios o jardines, tienen un impacto duradero en el consumo de energía para la calefacción, refrigeración e iluminación de las zonas edificadas. Las técnicas pasivas usadas en el diseño de los edificios desempeñen un papel importante en el consumo de carga eléctrica, porque las pérdidas o ganancias térmicas se determinan con aislamiento, acristalamiento y hermeticidad.

La densificación urbana ha sido vista como una estrategia para el desarrollo sostenible, centrada en el ahorro de energía mediante los sistemas de transporte eficientes, infraestructuras compartidas y el control térmico que dominan los presupuestos energéticos. Estableciendo que la densificación es una acción de equilibrio entre estas oportunidades, por un lado, y garantiza el acceso solar para edificios de baja energía y el confort urbano, por el otro.

Las conexiones intrincadas entre el clima urbano, la forma urbana y el uso de la energía de los edificios siguen siendo un tema que requiere más investigación ([Steemers, 2003](#)). En las ciudades ya construidas del norte de Europa, la densidad urbana es de particular preocupación, por las altas latitudes y las bajas inclinaciones solares asociadas. Porque la geometría urbana afecta el acceso solar. Convirtiendo las calles con edificios altos, en ambientes fríos donde se requiere más calor, y las ciudades donde el clima es más cálido su afectación se manifiesta en la ventilación combinado con el factor de contaminación.

Según Pearlmuter ([2007](#)) un tejido urbano densamente aglomerado tiende a reducir la penetración solar en los cañones de calles estrechas, pero puede resultar en "atrapamiento" de radiación de onda corta y de onda larga, así como en turbulencias reducidas de viento y térmicas en cañones profundos.



3.1.4.2 Geométricos o relación de aspecto

La manera en que los autores han clasificado a los cañones urbanos es mediante sus características geométricas, es decir, la relación entre la altura media de los edificios del cañón (H), su ancho de calle (W) y su largo (L), denominadas como Relaciones de Aspecto (Ratio Aspect en inglés).

Las características mostradas en la [Figura 3.6](#), otorgan las tres relaciones siguientes:

- Relación de aspecto H/W ;
- Relación de aspecto L/H ; y

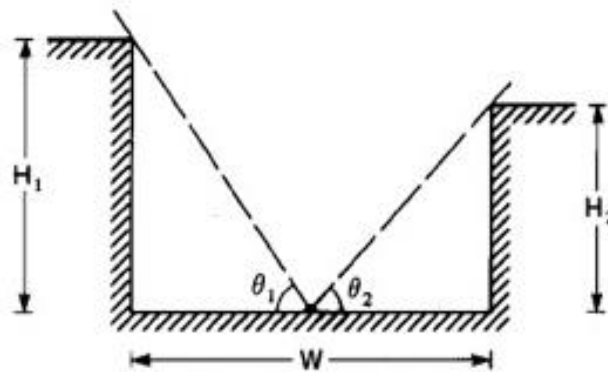


Figura.3.6 Ubicación de los parámetros de la relación de aspecto. Fuente: (Oke, 1988)

El valor de las Relaciones de Aspecto, que marca Vardoulakis et al. (2003), se utilizan para clasificar los cañones de la siguiente manera

- Cañón regular o uniforme; $H/W = 1$ (sin grandes aberturas en las paredes del cañón);
- Cañón semiprofundo - $H/W = < 0.5$; y
- Cañón profundo - $H/W \sim 2$.

Se puede hacer una subclasificación de cada uno de los anteriores según la distancia entre dos intersecciones principales a lo largo de la calle, definida como la longitud (L) del cañón de la calle:

- Cañón corto - $L / H \sim 3$;
- Cañón medio - $L / H \sim 5$; y
- Cañón largo - $L / H \sim 7$.



Otra clasificación se basa en la simetría del cañón:

- Cañón simétrico: los edificios que forman el cañón tienen aproximadamente la misma altura;
- Cañón asimétrico: los edificios que forman el cañón tienen diferencias de altura significativas]; y
- Cañón Step-up - un cañón de la calle donde la altura del edificio contra el viento es menor que la altura del edificio a favor del viento.

La densidad de construcción y su geometría variables influyen en la incidencia de la radiación en los materiales, los cuales almacenan el calor, e incrementar la captura de la radiación por múltiples reflexiones entre los edificios y la superficie de la calle ([Figura 3.7](#))

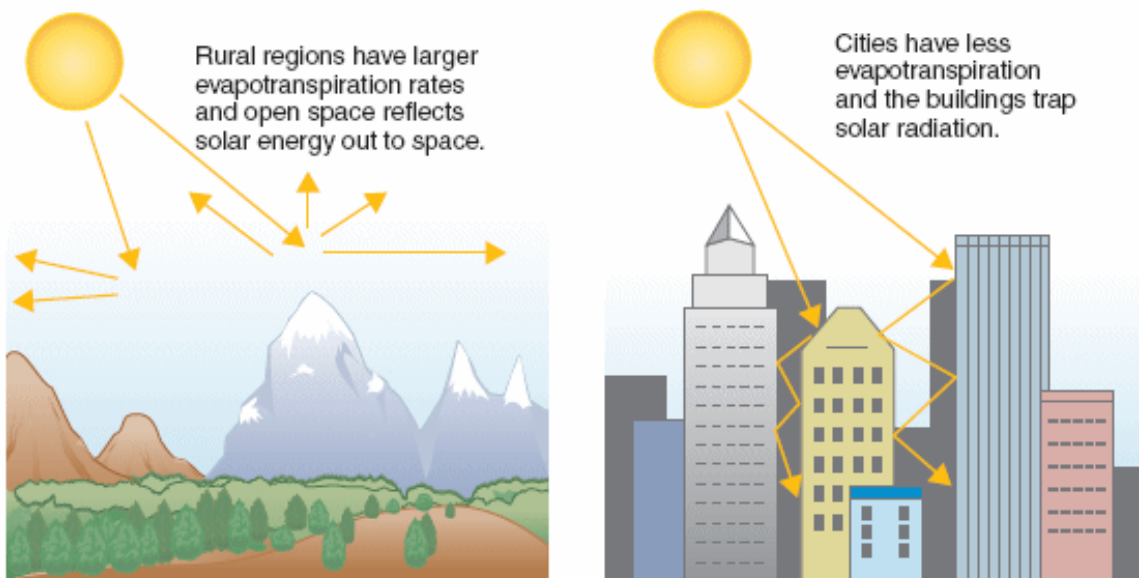


Figura 3.7 Reflexión de la radiación solar en zonas urbanas y rurales (CIMSS, 2017)

3.1.4.3 Orientación

Otro factor importante que se tienen en cuenta en los estudios de cañones urbanos es la orientación. De ella, se sujetan dos variables, la sombra (la cual varía en porcentaje según la hora del día y la estación del año) y la velocidad de viento. Se entienden por volumen de aire del cañón, al aire contenido y delimitado por las paredes de los edificios en los laterales, un límite inferior (el piso de rodamiento) y uno superior imaginario denominado “tapa de cañón” ([Figura 3.8](#)).



La forma de las envolventes y su distribución en la mancha urbana incrementa o reduce la velocidad del viento. En consecuencia, entre mayor sea la velocidad del viento mayor es la transferencia de calor por convección. Por esta razón, al incrementar la transferencia de calor entre las superficies del edificio y el aire frío adyacente, varios estudios señalan que se enfría el cañón urbano, incluso en ciudades con clima cálido ([Figura 3.8](#)).

Para lograr un mapeo exacto de la ventilación en un ambiente urbano, una investigación dirigida en la Península de Kowloon, en Hong Kong, desarrolló un modelo basado en SIG (Sistema de Información Geográfica) para estimar el índice de área frontal (FAI) de los edificios. Para determinar la ubicación de la infraestructura y de los árboles seleccionaron la técnica de teledetección óptica que manipula la luz de láser, y eligieron un sistema de coordenadas rectangulares (LiDAR). Los nuevos algoritmos fueron creados para mejorar los anteriores que no consideraban el coeficiente de flujo hacia atrás entre edificios de barlovento y de sotavento ([Peng, Wong, Wan, & Nichol, 2017](#)).

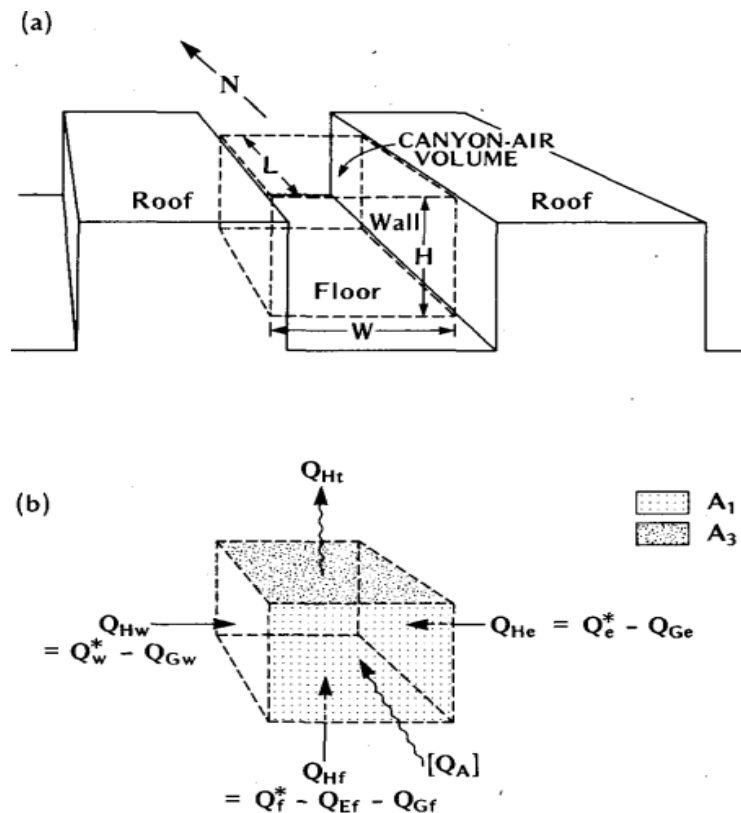


Figura 3.8 a) Esquema de un cañón urbano y su volumen de aire, b) Intercambio de flujo de calor dentro y fuera del volumen de aire del cañón Fuente: (Nuñez & Oke, 1977)



La orientación, densidad y relaciones de aspecto del cañón establecen la trayectoria solar, determinando el tiempo y el ángulo de incidencia de la radiación solar entrante calentando las superficies de acuerdo con la cantidad de luz solar directa que reciben. (Bottillo, De Lieto Vollaro, Galli, & Vallati, 2014).

3.1.4.4 Textura urbana

Según Sabsty et al. (2018) investigadores del MIT, informan que la disposición de las calles y la densidad de ciudad, a lo que ellos llaman textura juega un papel crucial en el efecto de la Isla de Calor Urbano, proporcionando información a los planificadores de la ciudad para definir las nuevas formas de organización.

Los autores determinan esta forma de estructuras como cristalinas, dispuestas en cuadrícula precisa al igual que los átomos de un cristal y no cristalinas como la organización caótica de un líquido o de plato roto; determinando que las primeras acumulan mayor calor que las segundas y determinan en su estudio, que los parámetros del orden de una ciudad varía entre 0.5 a 0.9.

Enfatizan que los modelos matemáticos y herramientas estadísticas de física clásica se pueden aplicar en ecuaciones sencillas para describir la forma en que el diseño de una ciudad influiría en su efecto ante el fenómeno de la ICU, considerado en estas ecuaciones el factor de vista del cielo, la longitud de las cuadras, altura media del área de estudio y la distancia promedio de separación

3.1.5 Parámetros meteorológicos

3.1.5.1 Radiación solar

Una fuerte campaña consistente en instalar equipos de medición dentro de las ciudades en los últimos años se ha realizado para conocer específicas características de las calles, como la distribución de temperaturas y contaminantes dentro de los cañones y conocer las variaciones dentro de una misma urbe.

Según Giovannin y Zardi (2013) analizaron estos estudios, observando que durante el día pueden ocurrir dos situaciones opuestas dependiendo de la combinación de la relación de aspecto (H/W) y el ángulo del cenit solar. La radiación solar directa puede penetrar más dentro de la calle cuando uno de los factores anteriores, o ambos, son bajos. Esto mejora



el calor absorbido por las paredes laterales y la superficie de la calle, como resultado el aire interno del cañón se vuelve generalmente más cálido que el nivel superior del techo. En otras palabras, cuando la relación de aspecto y/o ángulo cenit del sol son altos, existe menor transferencia de calor por radiación solar penetrando menos dentro del dosel urbano, por lo tanto, la temperatura del aire dentro de la calle es menor que el nivel del techo, como se observa en un cañón profundo ($H/W=3.3$).

La temperatura térmica en el cañón también está relacionada por el **Factor de Vista del Cielo** (SWF en inglés por Sky View Factor) ([Figura 3.9](#)), medida de geometría del cañón determina por la altura de los edificios y su cercanía entre ellos. Según su apertura, da lugar a una disminución de la pérdida o ganancia de calor por radiación, el calor es interceptado por las superficies que obstruyen, y absorbido o radiado de nuevo al cañón ([Kleerekoper, van Esch, & Baldiri Salcedo, 2012](#)).

En otras palabras, SVF se puede concebir como la razón entre la radiación absorbida por una superficie plana con respecto en el hemisferio radiante completo ([Nuñez & Oke, 1977](#)). En donde SVF es adimensional cuyo valor está en el intervalo $0 \leq SVF \leq 1$. Para un valor igual a uno, representa que el cielo es completamente visible, por ejemplo, en un terreno ubicado en el campo. En contraste con esto, cuando una ubicación tiene edificios y árboles, la SVF disminuya proporcionalmente de acuerdo con el área cubierta ([Lien, Yee, & Cheng, 2004](#)).



Figura 3.9 Fotografía del cielo en Hong Kong, para su análisis del SVF. Fuente: (Chen, y otros, 2010)



Debido a su importante papel en los esquemas de balance de radiación, el SVF ha sido ampliamente utilizado por los climatólogos para investigar las relaciones entre la geometría urbana y la intensidad UHI nocturna, debido a que obstruye el cielo abierto y retrasa el enfriamiento de la superficie durante las noches claras y tranquilas (Chen, y otros, 2010).

Los métodos para la obtención del SVF, son cinco (Figura 3.10):

- Analítico;
- Fotográfico;
- GPS (Global Position System);
- Por medio de software; y
- Detección satelital.

El método analítico creado por Johnson y Watson (1984), proporciona un marco teórico para establecer el SVF en un punto particular dentro de las calles, es adecuado para estructuras simples y definidas. Este método es utilizado para comprobar ecuaciones y

$$\Psi_w = 1/2\pi \{(\gamma_1 - \gamma_2) + \cos\beta [(\tan^{-1}(\cos\beta \tan\gamma_1) - \tan^{-1}(\cos\beta \tan\gamma_2))]\} \dots\dots\dots Ec. 13$$

$$\Psi_{sky} = 1 - \sum_{i=1}^n \Psi_w \dots\dots\dots Ec. 12$$

análisis paramétricos. Su ecuación se expresa como:

Donde:

Ψ_w = Factor de vista de las paredes circundantes.

β = Angulo de elevación.

$\gamma_1 - \gamma_2$ = Ángulos azimutales del elemento superficial estudiado.

n = Número de edificios observados.

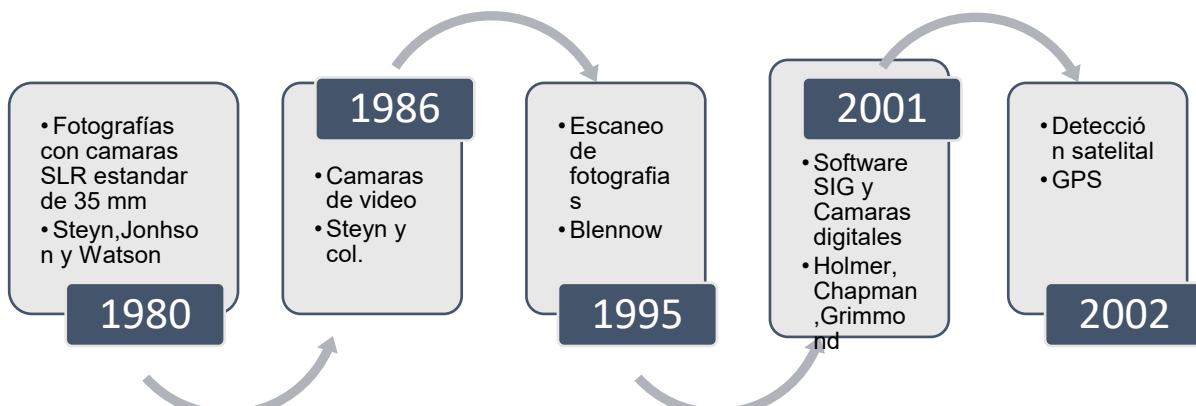


Figura 3.10 Cronograma de tecnologías de medición para la determinación del SVF. Modificado de (Grimmond S. , 2006).



El método fotográfico utiliza una lente de ojo de pez para tomar fotografías in situ que proyectan el entorno hemisférico en un plano circular. Las fotografías se procesan a escalas de grises, para definir el horizonte, obteniendo la relación entre las partes del cielo obstruidas y sin obstáculos. Es adecuada para determinar el SVF en casos reales, ya que puede tratar edificios de diversos tamaños, formas irregulares y procesar información sobre la vegetación (Gal, Rzepa, Gromek, & Unger, 2007).

Champan y Thornes (2004) mencionan que sus desventajas son: el análisis tiene un costo en tiempo, por el procesamiento de las imágenes, las fotográficas deben ser tomadas con cielo nublado homogéneo; porque la luz solar directa o las nubes causan problemas en el procesamiento de la imagen y por último, su uso es a microescala.

El método de GPS desarrollado por Chapman et al. (2002), se basan en el cálculo directo de SVF, en tiempo real utilizando datos proxy. Se utilizó un receptor de GPS para adquirir datos brutos de la visibilidad satelital. El número de satélites visibles, la precisión y la intensidad de la señal se utilizan en el análisis de regresión múltiple para derivar una ecuación y obtener la predicción del factor de visibilidad del cielo.

Sus ventajas son la rapidez, los datos no dependen de condiciones atmosféricas y se vincula con la plataforma de GIS. Sus desventajas es que los métodos no son exactos, la ecuación de predicción depende del equipo GIS, por lo que no se pudo derivar una ecuación universal y su precisión es buena solo en áreas urbanas.

Y, por último, los métodos de software utilizan dos tipos de base de datos, utilizando dos metodologías: la vectorial y la de trama. La base de datos vectorial simplifica los edificios mediante bloques de techo plano representados por polígonos. El ambiente radiante hemisférico se divide en partes iguales por un ángulo de rotación. Posteriormente, a lo largo de un ángulo de rotación particular, el método busca un solo edificio con el mayor ángulo de elevación en esa dirección.



El método de trama emplea una plataforma de datos del modelo de elevación digital (DEM) donde la topografía de la superficie y la información del terreno se almacenan en formato raster. En la [Figura 3.11](#) se observa el proceso de cálculo por medio de un software, donde la capa Mask define los pixeles cuyos SVF deben calcularse (P_o), el layer DEM almacena información de altura de la superficie urbana ($h(P_i)$). α es el ángulo de rotación y R es el radio de búsqueda. P_i es el píxel con el mayor ángulo de elevación β a lo largo de una determinada dirección. La superficie S es el segmento del cielo obstruido por P_i .

3.1.5.2 Temperatura del aire

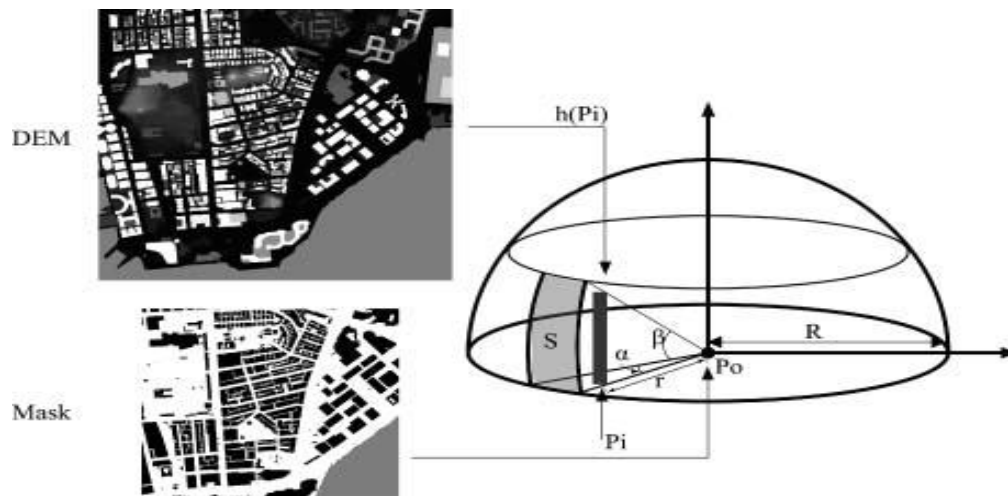


Figura 3.11 Desarrollo del proceso del cálculo FSV por medio de software. Fuente: (Gal, Rzepa, Gromek, & Unger, 2007)

La temperatura es uno de los principales parámetros que influye en el confort de las personas cuando usan espacios para actividades al aire libre o se encuentran en tránsito (peatones). También influye en la eficiencia energética de los edificios, como puede ser la demanda de aire acondicionado o calefacción.

Debido a la complejidad del tejido urbano, dentro de la capa de dosel se encuentra una serie de microclimas, los cuales crean ambientes contrarios al confort, y se observan pocas o nulas directrices a la hora de proyectar los espacios exteriores, dejándolos en segundo plano en la planificación urbana.

Las modificaciones de temperaturas dentro de un cañón, está ligadas con las características físico-térmicas, ópticas de los materiales y con el SVF, porque a partir de este factor se puede conocer la disponibilidad de cielo para la dispersión de la energía



térmica. A nivel de microescala, la radiación solar incidente en las superficies (techos, paredes y suelo) se absorbe y luego se transforma en calor sensible. La composición de los materiales de construcción hace que estos elementos emitan la radiación de onda larga en forma lenta y de regresen al cielo.

Si el SVF es bajo, la radiación directa es obstruida por la morfología de la ciudad y la radiación difusa es reflejada y rebotada por las paredes, significando una baja y lenta pérdida de flujo de calor. El balance de energía se hace positivo por este obstáculo, por esa razón las temperaturas son más altas.

Aunque muchos autores han correlacionado el SVF con las temperaturas, sigue siendo un tema de investigación, debido a que difieren los resultados, aun cuando tienen similares características los cañones en cada ciudad. Las investigaciones analizan diferentes tipologías en los cañones, que van desde sus parámetros geométricos, tipos de materiales y sus fuentes caloríficas antropogénica (Kruger & Minella, 2011).

3.1.5.3 Viento

El viento es una fuente para disipar el calor y los contaminantes de una ciudad. Su importancia radica en tres capacidades:

- Volumen de transportación;
- dirección del traslado; y
- velocidad de transferencia.

Su análisis se basa en los principios básicos de la dinámica de fluidos. Whiston (1986) define los siguientes fenómenos cuando la dirección el viento es paralelo a la calle y la tapa del cañón (Figura 3.12):

- **Efecto de canalización:** Situación ideal para expulsar contaminantes, pero provoca incomodidad para los peatones a ciertas velocidades. El efecto de canalización ocurre cuando el viento se mueve en paralelo a la orientación del cañón. La intensidad de este efecto es principalmente una relación entre el viento con la longitud total, el ancho y la altura promedio del cañón. Este fenómeno es afectado en las esquinas por los vórtices que se generan; la velocidad se modifica por el número de esquinas a lo largo del cañón, es decir, en su longitud (L). Los vórtices son fuertes en cañones de prolongación corta.



- **Efecto venturi:** La velocidad del viento aumenta cuando se canaliza a través de pequeñas aberturas. Esto nuevamente es incómodo para los peatones, pero es una excelente manera de dispersar los contaminantes. La gravedad del efecto Venturi es una función del ancho, largo, alto y tamaño de las aberturas en el cañón.
- **Efecto bar:** El efecto de barra ocurre cuando el aire fluye sobre un cañón en un ángulo de 45 grados. En el lado opuesto (sotavento) el viento se acelera. Este efecto depende del ancho, la longitud y la altura promedio de los lados y el tamaño de las aberturas en el cañón.

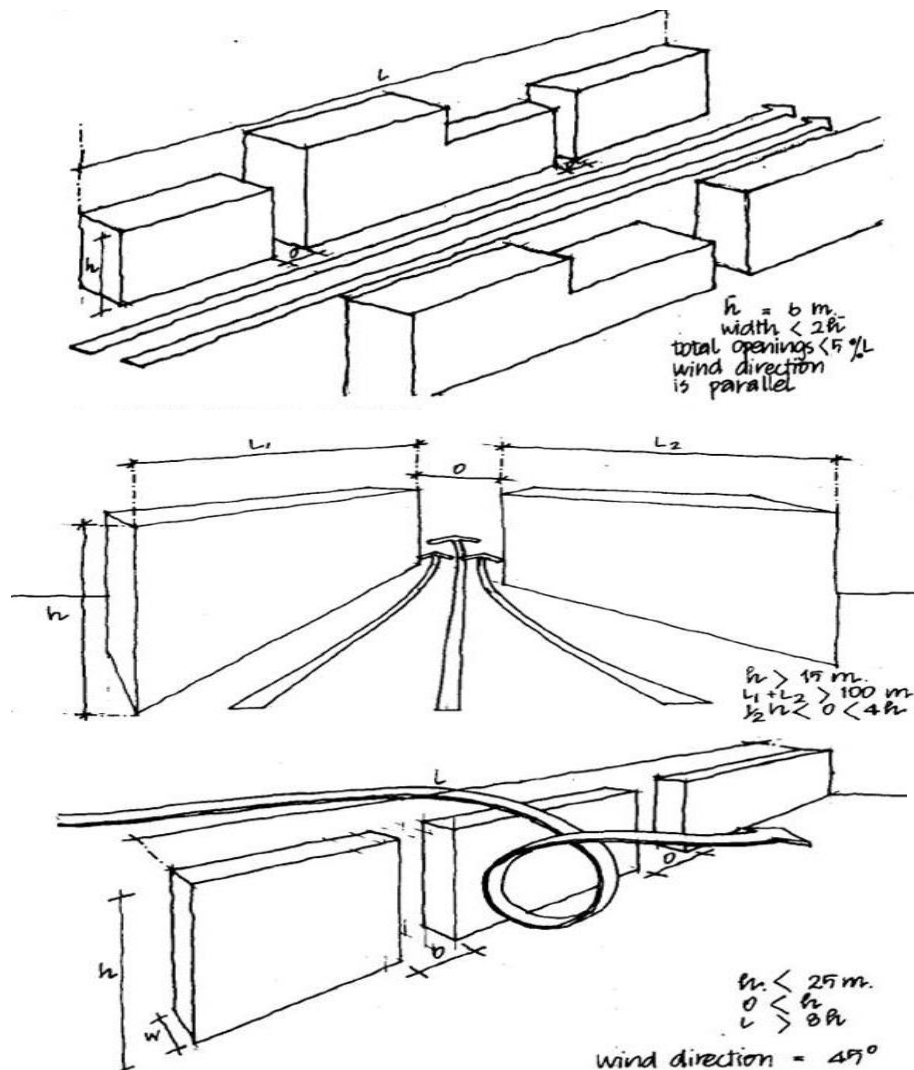


Figura 3.12 Efecto de canalización, venturi y bar. Fuente:
(MIT, 2012)



Cuando la dirección del viento es perpendicular a la calle y la tapa del cañón, se crea un flujo que gira verticalmente, es un vórtice primario centrado dentro de los cañones. Basándose en la Relación de Aspecto H/W , hay tres categorías de este tipo de flujo:

- Flujo aspereza aislado $H/W < 0.30$ (Figura 3.13a)
- Flujo de interfaz. $H/W < 0.50$ (Figura 3.13b)
- Flujo de laminar. $H/W > 0.50$ (Figura 3.13c)

El número total de vórtices generados y sus intensidades depende de muchos factores. Los estudios de modelos numéricos realizados para cañones aislados han demostrado que el número de vórtices aumenta con el aumento de la Relación de Aspecto (H/W) del cañón. Pero hay un valor crítico de la velocidad del viento ambiental, por encima del cual el número y el patrón de vórtices se vuelven independientes de la Relación de Aspecto (Addepalli & Pardyjak, 2013).

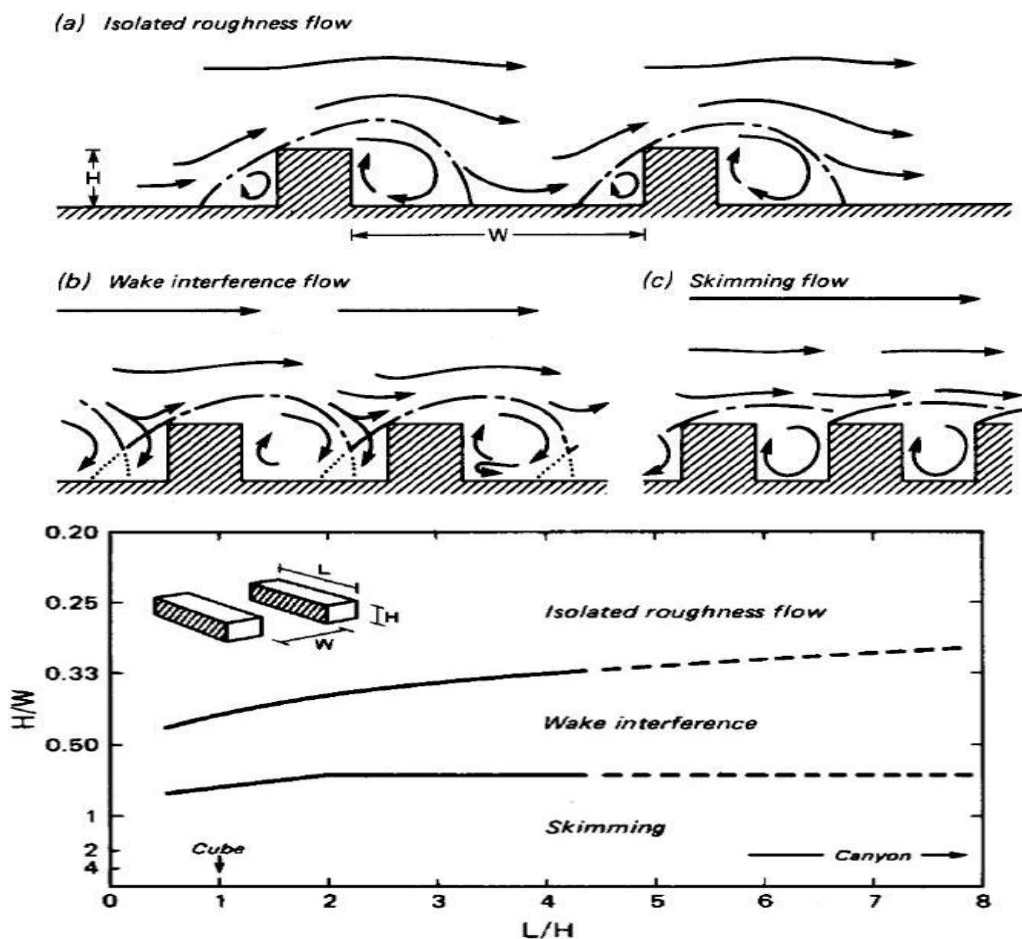


Figura 3.13 Flujo de aire y su relación de aspecto. Fuente: (Oke, 1988).



Otros factores influyentes en la fuerza del viento y su recirculación, según Kastner et al. (2004) son las turbulencias inducidas por el tráfico y las formas de los techos de los edificios. Los estudios de modelos físicos han demostrado que el tráfico bidireccional aumenta la turbulencia en la mitad inferior del cañón y que el techo inclinado a cada lado del cañón desplaza el área principal de producción turbulenta y reduce la intensidad del flujo de recirculación dentro del cañón (Figura 3.14).

Se debe considerar, la importancia del calor en los estudios de viento, porque la transferencia de calor por convección, causadas por la caída del aire más frío y por el desplazamiento del aire más cálido y menos denso, produciendo corrientes y movimiento en el aire.

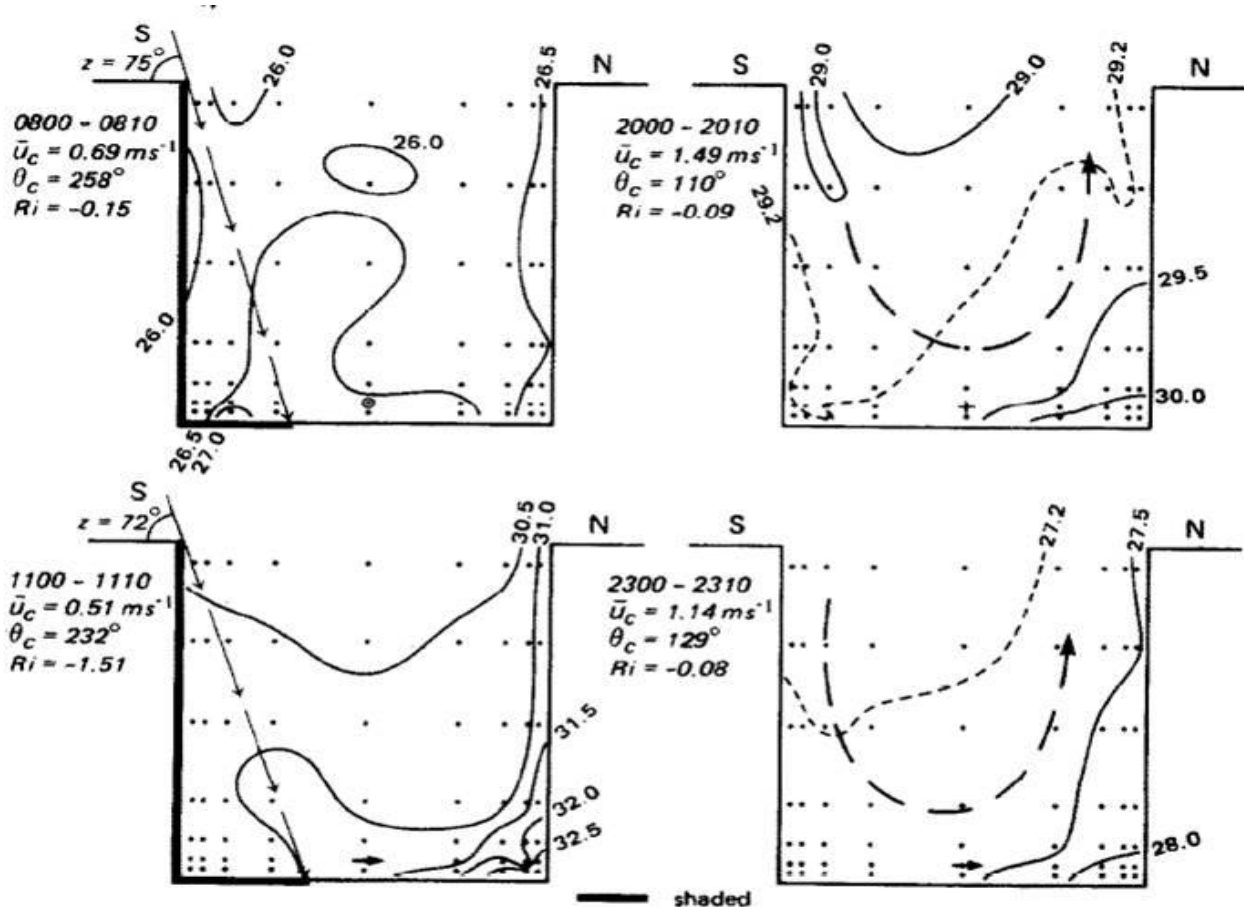


Figura 3.14 Distribución de líneas isotérmicas (°C) en un cañón a las ocho horas del 2 de agosto del 1983, en Kyoto, Japón. Incluye ($\bar{U}_c$) velocidad de viento y (θ_c) dirección de viento a un metro de altura del centro de la calle y el coeficiente de estabilidad total. Fuente: (Nakamura & Oke, 1988).



3.2 Mediciones para macroescala y microescala

Desarrollar un modelo validado con mediciones de campo es importante para comprender los diferentes fenómenos que intervienen en el balance de energía, como la ICU. Las mediciones de la temperatura en in situ o remotas, es información importante para la determinar la validez predictiva de un modelo y definir de manera asertiva las variables de los fenómenos que intervienen en los intercambios de flujo de calor a nivel urbano.

Las investigaciones para ser confiables dentro de la comunidad científica deben tener resultados válidos y ser aplicables en otras ciudades del mundo.

Por ejemplo, para determinar la ICU atmosférica se mide la temperatura del aire utilizando una red de sensores y/o estaciones meteorológicas, la ICU superficial, caracteriza típicamente como la toma de temperatura de las superficies terrestres (LST por sus siglas en inglés Land Surface Temperature), su medición ha sido efectuada mediante el uso de sensores remotos térmicos aerotransportados o el empleo de imágenes satelitales, lo que proporciona un cuadro sinóptico y uniforme para estudiar los efectos de ICUS a escalas regionales.

A nivel mesoescala, los tipos de estudios son estaciones meteorológicas fijas, con desplazamientos móviles (transectos) y detección remota. Algunas de estas técnicas de medición pueden ser usadas en todos los casos, otras son más específicas. Es importante, considerar que la medición a gran escala es transcendental para la modelación de la ICU en las ciudades, ya que cada zona tiene características diferentes y las técnicas de mitigación pueden variar su efectividad de acuerdo con estas particularidades.

Definitivamente, la modelación del fenómeno de la ICU, recreando la ubicación de las isotermas o los flujos térmicos para determinar los cañones urbanos más afectados, es fundamental en la planificación de una ciudad, permitiendo una comprensión adecuada de la urbe y su relación con confort urbano, salud física y mental. Y permite la realización de mapeos que determinan una correcta intervención de las autoridades en puntos focales.

Investigaciones detalladas de proceso que ocurren a microescala (por ejemplo: interior de edificios, exterior del edificio, cañón urbano), a menudo se llevan a cabo simultáneamente con escala local (vecindario), mesoescala (vecindarios múltiples, ciudad entera) y observaciones de escala regional, para determinar valores de contorno ([Tabla 3.1](#)).



Tabla 3.1 Ejemplo de largas campañas simultaneas de estudios de clima urbano en diferentes escalas. Fuente: (Grimmond S. , 2006)

Autor	Año	Ciudad	Descripción	Nombre del estudio
(Rotach, y otros, 2005)	2001-2002	Basel, Suiza	ES, FC, SI, SE, S3, S4, RS2, RS3	Basel urban boundary layer experiment (BUBBLE)
(Cros, y otros, 2004) (Mestayer, y otros, 2005)	2001	Marsella, Francia	FC, S1, S2, S3, S4, S5, RS1, RS2, RS3	ESCOMPTE=CLU-UBL (Urban boundary layer)
(Doran, y otros, 1998)	1997	Ciudad de México	RM, ES, FC, RS3, S4, S5	IMADA-AVER Boundary Layer Experiment
(Cowling, Chameides, & Kiang, 2000) (Meagher, Cowling, Fehsenfeld, & Parkhurst, 1998)	1995, 1999	Nashville, USA	FC, S4, S5, RS1, RS3	Southern Oxidant Study
(Allwine, 2004)	2003	Oklahoma, USA	RM, FC, S1, S2, S4, RS1, RS3	Joint Urban 2003
(Menut, Flamant, Pelon, & Flamant, 1999)	1998 - 1999	Paris, Francia	RM, FC, S3, S4, S5, RS1, RS3	Atmospheric Pollution over the Paris Area (ESQUIF) campaña de campo
(Fast, Doran, Shaw, Coulter, & Martin, 2000) (Gaffney, y otros, 2002)	1998	Phoenix, USA	RM, ES, FC	1998 Ozone Field Study
(Brazel, Selover, Vose, & Heisler, 2000)	1998	Phoenix, USA	RM, ES, S1, S2, S3, S4, S5	CAP-LTER
(Doran, Berkowitz, Coulter, Shaw, & Spicer, 2003)	2001	Phoenix, USA	ES, FC, S1, S5, RS1, RS3	2001 Phoenix Sunrise Experiment
(Allwine, Shinn, Clawson, & Brown, 2002) (Doran, Fast, & Horel, 2002)	2000	Salt Lake, USA	FC, S1, S2, S4, S5, RS1, RS3	VTMX=Urban 2000
(Steyn, Bottenheim, & Thomson, 1997)	1993	Vancouver, Canadá	ES, FC, S4, S5, RS1, RS3	Pacific '93

RM - Red meteorológica presente, ES - Estudios anteriores en la ciudad, FC- Foco de estudio la contaminación del aire.

S1 - Escala interior o de edificio o de cañón, S2 - vecindad o escala local, S3 - vecindarios múltiples, S4 - área urbana, S5 - región, RS1 - avión, RS2 - satélite, RS3 - Radar.



3.2.1 Estaciones meteorológicas

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Existen numerosos tipos de estaciones meteorológicas, como por ejemplo estación digital, analógica, profesional, doméstica, portátil, con marco digital, pluviométrica, pluviográfica, termopluviométrica, evaporimétrica, automática, sinóptica, agrometeorológica o aeronáutica, entre otras

La medición con las estaciones meteorológicas es utilizada en todas las escalas, las cuales competen desde los edificios, cañones urbanos y zonas urbanas, porque producen datos en bruto; desde su ubicación o en forma remota pueden ser manipuladas en su programación para modificar el tiempo de toma de datos.

La tecnológica, ha creado equipos muy compactos, por ejemplo, los HOBO Datalogger UX100 que registran hasta 84,650 valores, entre temperatura y humedad relativa del ambiente, almacenados en un hardware, el HOBOware, permitiendo ser descargados en un procesador de datos, para su posterior análisis ([Onset, 1981](#)).

Los centros meteorológicos, en un principio registraban la temperatura, la dirección, velocidad del viento, la visibilidad del cielo, humedad y la precipitación. Posteriormente, al darse cuenta de la necesidad de comprensión de fenómenos térmicos, se incluyen la radiación solar y el porcentaje en horas de exposición solar.

Numerosas observaciones que derivaron el estudio del fenómeno de ICU, en la mayoría de los casos, fue la comparación de dos datos, uno brindado por un equipo de medición ubicado en el centro de las ciudades y otro, ofrecido por los aeropuertos, punto estratégico debido a su ubicación fuera de la zona urbana, permitiendo una investigación documental histórica de los datos.

Dentro de sus consideraciones de la climatológica urbana, es importante la colocación de los equipos, en la medida de lo posible a la misma altitud. El lugar ideal para medir la temperatura que determina el confort térmico en la capa de dosel, que es definida como el volumen de aire debajo de los edificios y árboles, es la distancia representa del piso a la altura del pecho de una persona que es 1.50 metros ([Gartland, 2008](#)).

En una microescala como es el cañón urbano, las mediciones con las estaciones son colocadas a diferentes alturas y niveles, para determinar el comportamiento térmico, del



viento, u otro flujo, en cualquier parte de una sección de la calle. Para comparar estudios de mediciones, véase Tabla 2.5 del subcapítulo Antecedentes.

3.2.3 Transectos: Desplazamientos móviles

El monitoreo móvil horizontal a una misma altura generalmente es usado en la realización de ubicación de isotermas en mapas urbanos y determinar un comportamiento general como la ICU. Este consiste en trazar un recorrido preliminar, dependiendo de la morfología y las características de la ciudad. Se transita generalmente en la noche cuando los intercambios de calor sensible son más intensos, y el tráfico es menor, permitiendo un modelado de cañones y zonas urbanos. Requiere de pocos equipos meteorológicos y es tal vez, la forma más económica para una medición a mesoescala.

Uno de los problemas que tiene esta tecnología es el hecho de no poder tomar datos simultáneos (inclusive diferencias de minutos) y la medición de la temperatura con un termómetro puede ser influenciado por el calor del motor o el viento del tráfico, es recomendable pararse unos pasos fuera de la calle y debe esperarse un tiempo para equilibrar el equipo (Gartland, 2008). La utilización de la metodología es derivada por su economía, facilidad de tiempo y realización, ayudando a comprobar rápidamente algunas teorías.

Por ejemplo la primera fórmula propuesta por Oke (1976), con respecto a la población y su correlación con la alteración de la ecuación del balance de energía en las urbes, fue validada con esta metodología, aunque para algunos críticos fue muy empírica, y por lo tanto fue corroborada con un nuevo recorrido en Vancouver, Canadá, comparando su modelo empírico y uno advectivo.

Stewart (2000), realizó otro transecto en la ciudad de Regina, Canadá. Con la hipótesis de que el aumento de temperatura es altamente sensible a las condiciones del viento y relativamente insensible a los cambios en la humedad y la presión atmosférica. El estudio demostró, que, a partir de la cobertura del cielo, SVF, se modifican las líneas isotérmicas, con variaciones del 20% más en la noche que durante el día, a pesar de considerar como primera hipótesis que el viento es el instrumento de regularización en la intensidad de las temperaturas.



3.2.3 Detección remota

Con el adelanto tecnológico, los científicos empiezan a utilizar instrumentos de medición más sofisticados, que permiten observar parte de la superficie terrestre y aplicarlos para saber cómo se comportan las islas de calor con respecto a puntos geográficos específicos. Ahí es donde entra la detección por aviones y satélites por medio de fotografías térmicas, ediciones de ondas electromagnética de la radiación de calor. En este punto las mediciones son en zonas urbanas y regionales.

Debido a que los satélites sólo pasan por un mismo punto una vez cada determinado lapso de días, no registran información continua, es necesario determinar anticipadamente el día que se realizará la toma de la fotografía, para asegurar que las condiciones climáticas sean estables. Es importante saber que esta herramienta es para el estudio de grandes áreas, pero no permite saber el comportamiento de la capa de dosel. Se enfoca en estimar las temperaturas de las superficies como son los techos, pisos, pavimentos y tipos de suelo urbanos (Gartland, 2008). Por lo que la ICU estudiada con esta metodología es la llamada superficial.

En base a las clasificaciones y los avances tecnológicos, se proponen metodologías para medir la mesoescala como la GIS que consta de dos partes. La primera parte es el desarrollo de una base de datos georreferenciada y la segunda, es la creación de un medio dinámico y objetivo de muestreo de la base de datos con un enfoque estratificado (Grimmond S. , 1994). Los avances en la aplicación de la teledetección térmica en las superficies urbanas mediante satelitales actuales han alcanzado alta resolución para la interpretación de la las isothermas de la ICU superficial (Voogt & Oke, 2002).

A grandes rasgos, las fotografías se basan en la radiación térmica, que es transmitida por partículas electromagnéticas, llamadas fotones. Las ondas que miden los sensores remotos están dentro de la banda térmica, que incluye las ondas de la radiación ultra violeta, la luz visible y los rayos infrarrojos, y su rango oscila entre 0.1 mm a 100m. Poniéndose de manifiesto la Ley de Plack, donde todas las superficies emiten energía térmica, y un cuerpo negro tiene una reflectancia de 0 (Oke, 1987).

Emisión de energía es:

-De un cuerpo negro = σT^4 .

-Resto de los demás cuerpos = $\epsilon \sigma T^4$.



Donde:

σ = la constante de Stefan-Boltzmann ($5.97 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^4$).

ϵ = el valor de cada superficie de 0 a 1.

T = Temperatura en grados Kelvin.

Estos rangos térmicos son determinados por colores, que significa ([Figura 3.15](#) y [Figura 3.16](#)):

-**Curva naranja**= Radiación solar: $1,400 \text{ W/m}^2$ y Longitud de onda $5.0\mu\text{m}$.

-**Curva roja**= Temperatura: 212°F (100°C), Radiación: 90W/m^2 y Longitud de onda $7.5\mu\text{m}$.

-**Curva verde**= Temperatura: 120°F (50°C), Radiación: 45W/m^2 y Longitud de onda $7.0\mu\text{m}$.

-**Curva azul**= Temperatura: 32°F (0°C), Radiación: 20W/m^2 y Longitud de onda $10.5\mu\text{m}$ ([Gartland, 2008](#)).

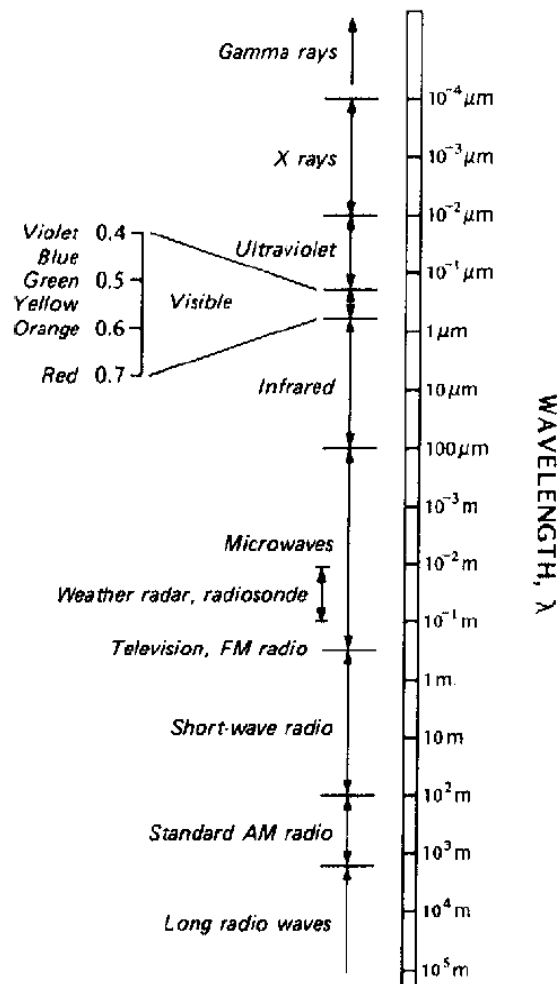


Figura 3.15 El espectro electromagnético.

Fuente: (Oke, 1987)

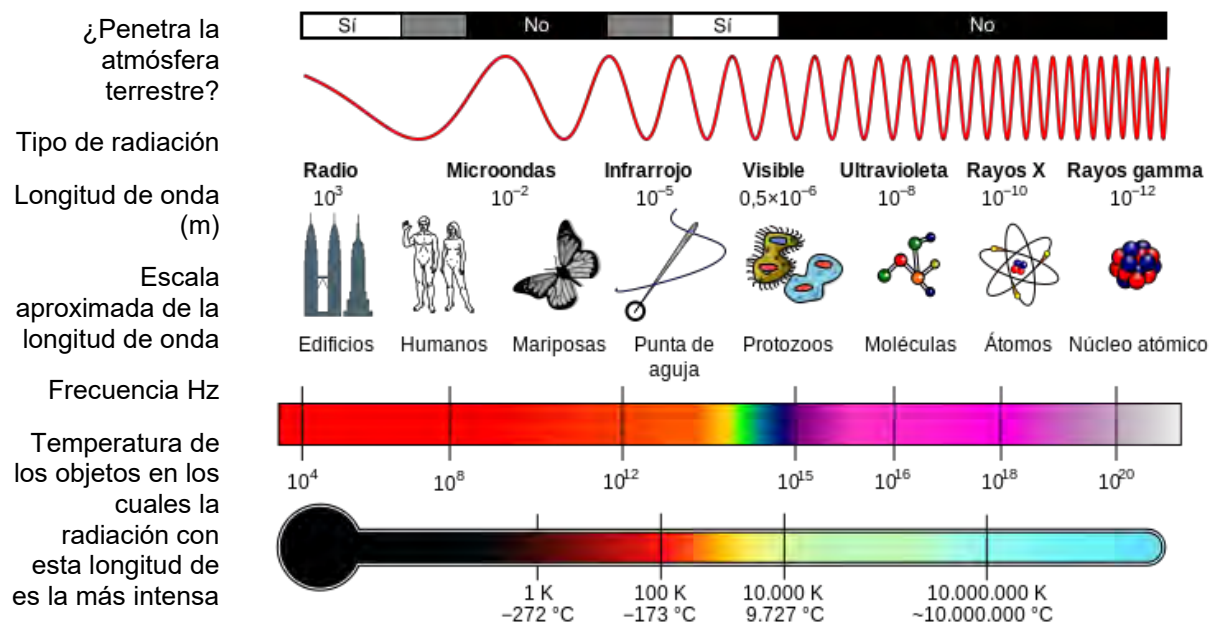


Figura 3.16 Diagrama del espectro electromagnético, imagen modificada de la NASA, dominio público (Inductiveload, 2008)

Es importante indicar que la atmósfera de la tierra absorbe la mayoría de estas ondas y que el ozono es el responsable de filtrar la radiación ultravioleta.

El punto de partida de la detección remota fue con los satélites de la NASA, en 1998, donde la EPA (Environmental Protection Agency) y LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory), solicitan su participación para la recabar datos por detección remota para cuantificar la temperatura de las superficies, el albedo, el número de respuesta térmica y la vegetación NDVI (cálculo de índice de vegetación) de tres ciudades de Estados Unidos, Salt Lake City UT, Sacramento, CA y Baton Rouge LA.

El plan piloto tuvo la finalidad de modelar varios escenarios, utilizando la información de los satélites para cuantificar los beneficios potenciales de las medidas de mitigación de las islas de calor urbano en términos de reducción del uso de energía y contaminación (Gorsevski, Taha, Quattrochi, & Luvall, 1998).

Al utilizar los datos de infrarrojos y térmicos del radiómetro avanzado de muy alta resolución (AVHRR) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) o del satélite



ambiental geoestacionario orbitante (GEOS) para medir y mapear la respuesta de energía térmica de la superficie urbana.

Su efectividad se puso a prueba, cuando la EPA, NASA, y LBNL, proponen en el plan piloto los siguientes objetivos a cubrir:

- Categorizar el uso del suelo en toda la ciudad;
- estimar las áreas de máximo potencial para superficies reflectantes y forestación urbana;
- identificar qué organizaciones dentro de la ciudad, serían apropiadas para ayudar a implementar las medidas de mitigación;
- esbozar y priorizar las estrategias políticas; y
- presentar programas potenciales que ofrecen el mayor potencial de refrigeración al menor costo ([Gorsevski, Taha, Quattrochi, & Luvall, 1998](#)).

Más adelante, la NASA utiliza el sensor Advanced Thermal and Applications (ATLAS) para obtener una alta resolución espacial (por píxel son 10m) de las ciudades. Los datos de ATLAS se recogen a través de vuelos de aeronaves sobre las áreas metropolitanas, una vez dentro de un período de 24 horas durante el cielo despejado a finales de la primavera y principios del verano. Los datos son recolectados a escala baja (1km de tamaño por píxel) alrededor del mediodía solar para medir las respuestas térmicas cuando la radiación solar incidente en su máximo.

Las notificaciones de bajo nivel se obtienen a lo largo de una trayectoria de vuelo que abarca un muestreo de usos de suelo urbanos. Los datos también se recogen a lo largo de la misma línea de vuelo a intervalos de 30 minutos para permitir la medición de las respuestas térmicas a corto plazo de diversas superficies, que posteriormente son analizadas para modelar las relaciones de flujo de energía, tales como la evapotranspiración de las superficies vegetadas. La importancia de la modelación es diferenciar mejor los sistemas urbanos y los no urbanos.

Los estudios que exploran la capacidad de una alta resolución de rayos infrarrojos para medir de forma remota identifican puntos altos de temperatura, creando imágenes térmicas dentro de una ciudad; asumiendo que los patrones en la temperatura de la superficie terrestre coinciden con los patrones de la temperatura del aire ([Coutts, y otros, 2016](#)).



3.2.3 Sondeos atmosféricos con RPAS

Un RPA procede del inglés Remote Piloted Aircraft, lo que se traduce como “aeronave pilotada remotamente”. Con esta definición se refiere a un subconjunto de vehículos aéreos no tripulados (VANT), o en inglés UAV (Unmanned Aerial Vehicle) generalmente conocidos como drones.

Según García et al. (2018) los drones están condicionados por cuatro factores que constituyen a su vez sus propias limitaciones:

- Su concepto de sustentación;
- el tiempo que se requieren en vuelo;
- las distancias o áreas que recorren; y
- su unidad de potencia:

La clasificación de estos se basa principal en dos variables: peso y tipo de sustentación (Figura. 3.17).

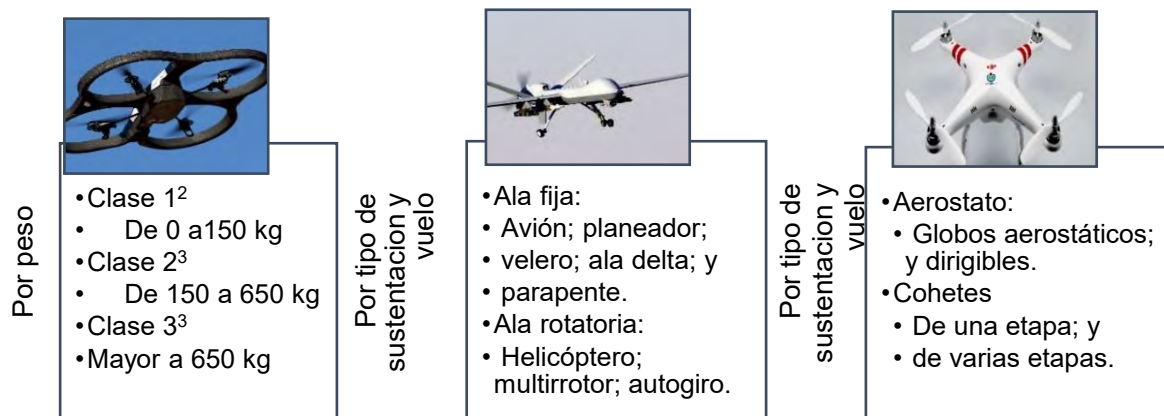


Figura 3.17 Clasificación de RPS por peso y tipo de vuelo. Fuente: (García, Muñoz, & Albares, 2018)

Para entender mejor el concepto de sustentación, los principios físicos que actúan durante el vuelo son la fuerza de sustentación, el peso, el empuje y la resistencia. Para que un dron sea capaz de volar, el empuje debe ser igual a la resistencia y la sustentación igual al peso, dando como resultado que la aeronave se encuentre en una situación de vuelo recto, nivelado y equilibrado (Figura 3.18).



Figura 3.18 Las cuatro fuerzas principales que actúan durante el vuelo. Fuente: (García, Muñoz, & Albares, 2018)

Detallando mejor la tipología anterior, los drones de alas fijas (avión) tienen como características principales

- El aprovechamiento de la interacción de un perfil alar con el aire para el efecto de la sustentación;
- la propulsión proporcionada por una hélice o conjunto de ellas en diversas localizaciones;
- aprovechamiento de la impulsión del motor más la suma de la proyección o sustentación que provoca el ala para volar, avanzar en su desplazamiento y sustentación;
- ventaja en mayor autonomía y posible mayor velocidad de desplazamiento; y
- incapacidad de vuelo estacionario y su desplazamiento es en un solo sentido el cual es hacia adelante ([Figura 3.19](#)).

ALA FIJA	ALA ROTATORIA	
	HELICOPTERO	MULTIRROTOR
		

Figura 3.19 Dron de alas fijas laterales y de alas rotatoria (helicóptero y multirrotor). Fuente: (Seitb, 2018).

Los de ala rotatoria (multirrotor) sus principales particularidades son:

- Sustentación basad en sus alas giratorias, estructuradas en pares para compensar los efectos contrarrotatorios aprovechando el empuje generado;



- se requiere una tarjeta controladora, que modifique el impulso en cada bloque motor/hélice para cambiar la sustentación, dirección, avance/retroceso, alabeos y ascenso/descenso del conjunto del multirroto;
- vuelo estacionario;
- sus desventajas son menor autonomía y mayor complejidad mecánica (Figura 3.20); y
- sobre sus motopropulsores generalmente están colocados en la punta de ataque del chasis o la estructura, la cual puede ser de esquema de estrella de tres puntos, aspa en W, rueda en 6, rueda en 8 y doblado de motores coaxiales contrarrotatorios (Figura 3.20).

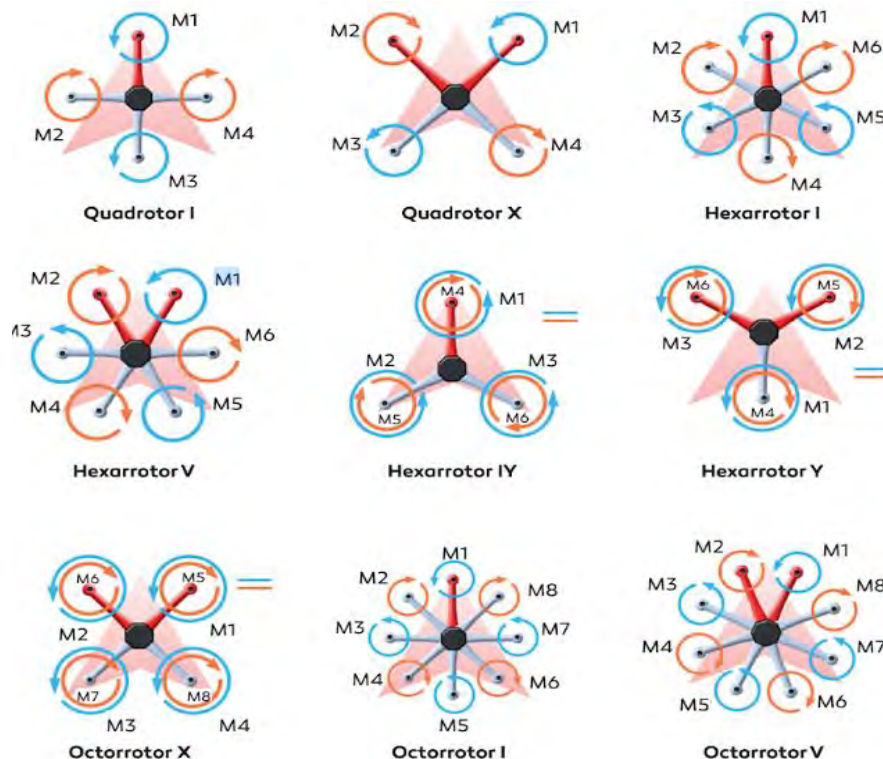


Figura 3.20 Diagrama tipo de estructuras en motores multirrotor. Fuente: (García, Muñoz, & Albares, 2018)

Hoy en día los científicos, prueban la combinación de los dos tipos de sustentación, ala fija y rotatorio, encontrándose en proceso de diseño los llamados híbridos, los cuales pretenden alcanzar los mejores rasgos de ambos sistemas, los cuales son:

- Presentar una mezcla de sistemas de sustentación, mejorando su control de posición, capacidad de sustentación y maniobrabilidad;
- sus tipos de fuente de potencia y energía son de menor consumo de carburantes fósiles;



- mejorar el sistema de despegue y aterrizaje, donde ahora se puede operar desde cualquier superficie;
- eficientizar el vuelo de ala fija; y
- perfeccionar el sistema de propulsión basado en multirrotor que permite aterrizar y despegar en VTOL por sus siglas en inglés Vertical Take-off and Landing ([Figura 3.21](#)).



Figura 3.21 Drones híbridos. Fuente: <http://www.cocherc.com/feria-nurembert-2017>, <http://www.xataka.com> y <http://drones.blog.emonde.fr>

En las últimas décadas, gracias al avance de la tecnología, nuevas metodologías de medición han surgido mejorando la instrumentación para la observación de la capa límite atmosférica, siendo el caso específico los drones.

El uso de aeronaves no tripuladas ha adquirido más fuerza y presenta grandes ventajas para la climatología, principalmente movilidad y la pasividad de realizar perfiles verticales y horizontales para variables como temperatura y humedad entre otros ([Quiroz, 2017](#)).

Para la recolección de datos meteorológicos en una región de interés a una misma altura mediante vuelos extendidos a una gran distancia, se utilizan los drones de alas fijas ([Figura 3.19](#)). Para la obtención de perfiles verticales en la atmósfera se utiliza un dron tipo ala rotatoria ([Figura 3.19](#)) que puede realizar ascensos verticales ([UNEP, 2013](#)).

Los drones multirrotor tienen la ventaja, como ya se comentó de permanecer estacionario en cierto punto de elevación, lo cual permite tener una mejor resolución para sondeos en la atmosfera baja, elevándose varios cientos de metros hasta kilómetros, dependiendo de su diseño.



A continuación, la [Tabla 3.2](#) que muestra los drones de acuerdo con su rango de alcance autónomo.

Tabla 3.2 Características de las tres clases generales de drones de acuerdo con sus rangos de alcance Fuente: (UNEP, 2013)			
Características	Rango cercano	Corto alcance	Alta resistencia
Rango	< 50 km	< 200 km	> 200 km
Tiempo de vuelo	30 – 120 min	8 a 10 hrs	> 24 hrs
Peso	< 5 kg	< 5,000 kg	< 105 ton
Velocidad	~60 km/h	< 485 km/h	< 730 km/h
Altitud	< 6 km	< 16 km	< 20 km
Costo (USD)	\$500 - \$7,000	< \$8 mil	< \$123 mil

3.3 Modelos climatológicos

Para la predicción de las temperaturas del aire urbano en sus diferentes escalas horizontales y verticales, como son la ICU y el cañón urbano. Se logran modelar y predecir con una serie de métodos que varían en complejidad.

Según Kolokotroni et al. (2010) se pueden clasificar en cuatro categorías:

- Modelos de climatología para mesoescala; debido a que el estudio de la presente investigación recae en una escala menor, no es descrito en el documento;
- modelos empíricos para microescala;
- modelos de dinámica de fluidos computacional (CFD) para meso y microescala; y
- métodos de regresión estadística para meso y microescala.

3.3.1 Modelos empíricos

Los modelos empíricos en la climatología urbana se basan en el uso de ecuaciones de balance de calor y coeficientes empírico-derivados de las investigaciones, son utilizados en diferentes escalas. Mucha investigación centrada en estos modelos deriva en tres leyes físicas básicas de los fluidos:

- Ecuación de continuidad donde indica que la masa se conserva.
- Ecuación de Momentum, ampliamente conocida como ecuación de Navier-Stokes.
- Ecuación de energía donde expresa su conservación.

La importancia de los modelos desarrollados para un cañón urbano radica en la necesidad de determinar el calor de almacenamiento. Estos no pueden ser medido directamente en



una mesoescala, debido a la complejidad de la superficie, introduciendo estos modelos para evaluar cómo las geometrías de los edificios afectan el clima urbano y viceversa, como el clima urbano afecta a las envolventes de los edificios (Gartland, 2008).

Los modelos de microclimas (cañones urbanos) estudian la configuración de la volumetría urbana y su comportamiento ante los flujos de calor, viento y contaminación. Su importancia radica, en la mejora de la comodidad eólica y térmica de sus habitantes, en la determinación del consumo eléctrico a gran escala, dispersión de contaminantes y de sus implicaciones en el cambio climático global.

Según Vallati et al. (2017) hay numerosos estudios sobre el microclima urbano. Estos investigadores consideraron que hay dos enfoques diferentes: mediciones experimentales y estudios numéricos. La mayoría de las simulaciones numéricas apuntan a la evaluación de las temperaturas del aire y la superficie en relación con la comodidad de las diferentes áreas urbanas, pero no al supusieron el análisis de los flujos de energía en diferentes superficies de revestimiento urbano.

El fenómeno térmico dentro de un cañón es determinado con las ecuaciones del balance de energía, donde se observa el comportamiento de transmisión de calor, entre las superficies verticales (paredes de las edificaciones), el área las superficies horizontales (pavimentos, calles, jardines, parques y estacionamientos), y el aire contenido entre ellos. Una de las primeras propuestas es el Modelo Histéresis Objetivo (OHM) donde introduce las temperaturas de las superficies, el sustrato, basado en las ecuaciones diferenciales de conducción térmica de Fourier (Arnfield & Grimmond, 1998).

Para el cañón urbano está el modelo de CTTC de Swaid y Hoffman (1990), modificado por Elnahas y Williamson (1997) y desarrollado posteriormente por Erell y Williamson (2006).

El primer modelo fue analítico, considerando el tiempo como una constante dentro de un cañón, (CTTC por sus siglas en inglés Cluster Thermal Time Constant) para expresar la inercia térmica de la estructura física urbana.

La modificación de este modelo fue propuesta por Elnahas y Williamson (1997), incorpora una constante de tiempo térmica para predecir las variaciones de temperatura en la capa



vegetal del dosel, mediante la ubicación de dos estaciones meteorológicas (una urbana y otra rural), proponiendo las siguientes ecuaciones:

$$T_a(t)_{urb} = T_b + \Delta T_{sol}(t)_{urb} - \Delta T_{1w}(t)_{urb} \dots\dots\dots \text{Ec. 15}$$

$$T_a(t)_{met} = T_b + \Delta T_{sol}(t)_{met} - \Delta T_{1w}(t)_{met} \dots\dots\dots \text{Ec. 16}$$

Donde:

$$T_a(t)_{urb}$$

$T_a(t)$ = Temperatura dada por la localización.

T_b = Temperatura de la mesoescala.

ΔT_{sol} = Contribución radiativa neta de la onda corta a la temperatura local.

ΔT_{1w} = Contribución radiativa neta de la onda larga a la temperatura local.

Combinando las dos ecuaciones anteriores, se obtienen:

$$T_a(t)_{urb} = T_a(t)_{met} + (\Delta T_{sol}(t)_{urb} - \Delta T_{sol}(t)_{met}) - (\Delta T_{1w}(t)_{urb} - \Delta T_{1w}(t)_{met}) \dots\dots\dots \text{Ec.17}$$

El modelo CAT (por sus siglas en inglés Canyon Air Temperature), basado en la ecuación anterior, es calculado como el producto del flujo de calor sensible en la superficie y un coeficiente que describe la resistencia a la transferencia de calor turbulento. Precisa que este coeficiente es determinado mediante la relación de temperatura de una ubicación urbana ($T_a(t)_{urb}$), y a una estación meteorológica cercana ($T_a(t)_{met}$) sumergida en la misma mesoescala con las mismas condiciones climáticas. Su ecuación es:

Erell y Williamson (2006) mencionan que este mismo método puede emplearse para expresar las diferencias resultantes de otros modificadores de las condiciones microclimáticas locales, como, por ejemplo, el calor antropogénico, el equilibrio hidrológico o los efectos de la vegetación, que pueden afectar el calor latente. Los insumos requeridos por el modelo comprenden dos categorías separadas:

- Series temporales que describen las condiciones meteorológicas en el sitio de referencia, incluida la temperatura del bulbo seco del aire, la humedad relativa, la velocidad del viento, la radiación solar global, difusa en un plano horizontal, y la nubosidad.



- Características del sitio que describan el contexto urbano que se simula. Incluye: a) la ubicación geográfica (latitud y longitud); b) densidad de construcción; c) relación de aspecto del cañón; d) relación de paredes externas masivas al área del sitio; e) propiedades del material, como el albedo superficial; f) coeficientes del modelo de histéresis objetiva (OHM por sus siglas en inglés Objective Hysteresis Model) del almacenamiento térmico (Grimmond, Cleugh, & Oke, 1991); g) factores hidrológicos que afectan la parcelación del flujo de calor turbulento en calor latente y calor sensible, y h) los coeficientes del modelo LUMPS por Grimmond y Oke (2002).

Según Boehme et al. (2015), todos estos modelos asumen cierta homogeneidad dentro de la escala más pequeña, en términos de geometría de componentes de construcción, distribución espacial de emisiones térmicas antropogénicas y dependencias temporales, sin embargo el calor antropogénico, considerado en la mayoría de las veces dentro de los modelos presenta desacuerdo entre los expertos sobre la magnitud de aportación calorífica al ICU (Quah & Roth, 2012), (Zhou, Weng, Gurney, Shuai y Hu, 2012), (Rode, Keim, Robazza, Viejo y Schofield, 2014), (Hamilton y col., 2009; Kotthaus & Grimmond, 2012)) y (Oke, 1973, 1982; Santamouris, 2001).

Recientemente, el modelado de los cañones es un conjunto de ecuaciones con más variables. Incluyen los valores de las superficies artificiales (techos, paredes y pavimentos) y las superficies naturales que son: de altura, longitud, capacidad térmica, albedo o reflectancia, emisividad térmica y humedad. Se debe indicar la orientación del cañón, así como el conocimiento de las temperaturas y la radiación en la zona de estudio.

En la investigación de kusaka y Kimura (2004), determina que la estructura del cañón es tan significativa como el calentamiento antropogénico, incorporando un modelo de escala de dosel, a uno atmosférico bidimensional simple para examinar los impactos individuales de la microescala en la formación de la ICU. A continuación, se presentan en las [Figuras 3.22 y 3.23](#) esquemas de temperatura y radiación de los modelos de dosel urbano de una sola capa.

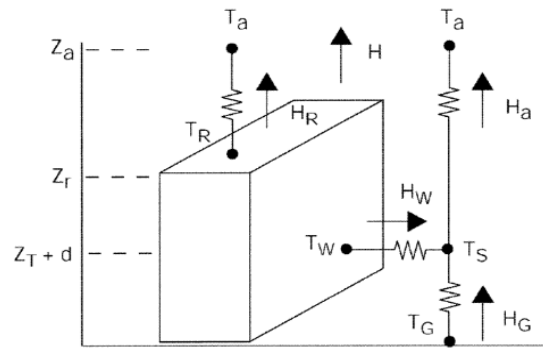


Figura 3.22 Esquema del modelo de dosel urbano de una sola capa. Fuente: (Ichinose, Shimodozono, & Hanaki, 1999)

Donde:

T_a = Temperatura del aire a la altura de referencia z_a .

T_R = Temperatura del techo del edificio.

T_W = Temperatura de la pared del edificio.

T_G = Temperatura del camino.

T_S = Temperatura definida en $z_T + d$.

H = Intercambio de calor sensible a la altura de referencia.

H_a = Flujo de calor sensible desde el espacio del cañón a la atmósfera.

H_w = Flujo de calor sensible desde la pared hasta el espacio del cañón.

H_G = Flujo de calor sensible desde la calle hasta el espacio del cañón.

H_R = Flujo de calor sensible desde el techo hasta la atmósfera.

(i) $I_{\text{shadow}} < I_{\text{road}}$ (ii) $I_{\text{shadow}} > I_{\text{road}}$

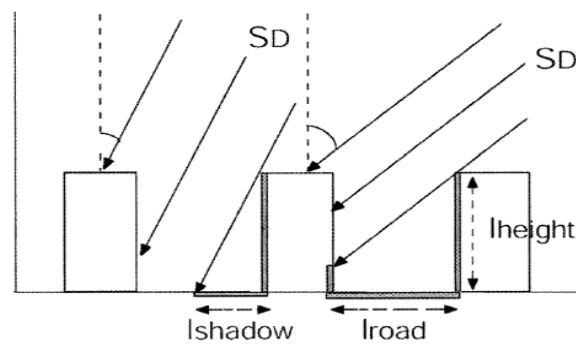


Figura 3.23 Radiación del modelo de dosel urbano de una capa. Fuente: (Ichinose, Shimodozono, & Hanaki, 1999)



Donde:

S_D = Radiación solar directa incidente en una superficie horizontal.

I_{road} = Ancho de la calle.

h_c = Altura normalizada del edificio ($I_{roof} + I_{road} = 1$).

I_{shadow} = Longitud de sombra normalizada en la calle.

3.3.2 Modelos computacionales

Los modelos computacionales son aplicados para cualquier escala y combinan el uso de ecuaciones propias del proceso de intercambio de energía dentro de la mecánica de fluidos y de la termodinámica.

Los primeros modelos atmosféricos a escala regional que usaban sistemas computacionales estaban pobremente representadas las superficies urbanas. Estos presentaban el área como una superficie plana (suelo) que simplemente tenía propiedades térmicas que correspondían a un promedio ponderado de los materiales de construcción en la ciudad.

En esfuerzos más recientes, los investigadores han incorporado esquemas de parametrización más sofisticados que buscan representar los complicados impactos de la morfología urbana en el intercambio de energía (Sailor, 2010).

Ahora, algunos son ligados con las estaciones meteorológicas, de mediciones móviles y sistemas de teledetección (satélites) para acceder a las variables como la radiación, la cobertura de nubes, entre otros.

Por último, en sus bases de datos, se encuentran las constantes o factores como el albedo, emisividad y reflectancia de los tipos de suelo de la ciudad, entre otros. Por ejemplo, MM (por sus siglas en inglés Meso-Scale Models), son usados recientemente para determinar si las medidas implementadas para mitigar la ICU en las ciudades, son efectivas, como la ventilación urbana, la gestión de dispersión de la contaminación y el reverdecimiento del área, en un lugar determinado.

Finalmente se diseña un modelo de regresión para analizar la temperatura de la superficie terrestre en relación espacio-tiempo, asociada con los parámetros de posición geográfica, cobertura de suelo, volumen de los edificios, orientación y liberación de calor antropogénico (Voogt & Oke, 2003).



Los primeros modelos de mesoescala, incorporaban las ecuaciones hidrostáticas donde se despreciaba el movimiento en la escala vertical frente a la horizontal. (Guerrero, García , Matellán , & Sanchez, 2012). Al disminuir la escala de la rejilla, malla o red, se consideraban los movimientos verticales como es el caso del modelo MM₅-CAMx creado por la Universidad de Pennsylvania y The National Center for Atmospheric Research (Dudhia, 1993).

Un objetivo general de todos los sistemas de modelado computacional es erradicar la brecha entre la integración y acoplamiento con las demás escalas (Tabla 3.3).

Logrando una simulación exacta de la realidad de acuerdo con la interacción de los fenómenos de las otras capas en sus diferentes escalas urbanas.

Los cuales perturban el comportamiento de los resultados del objeto de estudio que se está simulando en ese nivel (Mirzaei, 2015).

La simulación en la microescala es una herramienta muy eficaz para corroborar las técnicas de mitigación como el efecto térmico de las envolventes verdes.

Un ejemplo es el estudio de Alexandri y Jones (2008) desarrollado en Atenas, Grecia, proponiendo un modelo bidimensional. Se analizaron las características climáticas de nueve ciudades, y en cada una se utilizan tres geometrías de cañón urbano, dos orientaciones de cañón y dos direcciones de viento; para observar el efecto térmico de los techos y paredes verdes sobre el entorno construido, dentro del interior del cañón y sobre el nivel del techo.

En la actualidad, estos simuladores caen en la categoría de modelos de desarrollo de Microclimas (MCM), estos softwares utilizan los patrones de fluido basados en sistemas de ecuaciones diferenciales parciales de la dinámica de fluidos de Navier y Stokes (Mirzaei, 2015).

Ejemplo de ello, es el CITYgreen (2002) y el i-Tree (2007) basados en los sistemas geográficos de información (GIS), los cuales determinan como las áreas verdes reducen los impactos de las lluvias, mejoran la calidad del aire y reducen la carga energética en un área urbana (Gartland, 2008).



Tabla 3.3 Objetivo de integración de software para la observación en el estudio del clima urbano en sus diferentes escalas y parámetros de análisis del medio ambiente. Modificado de Fuente: (Srivanti, 2013).

Niveles de observación	Objetivo	Parámetros de análisis
Edificios.	Diseño de la forma.	Localización Materiales Tipo de edificio Diseño (forma, orientación) Comportamiento de ocupación
Bloque de edificios, Cañón urbano, vecindario o distritos.	Confort y salud en exteriores.	Emplazamiento del edificio Paisaje exterior (espacios abiertos y vegetación) Materiales y superficies Dimensiones de calles y orientación Áreas sombreadas
Ciudad.	Un enfoque de patrón de desarrollo urbano basado en el clima.	Zonificación Diseño, forma y patrón en general Guía de diseño en densidad, alturas, usos de suelo y espacios verdes Infraestructura verde Política de transporte

Para las edificaciones, desde hace más de 50 años, se empezaron a utilizar programas para valorar su eficiente comportamiento energético. Uno de los programas trascendentales fue el DOE, desarrollado en 1996 por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, cuya finalidad era estimar los ahorros energéticos de cada construcción, para la adecuada toma de decisiones en su diseño (Gartland, 2008).

Actualmente, los programas tienen diferentes herramientas y estiman diferentes aspectos de los edificios, considerando parámetros como las variables internas y externas, la ubicación geográfica, los datos climáticos, las características de la envolvente (materiales y geometría), el tipo de iluminación natural y artificial, el flujo de aire, el tipo de ventilación, sistemas eléctricos, equipos de aire acondicionado y condiciones de operación, es decir, actividades de los usuarios (Crawley , Hand, Kummert , & Griffith, 2008).

La realización de una simulación energética permite hoy en día, obtener información sobre consumos, costos de energía y de producción, para mejorar la comprensión de los factores que contribuyen a la variación de los índices energéticos de las instalaciones consumidoras de energía. Es importante determinar los balances energéticos de las instalaciones consumidoras de energía y de la geometría de los elementos constructivos, cerramientos y vanos, para identificar las áreas de oportunidad en el diseño. Por último, determinar y



evaluar económicamente el costo-beneficio alcanzable y las medidas técnicamente aplicables para lograrlo.

Existen muchos programas como son: ESP-R (1977), TAS (1984), IES-VE (VE-WARE 1994), CASANOVA (2000), HEED (2003), DESIGNBUILDER con E+ (2005), ECOTECT (2008), GREEN BUILDING STUDIO (2008), OPEN STUDIO con E+ (2008), VASARI (2010), BEOPT con E+ (2011) y DESIGN ADVISOR (2012) entre otros más ([García Alvaro, González, Bustamente, Bobadilla , & Muñoz, 2014](#)). A pesar, de que no todas las evaluaciones ofrecidas por estos programas son aceptadas para conseguir una certificación ambiental como la ofertada por la LEED (por sus siglas en inglés Leadership in Energy an Environmental Design).

Los modelos de dinámica de fluidos computacional o CFD (por sus siglas en inglés Computational Fluid Dynamics). permite una simulación del flujo de fluidos y de la transferencia de calor. Puede calcular fácilmente las fuerzas de fluidos y comprender el impacto de un líquido o gas en el rendimiento de un producto. Estos modelos, tienen origen a partir de la combinación de dos distintas disciplinas, mecánica de fluidos y cálculo numérico.

La dinámica de fluidos computacionales se basa en ecuaciones que gobiernan el flujo de los fluidos como: la de transporte, representada por el símbolo Φ . Al no existir una solución analítica es necesario resolverlo por medio del método de discretización. Los métodos de discretización más difundidos son el método de las diferencias finitas, el método de los elementos finitos y el método de los volúmenes finitos, siendo este último el más utilizado en Dinámica de Fluidos Computacional. Con esos métodos, se intercambia el dominio continuo por uno discreto, donde un conjunto de volúmenes de control es utilizado para representar el dominio original, como puede ser observado en la [Figura 3.24](#).

La forma algebraica de la ecuación presentada anteriormente es resuelta en cada uno de los volúmenes de control, generando un sistema de ecuaciones que debe ser resuelto numéricamente. Esas ecuaciones son resueltas con el apoyo de softwares, los cuales poseen capacidad para solucionar rápidamente y con precisión.

Según Kessler ([2016](#)) para el desarrollo del modelo computacional se ejecutan las siguientes fases o paso:

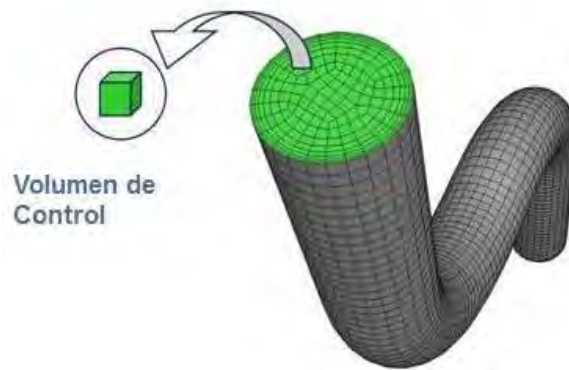


Figura 3.24 El dominio es discretizado en pequeños volúmenes y la ecuación algebraica es resuelta para cada uno de esos elementos. Fuente: (Kessler, 2016).

- Elaboración del modelo en 3D y definición de las variables a encontrar;
- Incorporar la información base, así como las constantes;
- Definir el número de volúmenes de control a ser usado para el análisis, por medio del estudio de convergencia de malla. Es decir, se analiza el mismo caso con mallas de refinamientos diferentes y se comparan los resultados. Cuando el resultado entre dos refinamientos de malla no sufre una gran alteración, se dice que la convergencia de malla fue alcanzada;
- Determinación de la configuración física del modelo, de las condiciones de contorno. Luego se resuelve el sistema de ecuaciones a través de un proceso iterativo, hasta la convergencia, o sea, cuando la variación de los resultados entre dos iteraciones consecutivas queda dentro de los límites en un criterio establecido por el usuario; y
- La etapa final es la de postprocesamiento, cuando los resultados son evaluados por medio de herramientas como vectores, líneas de corriente, distribuciones de colores, planos de corte, isosuperficies, etc.

Erell y Williamson (2006), comentan que esta herramienta ha sido usada para la definición del cañón urbano por Bruse y Fleer en 1998). En la misma línea se ha publicado varios trabajos de investigación que han utilizado técnicas de CFD; como Chan (2001, 2003); Dimoudi y Nikolopoulou (2003); Takahashi (2004) y Xieet (2005). Consideran que la dificultad más importante que debe superarse es la descripción de las condiciones de contorno, porque en un entorno urbano complejo a menudo no se conocen con suficiente precisión. A diferencia de la mayoría de los métodos analíticos, CFD requiere que todos los flujos relevantes se calculen a la escala apropiada en una rejilla tridimensional completa.



La representación geométrica del entorno urbano es de dos y tres dimensiones. Las dimensiones del cañón se dan solo en la sección transversal (la longitud en la dirección del eje longitudinal principal se considera semi infinita). Sin embargo, el tratamiento del viento en el cañón es completamente tridimensional, como lo es la incorporación de la posición solar.

Un ejemplo de esta metodología fue utilizando por Takahashi et al. (2004), donde en el verano de 2002, analizaron en la ciudad de Kioto, Japón para el desarrollo del modelo CFD se ejecutaron las siguientes actividades:

- Un espacio comercial mezclado con edificios residenciales tradicionales de poca altura que representa el área urbana de Kyoto;
- un área de campus universitario con muchos espacios verdes; y
- una plaza cubierta con una losa de concreto que se usó como punto de referencia de medición para el flujo de calor de la capa límite en las tres ubicaciones y las temperaturas de la superficie de los muros y calles.
- Para el análisis, se desarrolló un nuevo código de simulación combinando el intercambio de calor entre el flujo de aire mediante la dinámica de fluidos computacional (CFD). Al usar este código, la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y el calor de la capa límite se predijeron y se compararon con los resultados medidos. Determinaron que este modelo podría predecir el entorno real del área urbana.

3.3.3 Métodos estadísticos

Los métodos estadísticos son utilizados para describir datos, cuantificar la incertidumbre, deducir inferencias, ayudan a la comprensión de los complejos fenómenos, analizar los datos para sugerir la existencia de relaciones entre las variables, y su objetivo principal es ayudar a la predicción.

Las redes neuronales son sistemas computacionales que simulan de una manera simple: la estructura y las funciones del cerebro humano. Por lo tanto, se consideran capaces de modelar procesos complejos no lineales. Procesos que pertenecen a la clase de enfoques basados en datos en lugar de métodos basados en modelos, porque el análisis y los resultados dependen de los datos disponibles. El proceso de cálculo aborda el uso de algoritmos tales como una percepción o una retropropagación.



Uno de los primeros modelos de redes neuronales para estudiar el fenómeno de Isla de Calor en Atenas, Grecia fueron desarrollados por Mihalakakou et al. (2002), incluyendo la estimación de la intensidad de la ICU en 23 estaciones del periodo de 1997 a 1998. La circulación atmosférica diaria a escala sinóptica (también llamada escala grande o ciclónica, con una longitud horizontal del orden de los 1,000 km o más) en la troposfera inferior durante el período de estudio se clasificó en ocho categorías estadísticamente distintas:

- Canal de onda larga;
- flujo hacia el suroeste;
- flujo del noroeste;
- flujo zonal;
- flujo cerrado;
- alta presión;
- anticiclón cerrado; y
- categoría alta-baja.

Para desarrollar este modelo de red neuronal se consideraron los siguientes datos de entrada:

- Circulación atmosférica a escala sinóptica;
- Temperatura del aire ambiente medida en cada estación;
- Temperatura del aire ambiente medida en la estación de referencia;
- Valores máximos diarios de radiación solar total; y
- Valores diarios medios de la velocidad del viento.

Por todo lo anterior podemos decir que la circulación a escala sinóptica es una entrada de dato predominante como parámetro, afectando considerablemente la intensidad la ICU. Además, García et al. (2009) aseguran que la alta presión favorece principalmente el fenómeno y la categoría de viento de norte intenso es responsables de su manifestación o terminación.

La Q_{FV} , factor causante de la alteración del balance de energía y gran contribuyente de la ICU tanto atmosférica como superficial, según Koralegedara, Lin, Sheng, & Kuo (2016) se encuentran **4 metodologías estadísticas**:

Enfoque basado en inventarios ascendente. Utiliza datos de consumo de energía superficial. Se obtiene a través de una mayor resolución temporal y espacial a nivel de



edificio para posteriormente promediarla con una escala mayor. Los insumos de información incluyen tráfico (diario/hora), propiedades de vehículos y datos de combustible. Ejemplos de estos métodos son: (Grimmond C. , 1992); (Quah & Roth, 2012); (Sailor & Lu, 2004). Algunos autores como Sailor (2011) considera que este procedimiento arroja mejores resultados, aunque es tedioso y largo.

Enfoque basado en inventarios descendente. Utiliza datos de consumo de energía de una ciudad o región y estima el Q_{FV} a una escala más fina mediante la aplicación de indagación espacial cuadriculada, con las densidades de población y tráfico. Una de sus deficiencias es que las distribuciones espaciales y temporales de la Q_{FV} estimada puede diferir de los valores reales porque las entradas no representan el consumo real de energía de la realidad. Ejemplos tales como: (Lindberg & Grimmond, 2011); (Fan & Sailor, 2005); y (Sailor y Lu, 2004). Una variación de este es el modelo de consumo de energía a gran escala (LUCY) utilizado por (Allen, Lindberg, & Grimmond, 2011); (Lindberg F. , Grimmond, Yogeswaran, Kotthaus, & Allen, 2013).

Modelado del balance de energía. Es un método teóricamente más simple y directo. Calcula la Q_{FV} como un término residual de la ecuación de equilibrio de la energía urbana descrita por Oke (1987). Tal enfoque requiere medir flujos de calor latente y sensible y modelar tanto el almacenamiento de calor como el de advección, en otras palabras, consiste en la medición de la radiación neta dentro de un volumen delimitado por un radio en torno a la estación de medición (Figura 3.25). Este método se puede combinar con información satelital Algunos ejemplos son: (Kato, y otros, 2004); (Kato & Yamaguchi, 2005); (Offerle, Grimmond, & Fortuniak, 2005); (Pigeon, Legain, Durand, & Masson, 2007); (Kato S. , Yamaguchi, Liu, & Sun, 2008); (Zhou, Weng, Gurney, Shuai, & Hu, 2012).

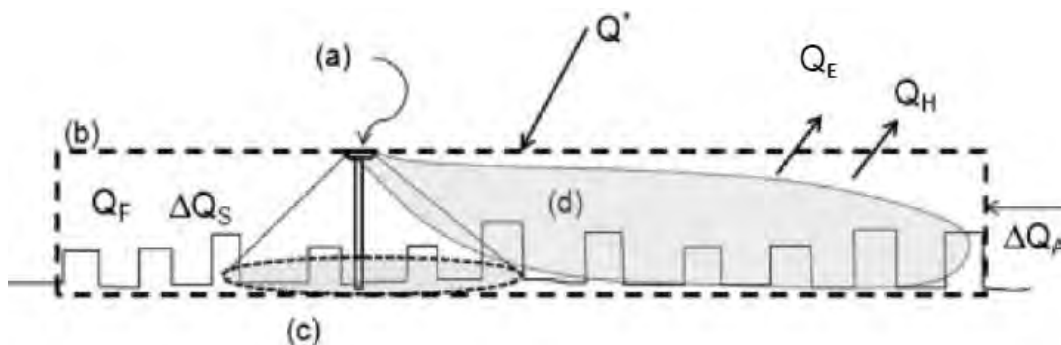


Figura 3.25 Balance energético urbano en un volumen de control cercano a una torre micrometeorológica, donde a) a) Volumen nominal de control, b) Medición de radiación, y c) Flujo turbulento. Fuente: (Sailor, 2010).



Regresión estadística. Diseñado por Lee, McKeen, & Sailor (2014) tiene como base que la combustión de fósiles genera Q_{FV} y contaminantes atmosféricos tales como monóxido de carbono (CO) y óxido de nitrógeno ($NO_x = NO + NO_2$), en este caso, se utiliza el Inventario Nacional de Emisiones (NEI) de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) aplicando con éxito este enfoque novedoso para la estimación Q_{FV} a la ciudad de Houston en Texas y, posteriormente, a una gran mayoría de ciudades de América (Lee, McKeen, & Sailor, 2014). El autor afirma que el método de regresión simple no involucra el esfuerzo intensivo requerido en los enfoques tradicionales de estimación Q_{FV} de inventarios. Además, las estimaciones cuadriculadas de Q_{FV} pueden servir como entradas para el modelado meteorológico y ambiental de mesoescala; y con ajustes específicos, el método de regresión puede aplicarse fácilmente a las regiones en las que se dispone de inventarios de emisiones de alta resolución.

La estimación basada en la construcción de modelos energéticos para la edificación urbana. Con este enfoque se trata de dar mayor certidumbre al calor generado por la edificación, mediante la modelación del consumo energético y el calor expulsado. Algunos ejemplos en los que se ha utilizado este último método, que se conoce también como alcance de abajo hacia arriba son los desarrollados por Clark et al. (1985), Grimmond (1992), Harrison et al. (1984), Fujino et al. (1996), Hiramatsu et al. (1992), Ichinose et al. (1994), y Klysik (1996) para Nueva York, Vancouver, Londres, Tokio, y Lodz respectivamente. Estos estudios requirieron de un enorme esfuerzo en la obtención de la información de consumo de energía a nivel de construcción (Sailor & Lu, 2004).

3.3.4 Métodos experimentales

El enfoque experimental como las simulaciones en túneles de viento y tanques de agua han sido usadas para describir la presión que se ejerce sobre un fluido y su dispersión. Siendo utilizados en situaciones reales como la simulación del comportamiento del viento dentro de un cañón urbano.

Estos enfoques son confiables pero algunas veces son muy costosos, y presentan dificultades técnicas, por lo tanto, pasan varios años antes de que se configure adecuadamente un experimento y se resuelvan todos los problemas técnicos.



3.4 Normatividad

Para apoyar la validez de las mediciones realizadas en un entorno urbano, se considera la **Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos** avalada por la Organización Metrológica Mundial (OMM, 2014) del capítulo Sistemas de Observación subcapítulo 11, Observaciones Urbanas.

Según la guía “*los servicios meteorológicos tienen dificultades para llevar a cabo observaciones urbanas cuyos resultados sean perfectamente confiables*”, esto ocurre porque en la mayoría de las localizaciones desarrolladas no es posible atender a las directrices indicadas por normas con respecto a la selección del emplazamiento y a la exposición de instrumentos, debido a circunstancias tales como la obstrucción del flujo de aire y el intercambio de radiación que causan edificios y árboles, la presencia de una cubierta superficial, y los excedentes de calor y de vapor de agua que emiten las actividades humanas.

Recalca la necesidad de flexibilidad, debido a que en los espacios urbanos es necesario exponer los instrumentos en superficies y alturas no normalizadas, dividir las observaciones entre dos o más puntos, o acercarse más de lo habitual a los edificios o fuentes de calor artificial. Para la selección de la ubicación y posición de la estación, establece la necesidad de saber claramente la finalidad, ya sea para vigilar los efectos más representativos o típicos de una ciudad, los más intensos de un distrito o caracterizar un sitio determinado.

Para el primer caso, sugiere el uso de las Zona Climática urbana, con las siglas ZCU ([Figura 3.26](#)).

Zona climática urbana	Imagen	Clase de rugosidad	Relación de aspecto	% construido (impermeable)
1.Zona urbana intensamente construida con edificios muy juntos de gran altura con revestimiento, por ejemplo, torres de concreto		8	> 2	> 90%
2.Zona urbana densamente construida con edificios de entre dos y cinco plantas adosados o muy juntos, a menudo de ladrillo o piedra,		7	1.0 – 2.5	> 85%



ejemplo el centro histórico de la ciudad				
3. Zona urbana muy construida, densidad media con viviendas, locales y apartamentos en fila o unifamiliares, pero muy juntos, por ejemplo, edificaciones urbanas		7	0.5 – 0.20	70.85
4 zona urbana construida densidad media de grandes edificios bajos y estacionamientos por pavimentos por ejemplo centros comerciales, almacenes.		5	0.05 – 0.20	70-95
5 zona suburbana de construcción media de una o dos plantas, por ejemplo, vivienda suburbana		6	0.2-0.60 hasta >1 con arboles	35-65
6 uso mixto con grandes edificios en paisajes a vierto, por ejemplo, instituciones como hospitales, universidades, aeropuertos		5	0.10 – 0.50 depende de los arboles	<40
7 desarrollo semirrural, viviendas dispersas en zonas naturales o agrícolas, por ejemplo granjas, fincas		4	>0.05 depende de los arboles	<10
				

Figura 3.26 Clasificación simplificada de distintas formas urbanas por orden decreciente aproximado de su capacidad para afecta al clima local. Fuente: (OMM, 2014)

En relación con la medición de temperatura, en una ZCU muy edificada, *la estación de medición debe estar situada a sólo 5 o 10 m de los edificios de 20 a 30 m de altura*, si el emplazamiento estuviera situado en una calle tipo cañón, el valor de H/W será aplicable solo a la sección transversal perpendicular a la calle.

La orientación de la calle es muy importante debido a la presencia de sombra/sol, *por lo tanto, las calles con orientación norte-sur serán preferibles a las de orientación este-oeste*.



Para la medición de la humedad, menciona que los entornos urbanos son más sucios en partículas de polvo, aceites y contaminantes, por lo que los higrómetros pueden sufrir alteraciones constantes y se debe considerar la sustitución periódica de los mismos.



IV. METODOLOGÍA

4.1 Enfoque de la investigación

Este capítulo presenta el proceso metodológico que sigue el presente trabajo, explicando el plan de acción y los pasos de cada subcapítulo. Proporciona una visión general del método de investigación, describiendo las variables, universo de estudio, herramientas de recopilación y procesamiento de la información recabada en campo, propuesta de acuerdo con el estado del arte y el marco conceptual.

Basándose en Hernández Sampieri et al. (2014), la tesis planteada se define como correlacionar y explicativa porque sus alcances, propósito y valor se basa en su metodología de acuerdo con la [Tabla 4.1](#).

Tabla 4.1 Propósitos y valores de los diferentes alcances de las investigaciones Fuente: (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 97)		
Alcance	Propósito de las investigaciones	Valor
Correlacionar	Su finalidad es conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto específico	En cierta medida tiene un valor explicativo, aunque parcial, ya que el hecho de saber que dos conceptos o variables se relacionan aporta cierta información explicativa.
Explicativo	Está dirigido a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables	Se encuentra más estructurado que los demás alcances (de hecho, implica los propósitos de éstos); además de que proporciona un sentido de entendimiento del fenómeno a que hace referencia

Según la literatura revisada, se observa que las metodologías para la obtención de Q_F y Q_{FV} son enfocadas a una mesoescala, sin embargo, el valor dentro de una misma ciudad es muy variado y depende del nivel de observación.

En palabras de Stewart y Oke (2012) la magnitud de Q_F , varía de acuerdo con la extensión espacial del área de análisis, las formas y funciones urbanas que sobreyasen del consumo de energía, patrones de tráfico, dando como resultado un microclima. Su magnitud es inversamente proporcional a su escala de estudio, es decir, en microescala es más alta, mientras que disminuye cuando se promedia con los valores de una ciudad.



Por lo tanto, se utilizó una correlación de resultados, entre el método diseñado y propuesto en la investigación, y una metodología, la simulación mediante el software ANSYS (Figura 4.1).

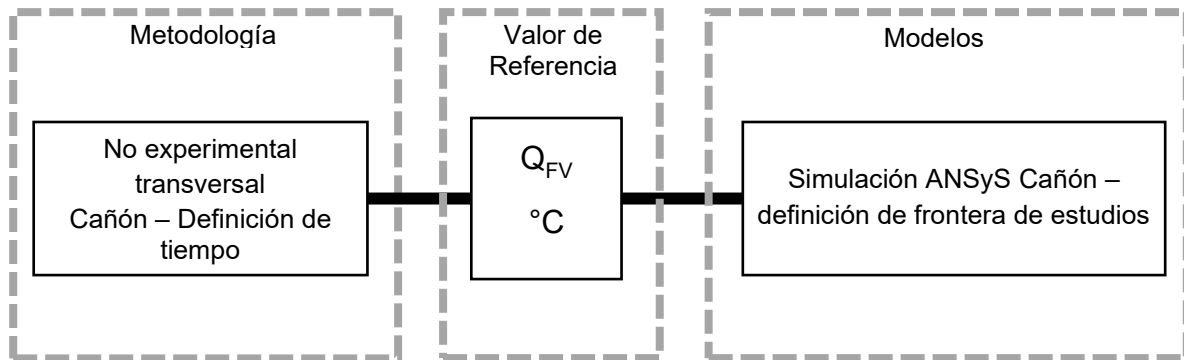


Figura 4.1 Esquema de la metodología y su correlación con otros modelos

A manera de resumen, la primera etapa de la metodología fue una revisión exhaustiva de la literatura de investigaciones teóricas relevantes, con el fin de comprender las aportaciones de la Q_{FV} en la dinámica de la ICU y su relación con las variables de diseño y meteorológicas en el modelo empírico del Balance de Energía en diferentes lugares del mundo. Información que sirvió de base para proponer una técnica de mediciones en campo simplificado para una escala menor y determinar la aportación del flujo de calor que aportan los autos dentro de una determinada calle.

La segunda etapa es la determinación de variables que permiten entender el fenómeno y el objetivo de la investigación. Subsiguientemente, se recopilan datos climatológicos y movilidad urbana a nivel mesoescala que sirvió para determinar y justificar el caso de estudio a nivel microescala (calle) inmerso en ese nivel. Para el área específica, el cañón urbano, se recaban datos de diseño como son densidad de construcción y relaciones de aspecto (altura, ancho y longitud).

En la cuarta parte, el análisis climático realizado permite determinar el periodo de mediciones, tanto en el periodo estacional como en el horario. Posteriormente, se describen los instrumentos, dispositivos utilizados y se define el protocolo de medición, para establecer los parámetros del sistema de medición del vuelo autónomo. Al ser un nuevo prototipo de medición, se determinan las ubicaciones y los lineamientos del estudio de campo. Cabe aclarar que se realizó una prueba de calibración, para afinar los datos finales. Por último, se presentan los resultados y conclusiones.



4.2 Características generales del método de medición en campo

Un objetivo fundamental de la tesis es el diseño de una metodología que determine el valor Q_{FV} a microescala dentro de un cañón urbano, permitiendo ser comparado con otros modelos y; aportar un valor de referencia para entender el fenómeno.

El método, diseñado a partir del marco teórico, es definido como no experimental con diseño transaccional. Fundamentado por la definición de Hernández et al. (2014) es clasificando por su dimensión temporal o el número de momentos o puntos en el tiempo en los cuales se recolectan datos.

Con ello, la metodología de Mediciones con Vuelo Automático (MeVA) logra:

- Analizar cuál es el nivel de modificación de la variable dependiente en un momento dado; y
- Evaluar el fenómeno en un punto del tiempo.

Es catalogado como un diseño transeccional o transversal porque recolecta datos en un solo momento durante un lapso interrumpido (Liu, 2008 y Tucker, 2004). Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un espacio temporal específico. Es como *“tomar una fotografía”* de algo que sucede.

Analizando diferentes estudios con metodologías basadas en mediciones en campo para el análisis de otras variables, se adecua el procedimiento para su aplicación en una microescala, calle; poniendo a prueba los alcances del desplazamiento autónomo de drones para áreas abiertas, aplicándolos en la recolección de variables ambientales.



4.3 Variables

Todas las variables están basadas en valores cuantitativos para lograr una objetividad en los resultados, en especial debido a su enfoque correlacional. Como toda investigación científica se ubican las variables independientes y dependientes, sin embargo, se anexa una tercera llamada de control o contexto (variable de tipo independiente por no ser manipulable), la cual son datos climatológicos para conocer el entorno durante la recolección de información ([Figura 4.2](#)).

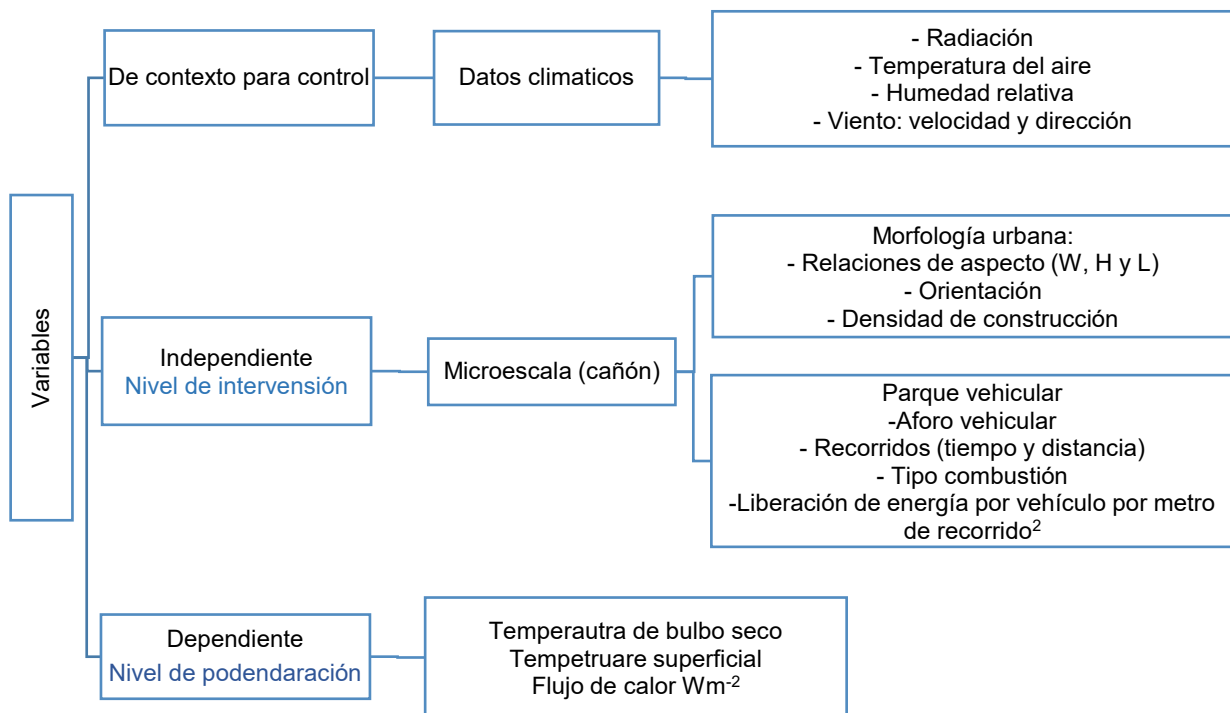


Figura 4.2 Variables de la metodología

4.3.1 Variables de control o contexto

Como se menciona anteriormente, estas variables no son manipuladas, pero si son posibles de monitorear y medir, permitiendo encontrar conclusiones que son expresadas y discutidas en el capítulo VI y VII. Estas son factores climatológicos que ayudan a entender el contexto donde se desarrollara las campañas de medición. Debido a que no es un experimento de laboratorio controlado, es una necesidad imperativa registrarlas.

- Temperatura de bulbo seco exterior. Es la medida con un termómetro convencional de mercurio o similar cuyo bulbo se encuentra seco, para la OMM (1992) la temperatura del aire es la medición leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación



solar directa. Los datos fueron tomados por una data logger U12-012, especificada más adelante en los [Anexo B](#).

- Humedad Relativa (HR) es la razón, expresada en porcentaje, entre la presión de vapor observada y la tensión del vapor saturado con respecto al agua a la misma temperatura y presión (OMM, 2011). Los datos fueron tomados por una data logger U12-012, especificada más adelante en los [Anexo B](#).
- Radiación global. Resulta de la suma de la radiación solar directa y difusa. La directa es la energía electromagnética emitida por el sol, que incide en el límite superior de la atmósfera terrestre; el 97% de ella se encuentra confinado en el intervalo espectral comprendido entre 290 y 3,000 μm y se denomina en ocasiones, radiación de onda corta). Una parte penetra a través de la atmósfera y llega a la superficie terrestre, mientras que otra parte se dispersa y/o es absorbida en la atmósfera por las moléculas gaseosas, las partículas de aerosoles, y las gotas de agua y cristales de hielo presentes en ella. La radiación difusa es la energía electromagnética de onda larga emitida por la superficie de la Tierra y por los gases, aerosoles y nubes de la atmósfera; es también absorbida parcialmente en la atmósfera (OMM, 2011). El equipo usado fue el Piranómetro CMP11 Kipp & Zonen, especificado en el [Anexo B](#).
- Viento. Esta variable, se requirió conocer en las mediciones de campo, para establecerla y fundamentarla en los modelos de simulación. La velocidad final, fue el promedio de velocidades que se generan dentro del cañón (la velocidad en el centro y las cuatro velocidades generadas en las esquinas donde se presentan los vórtices o turbulencias), valor expresado en m/s, y obtenido con el anemómetro PEAKMETER PM6252A, especificado en el [Anexo B](#).

4.3.2 Variables independientes

Morfología urbana. En este apartado se refiere a conocer los parámetros físicos del área de estudio que son mencionados en el marco teórico:

- Geometría o relación de aspecto. Las dos relaciones de aspecto que se analizaron son, H/W (relación entre la altura media de los edificios de la calle y el ancho de la vialidad) y L/H (relación entre la longitud del cañón y la altura media de los edificios). Esta información fue obtenida con datos oficiales del Ayuntamiento de la ciudad de estudio y corroborada por visitas de campo.



- Orientación. Disposición de la planta de un espacio arquitectónico ubicándose o reconociendo el espacio circundante con criterios astronómicos. Determinada por brújula.
- Densidad de construcción: Es la relación entre área del techo y el área de estudio denomina j . Información recabada de fuentes oficiales y de fotografías de sitios web oficiales.
- Parque vehicular. Describe la conformación de la flota vehicular, del área de estudio:
- Aforo vehicular. Número de vehículos que transitan durante el periodo de prueba. Información grabada con equipo de video, durante las campañas para realizar su recuento e identificación de tipología. Los datos como velocidad serán obtenidos del Estudio de Emisiones y Actividad Vehicular en el Puerto de Veracruz, Veracruz (INECC, DGICUR, & DICA, 2012)
- Liberación de energía por vehículo por metro de recorrido (EV), se obtuvo de la ecuación 11 (pág. 55), requiriendo datos como NHC (Calor neto de la combustión de la gasolina (J kg^{-1})), ρ_{fuel} (Densidad del combustible (kg l^{-1})) y FE (Consumo de combustible medio por kilómetro (km l^{-1})). Valores referenciados por Sailor y Lu (2004) y corroborado por estadísticas de instituciones oficiales.

Dentro del modelo de simulación, y teniendo como base los datos de campo, se manejó varios escenarios, manipulando las variables independientes, para observar su influencia sobre las dependientes.

4.3.3. Variables dependientes

- Temperatura de bulbo seco. Como ya se determinó, es la temperatura del aire, medición leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa, con la diferencia, que su medición se basa en un mallado hexagonal dentro del cañón urbano. Los valores fueron obtenidos con un dispositivo no comercial adosado al equipo de vuelo autónomo bajo un protocolo, definido en el subcapítulo 4.6.
- Temperatura superficial. Es la radiación infrarroja emitida por un objeto, en este caso mediante la información del LandSat 8 con sus bandas térmicas 10 y 11, se determina este valor en la superficie de rodamiento a nivel macroescala. También mediante un termómetro láser, se obtiene la temperatura superficial del cofre de los coches, los parámetros (emisividad del objeto, temperatura aparente reflejada, humedad relativa y temperatura de la atmósfera) proporcionados al equipo para determinar la temperatura



precisa, fueron los valores medios obtenidos de las fuentes oficiales y los datos de campo.

- Flujo de calor. Energía transportada en forma de ondas electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz. La radiación electromagnética que se considera aquí es la radiación térmica definida como la cantidad de energía que abandona una superficie en forma de calor radiante dependiendo de la temperatura absoluta y de la naturaleza de la superficie. El flujo de calor depende de la conductividad térmica k que es la propiedad física del medio $[W/m K]$, de la ley de conducción de Fourier.

4.4 Área de estudio

4.4.1 Definición del área de estudio: Macroescala

El municipio de Veracruz se localiza en el estado del mismo nombre, en el oriente de la República Mexicana, y en este lugar se localiza uno de los puertos de altura más importante de México, además de ser un destino turístico de importancia nacional.

Junto con el área urbana continua de los municipios de Alvarado, Boca del Río, Jamapa, Manlio Fabio Altamirano y Medellín, conforman la aglomeración urbana de Veracruz.

Veracruz, oscila entre las coordenadas al norte $22^{\circ} 28'$, al sur $17^{\circ} 09'$ de latitud norte; al este $93^{\circ} 36'$, al oeste $98^{\circ} 39'$ de longitud oeste.

La superficie del Estado es de 78,815 kilómetros cuadrados, representando el 3.7% de la superficie del país, su litoral es de 745 kilómetros de longitud y sus altitudes varían de 0 a 5,610 m, yendo del nivel del mar al volcán Pico de Orizaba (SEDECOP, 2017).

El estado presenta un clima muy variado por la forma alargada que posee y las diferentes altitudes del estado (Tabla 4.2a).

Tabla 4.2a Tipos de Climas en el Estado de Veracruz. Fuente: (SEDECOP, 2017)		
Total, de área %	Clima	Temperaturas medias Anuales
32%	Cálido húmedo	22° y $26^{\circ}C$
52%	Cálido subhúmedo	20° y $24^{\circ}C$
9%	Semicálido Húmedo	20° y $22^{\circ}C$
6%	Templado Húmedo	18° y $22^{\circ}C$
1%	Semifrío y frío	0° y $12^{\circ}C$

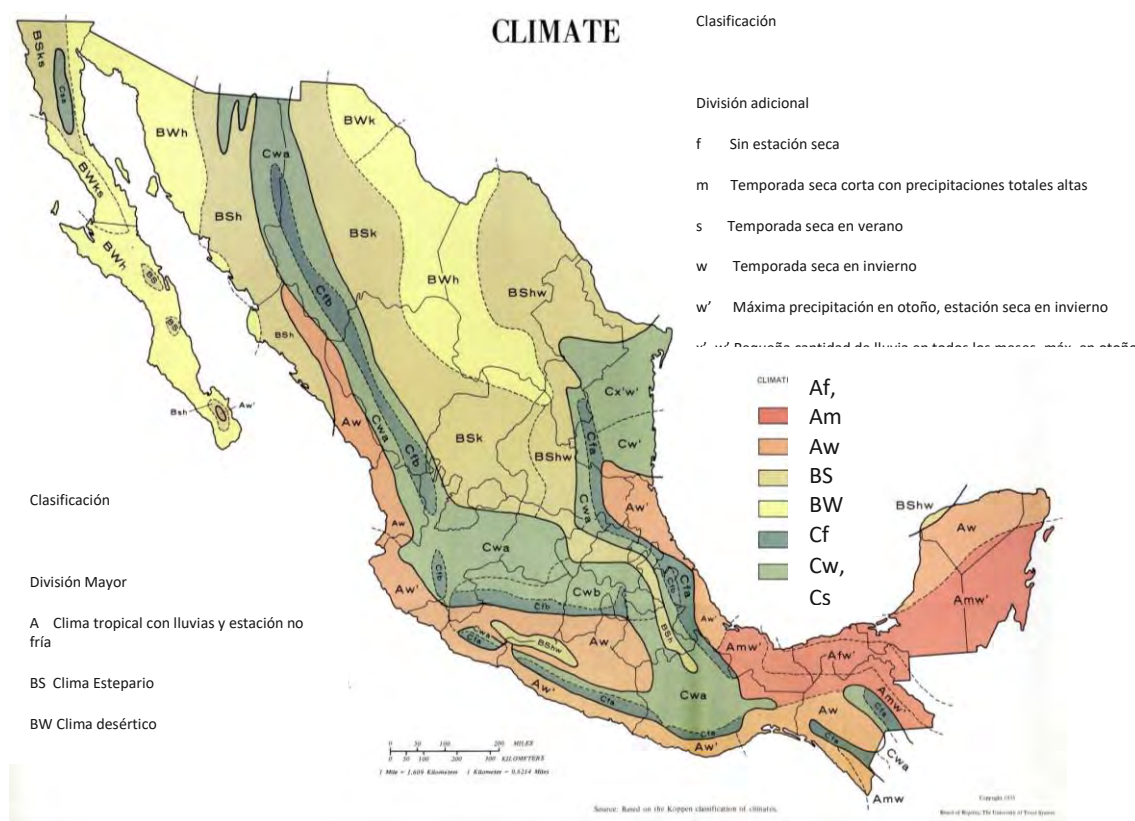


Figura 4.3a Clasificación de climas según Köppen. Fuente: (UTBBR, 1975)

4.4.2 Definición del área de estudio: Mesoescala

El área analizada es una calle ubicada en la ciudad y puerto de Veracruz. Su ubicación geográfica es: 19°10'51" latitud norte y 96°08'34" longitud oeste, y su altitud sobre el nivel del mar es de 15 m.

De manera global, cuenta con un clima tropical, con lluvia en verano, clasificado como Clima cálido húmedo mayor a 55.3% HR, por el Köppen-Geiger y con temperatura media anual es 25.4°C con una precipitación media de 1516 mm, siendo agosto, el mes con más lluvia con 360mm. Para definir mejor el clima de la mesoescala se recurre a la clasificación modificada en 1964 por la investigadora Enriqueta García, la cual refleja mejor las características climáticas propias de la República Mexicana (INEGI, 2005). Las [Figuras 4.3a y 4.3b](#) muestra los tipos de climas en México.

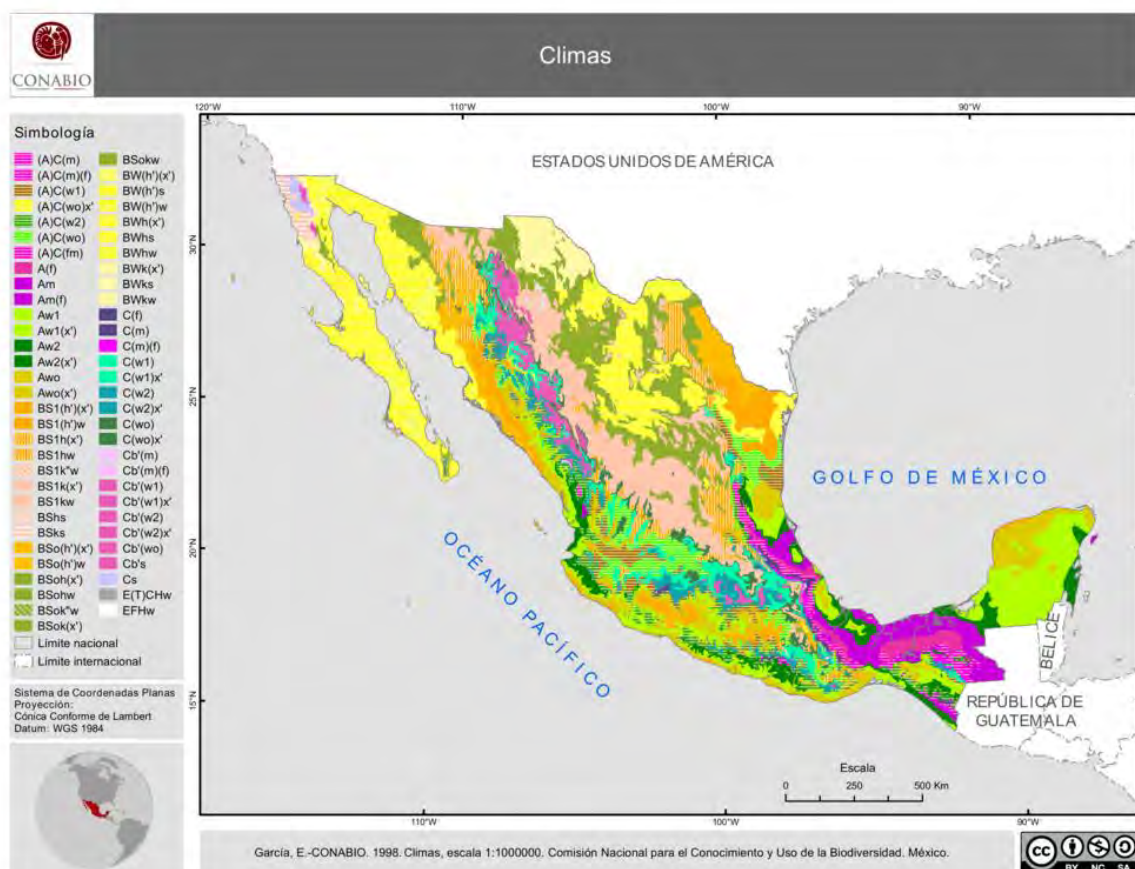


Figura 4.3b Mapa climatológico del INEGI, modificado por Enriqueta García. Fuente: (INEGI, 2005)

La [Tabla 4.2b](#) define los tipos de clima aceptados por el INEGI de manera general en la República Mexicana y la [Tabla 4.2c](#), muestra las subdivisiones de los climas del grupo A, a donde pertenece la ciudad y puerto de Veracruz. Logrando definir que Veracruz pertenece al grupo A, con tipo m, y subtipo w_o.

Tabla 4.2b Tipos de Climas en la República Mexicana. Fuente: (INEGI, 2005)		
Grupo de Köppen	Subdivisiones E. García	
A (Cálido húmedo)	A	Cálido (Temperatura media anual mayor de 22°C)
	A (C)	Semicálido (Temperatura media anual entre 18° y 22°C)
	(A)C	Semicálido (Temperatura media anual mayor de 18°C)
C (Templado húmedo)	C	Templado (Temperatura media anual entre 12° y 18°C)
	C (E)	Semifrío* (Temperatura media anual entre 5° y 12°C)



El símbolo C(E) de este subgrupo fue una aportación hecha por DGGTN y aceptada por E. García, ya que el subgrupo semifrío carecía de símbolo propio.

Tabla 4.2c Tipos de Climas del Grupo A y sus Subtipos dentro de la República Mexicana. Fuente: (INEGI, 2005)

Climas del Grupo A (Cálidos húmedos) Tipos		Subtipos		
(f)	húmedo con lluvias todo el año, precipitación del mes más seco superior a 40 mm % de lluvia invernal mayor de 18.	Los más húmedos de los subhúmedos con un cociente P/T (precipitación total en mm, sobre temperatura media anual °C) mayor de 55.0	Los intermedios en cuanto a grado de humedad, con un cociente P/T entre 43.2 y 55.0	Los más secos de los subhúmedos con un cociente P/T menor de 43.20
(fm)	igual que el anterior, pero con un % de lluvia invernal menor de 18			
(m)	húmedo con lluvias intensas de verano que compensan la sequía de invierno, 40 mm, % de lluvia invernal mayor de 5.			
(m)(w)	igual que el anterior, con un % de lluvia invernal menor de 5.			
(w)(x')	subhúmedo con lluvias de verano y sequía en invierno, % de lluvia invernal menor de 10.2 del total anual			
(w)	igual que el anterior, pero con un % de lluvia invernal entre 5 y 10.2.			
(w)(w)	igual que el anterior, pero con % de lluvia invernal menor de 5.			
s	húmedo con lluvias en invierno, % de lluvia invernal mayor de 36. También llamado clima mediterráneo.	(w ₂) (x')	(w ₁) (x')	(w ₀) (x')
s(x')	igual que el anterior, con un % de lluvia invernal menor de 36.	(w ₂)	(w ₁)	(w ₀)
x'	subhúmedo con lluvias repartidas todo el año; precipitación del mes más seco inferior a 40 mm	(w ₂) (w)	(w ₁) (w)	(w ₀) (w)

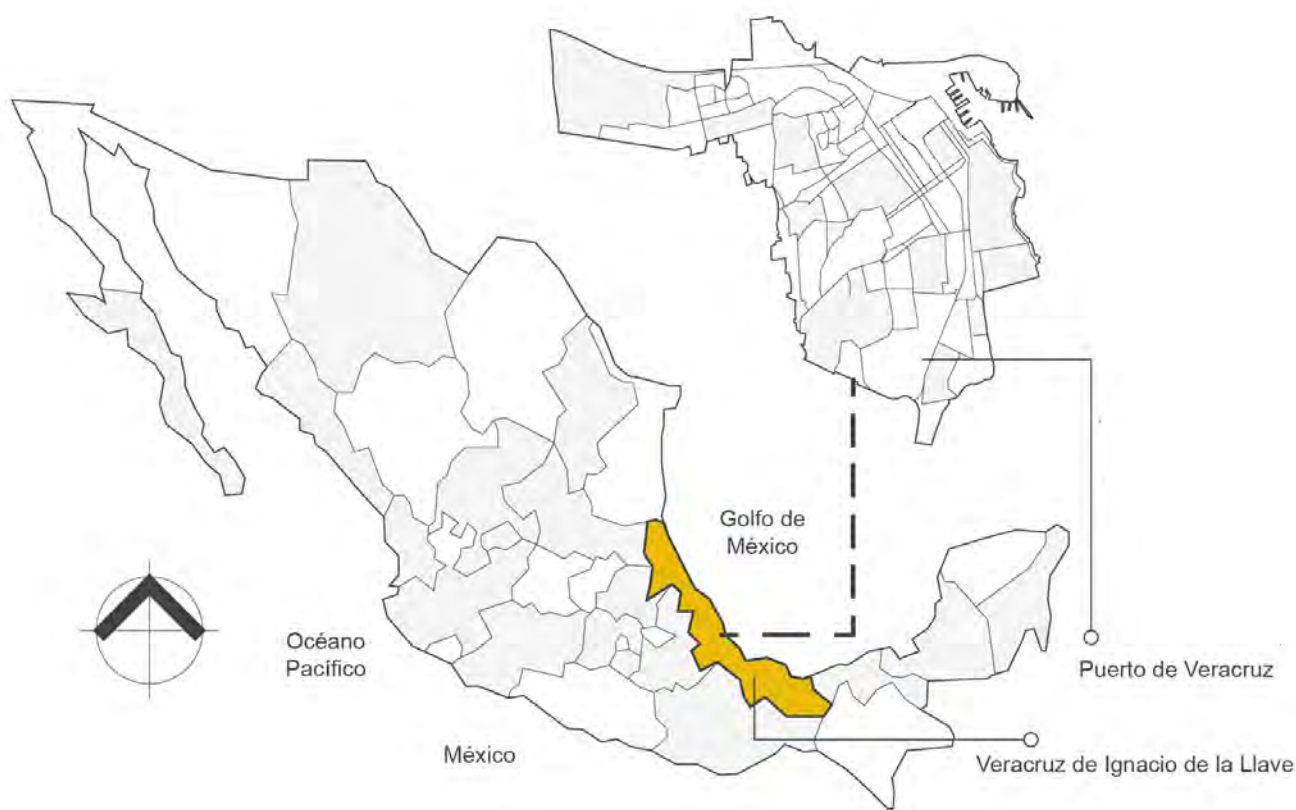


Figura 4.4 Ubicación del área de estudio en mesoescala y macroescala

Según ONU Hábitat (2016), Veracruz se coloca como segunda ciudad con mayor proporción de población urbana en el estado, es relativamente denso y dinámico, según se resultados en la [Tabla 4.3](#).

Tabla 4.3 Estadística contextual de la población y territorio de Veracruz y su zona urbana. Fuente: (ONU Habitat, 2016)

POBLACIÓN Y TERRITORIO	Veracruz	Aglomeración urbana
Población 2010 ^{1/}	552,156	834,256
Viviendas 2010 ^{1/}	223,445	333,067
Índice de urbanización, 2010 ^{2/}	94.76%	63.5%
Población 2030 ^{3/}	626,819	951,260
TCMA población 2000-2010 ^{4/}	1.9%	1.5%
TCMA viviendas 2000-2010 ^{4/}	6.1%	5.6%
TCMA población 2010-2030 ^{5/}	0.6%	0.7%
Superficie total (km ²) ^{6/}	245.9	1,880



Superficie urbana, 2015 (km ²) ^{7/}	149.8	266
Densidad de población, 2015 (hab/km ²) ^{8/}	2,379	1,082
Densidad urbana, 2015 (hab/km ²) ^{9/}	3,701	2,045
Densidad habitacional, 2015 (viv/km ²) ^{10/}	1,098	600
ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS		
Porcentaje de la PEA por sector de actividad 2010 ^{11/}	97.67%	
•Primario	2.27%	
•Secundario	19.39%	98.50%
•Terciario	76.00%	15.50%
Tasa de ocupación, 2010 ^{12/}	96.00%	22.70%
Tasa de desempleo abierto, 2010 ^{13/}	4.00%	60.30%
Porcentaje de la población que recibe menos de 2s.m., 2010 ^{14/}	27.08%	96.60%
Rama de especialización económica, 2015 ^{15/}	Transporte, correos y almacenamiento	3.40%
	Muy bajo	36.40%
Grado de marginación, 2010 ^{16/}		

Notas:

1/ Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2010a).

2/ Expresa el porcentaje de población urbana con respecto a la población total.

3/ Proyecciones de población total, estimadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2015).

4/ La tasa de crecimiento medio anual (TCMA) es el cambio relativo en promedio por año.

5/ Tasa de crecimiento medio anual geométrica, estimada a partir de las proyecciones de población del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2015).

6/ Superficie calculada a partir de los límites municipales contenidos en el marco geoestadístico nacional (INEGI, 2015).

7/ Clasificación del suelo urbano continuo, realizada a partir de imágenes de satélite Landsat 2015 y Shlomo, A. et al. (2005).

8/ Relación entre la población municipal 2015 (CONAPO, 2015) y la superficie municipal en kilómetros cuadrados, reconocida por el INEGI.

9/ Relación entre la población urbana 2015 (CONAPO, 2015) y la clasificación del suelo urbano continuo, 2015.

10/ Relación entre el total de viviendas urbanas estimadas a partir de la población 2015 (CONAPO, 2015) y la clasificación del suelo urbano continuo, 2015.

11/ Proporción de la población económicamente activa de 12 años y más (PEA) que se ocupa en actividades relacionadas con la agricultura, pesca, apicultura y aprovechamiento forestal (sector primario); manufactura y actividades de transformación (secundario); comercio y servicios (terciario) (INEGI, 2010a). El porcentaje total de la PEA por sector de actividad no es 100 %, debido a la proporción de población que de acuerdo con el Censo 2010 no especificó el sector de actividad en el que se ocupa.

12/ Porcentaje de la población ocupada, con relación a la población en edad de trabajar (PEA) (INEGI, 2010b).

13/ Es la proporción de la Población Económicamente Activa (PEA) que se encuentra desocupada en el periodo de referencia (INEGI, 2010c).

14/ Proporción de la población total ocupada, que recibe menos de 2 veces el salario mínimo diario vigente en México (INEGI, 2010a).

15/ Rama de especialización obtenida a partir del Índice de Especialización Económica. Este índice fue calculado con el Valor Agregado Censal Bruto municipal (INEGI,



2014b). Ver metodología de cálculo en Palacio J. L. et al (2004).

16/ Indicador que mide las siguientes variables: población analfabeta, población sin educación primaria completa, viviendas sin servicios públicos básicos (agua entubada electricidad y drenaje), viviendas con hacinamiento, viviendas con piso de tierra, población en localidades de menos de 5 mil habitantes y población ocupada con ingresos menores a 2 salarios mínimos. Con base en estos indicadores se determina el grado de marginación en una de las siguientes categorías: muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto (CONAPO, 2010a).

Para seleccionar la ciudad de Veracruz, se consideró la presencia de alza de temperaturas comparándolo con el estudio de Jáuregui (2005) sobre el impacto de la urbanización en el clima térmico de algunas grandes ciudades de México.

La [Figura 4.5](#) muestra la línea de tendencia obtenida de los datos proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), con oficio dirigido al Lic. José Luis López Vela, jefe de Proyecto, del Centro Hidrometeorológico Regional Boca del Río, Organismo de Cuenca Golfo Centro, Dirección Técnica ubicado en la Privada César Luna Bauza s/n, Col. Ylang Ylang, C.P. 94298, Boca del Río, Veracruz, el cual es un centro certificado y el más importante de la zona conurbada

Como se observa en la [Figura 4.5](#) y [Tabla 4.4](#), se deduce una predisposición de aumento de temperatura por década de 0.59°C , para la Ciudad y Puerto de la Ciudad de Veracruz, ubicándolo por arriba del promedio de tendencias tanto para ciudades grandes como medianas, justificando la selección del área de macroescala.

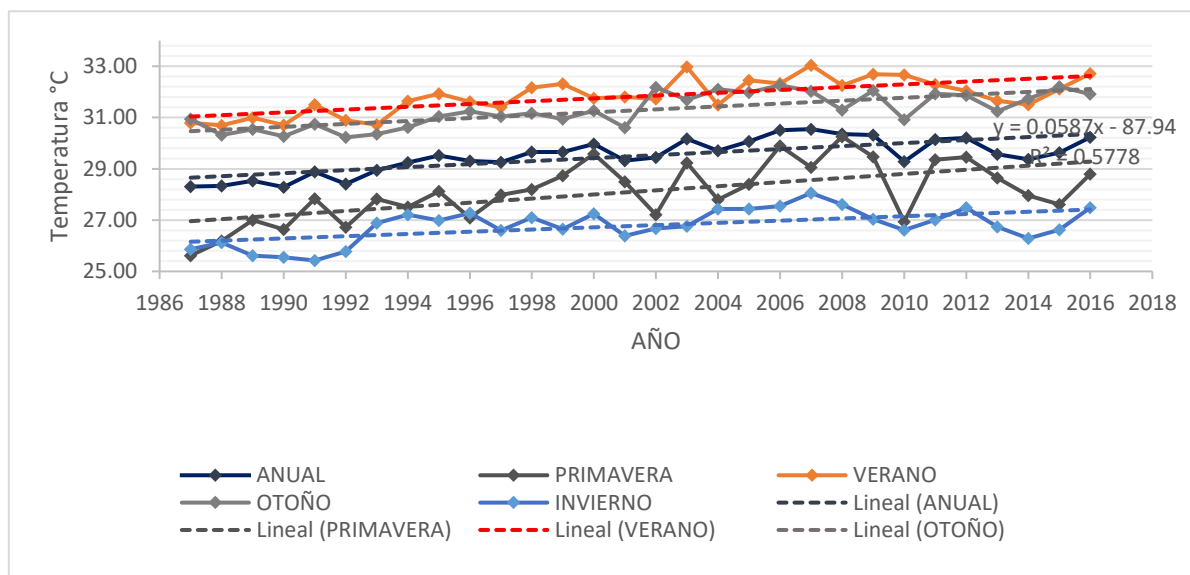


Figura 4.5 Tendencia lineal del alza de temperaturas máximas de 1987 a 2016. Datos obtenidos del Centro Hidrometeorológico Regional Boca del Río.



Tabla 4.4 Tendencias estadísticas de la temperatura con relación con ciudades con población alta y mediana, ubicando a la Ciudad de Veracruz con resultados de la Figura 4.4. Modificado de (Jáuregui, 2005)

Población >10 ⁶	Tendencia °C/década	Periodo disponible	Población 2000x1000	Población 10 ⁻¹⁰	Tendencia °C/década	Periodo disponible
Torreón	1.20	1952-1998	1.00	Cd. Obregon	0.85	1961-1998
Guadalajara	0.74	1920-1997	3.667	Veracruz	0.59	1987-2016
Tacubaya (D.F.)	0.62	1920-1995	17.942	Chihuahua	0.37	1950-1997
Tijuana	0.59	1949-1984	1.274	Tampico	0.34	1961-1997
León	0.59	1959-1998	1.235	Guanajuato	0.19	1969-1997
Veracruz	0.59	1987-2016	0.85	Cuernavaca	0.18	1956-1994
Monterrey	0.27	1960-1986	3.243	Mexicali	0.4	1951-1980
Puebla	0.02	1976-1995	2.22	Zacatecas	0.3	1961-1997
Promedio	0.57			Promedio	0.37	

4.4.3 Definición del área de estudio: Microescala

La selección del cañón urbano que se tomó como caso de estudio, obedece a las siguientes razones:

- Estudio preliminar de la ICU en la zona conurbada de Veracruz (Baca, 2011); avalado con el análisis de las imágenes de las bandas térmicas 10 y 11 del LandSat 8 durante un año.
- Análisis del revestimiento de superficies de rodamiento;
- Análisis del comportamiento de tráfico de la población;
- Relación de aspecto de cañones que cumplan con $H/W = 1$ o superior; y
- Orientación de la calle.

4.4.3.1 Estudio preliminar de la Isla Calor Urbana en la zona conurbada de Veracruz, con estaciones meteorológicas

El estudio preliminar de ICU con el que se cuenta, fue derivado de un proyecto de investigación de la Facultad de Instrumentación Electrónica y Ciencias Atmosféricas de la Universidad Veracruzana. Cuyo objetivo principal es el estudio y determinación de la ICU de la ciudad y puerto de Veracruz con su zona conurbada de Boca del Río, identificando el comportamiento del fenómeno bajo la influencia de sistemas meteorológicos típicos de



verano e invierno (el periodo de estudio fue de febrero a septiembre del 2011), a partir de una red higrométrica. La red estaba compuesta por seis estaciones fijas no oficiales y tres oficiales (Capitanía del Puerto, Centro de Previsión del Golfo de México y el Aeropuerto Internacional de Veracruz “Heriberto Jara Corona”. Del periodo de muestra la investigación se detectó dos condiciones meteorológicas con dos variantes diferentes:

- Condición normal; no se presenta ningún fenómeno típico de temporada y es posible identificar patrón de isotermas
- Hay presencia de fenómenos como “norte”, “surada”, “frente frío”, “frente cálido” y “onda tropical”².

El día seleccionado como representativo, para dicho estudio, fue el 15 de julio del 2011, debido a su condición típica de verano, sin presencia de algún fenómeno extraordinario. El patrón de isotermas más marcado fue de las 21:00 hrs. hasta las 5:00 hrs. encontrándose en la zona suroeste de la ciudad con valores de 22 a 23°C, y de las 6:00 hrs hasta las 16:00 hrs, las alzas se observaron en la zona noroeste, con valores que oscilan entre las isotermas de 2°C. (Figura 4.6, 4.7 y 4.8). Se deduce de las Figuras 4.6, 4.7 y 4.8, que las zonas más afectadas son la suroeste y la noreste. La primera es durante los periodos de la mañana y noche y la segunda durante el periodo de medición de las 13:00 a las 14:00 horas.

El área suroeste se ve influenciada por el viento y brisa propio de las ciudades costeras como explica Palme et al. (2017), sin embargo, la porción noreste se distingue que la urbanización es la causante de las líneas isotérmicas, puesto que los datos fueron recabados en condiciones atmosféricas estables.

² Los “norte” son el resultado de la acumulación de aire frío en latitudes medias e intensos gradientes meridionales de presión en la troposfera baja que resulta en irrupciones de aire frío hacia los trópicos.

La “surada” es un viento procedente del suroeste, templado, relativamente húmedo y portador de lluvias, se presenta en las temporadas de otoño y primavera. Pueden durar de 2 a 3 días, y trae consigo la propagación de incendios por su baja humedad relativa y la ausencia de precipitaciones.

El “frente frío”, se presenta en la fecha principal del evento de “norte”, la interacción entre la atmósfera y el océano inducen turbulencia y la masa de aire comienza a transformarse, observando que los vientos presentan una confutación de flujo de paso de montaña (encañonamiento) al cruzar por el Golfo de México. En este caso el frente frío, siendo más denso, genera una “Cuña” y se introduce debajo del aire cálido y menos denso.

El “frente cálido”, es la parte frontal de una masa de aire tibio que avanza para reemplazar a una masa de aire frío que retrocede.

Las “ondas tropicales”, son fenómenos característicos del verano, originados frente a la costa occidental de África, formándose cuando los vientos alisios del este sufren ondulaciones o deformaciones debido a diferentes factores como el aumento de temperaturas del mar. La onda tropical puede generar las condiciones necesarias para que se formen los ciclones tropicales. Su movimiento es hacia el oeste a razón de 20 a 30 km/h, son responsables de la nubosidad, tardan en desplazarse de 4 a 5 días (Acevedo & Luna, 2006).

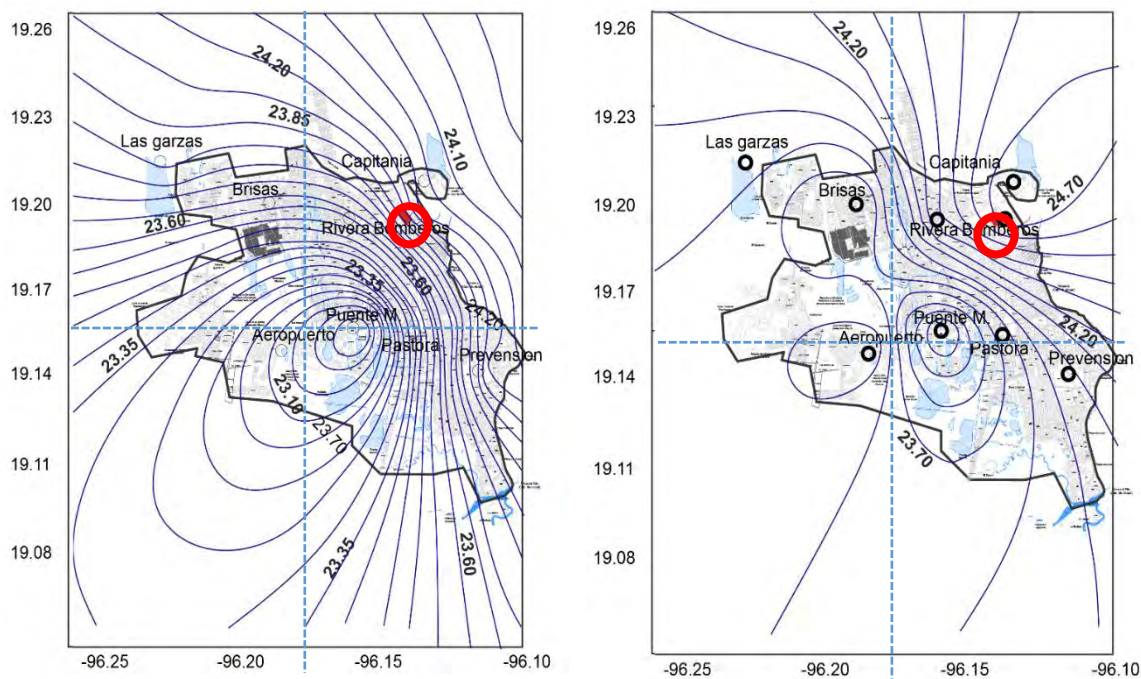


Figura 4.6 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 15 de julio a las 5 y 6 horas. Modificado de (Baca, 2011)

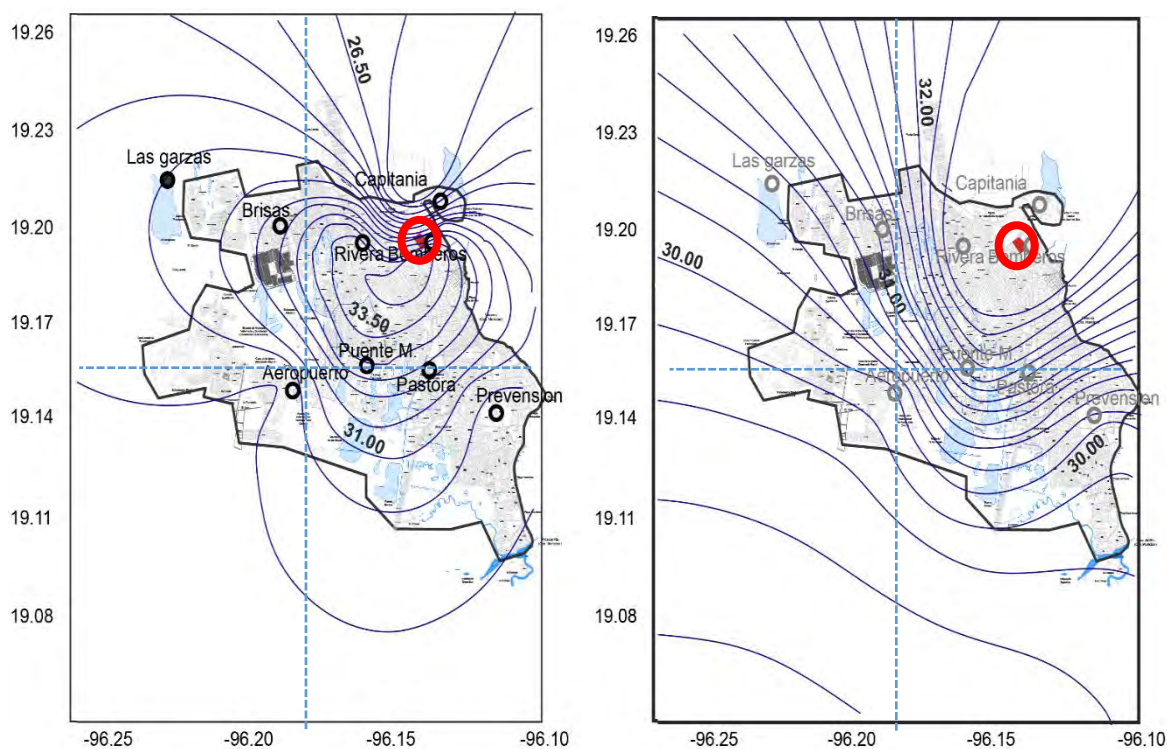


Figura 4.7 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 15 de julio a las 13 y 14 horas. Modificado de (Baca, 2011)

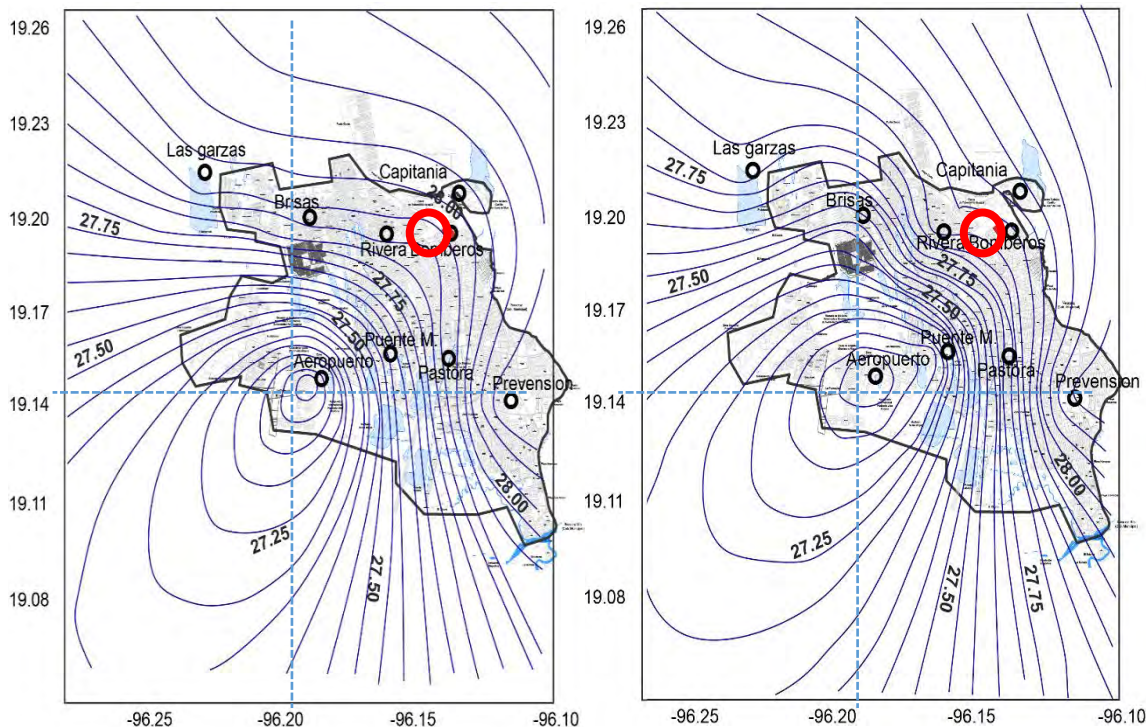


Figura 4.8 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 15 de julio a las 21 y 22 horas. Modificado de (Baca, 2011)

4.4.3.2 Estudio preliminar de la Isla de Calor Urbano Superficial con el satélite LandSat y ArcGis en la zona conurbada de Veracruz

Para comprobar lo medido por Baca (2011) y obtener aproximaciones de las isotermas de la ICU, se recurrió a la obtención y procesamiento de la información de la teledetección satelital para el cálculo de la Isla de Calor Urbana Superficial (ICUS) a través de la Temperatura Superficial Terrestre (LST).

Para ello se requirió el uso de la plataforma EarthExplorer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), la cual proporciona acceso gratuito para la descarga de imágenes satelitales Landsat del territorio mexicano. Los sensores OLI (Operational Land Imager) y TIRS (Thermal Infrared Sensor) son instrumentos a bordo del satélite usados a partir de febrero del año 2013. Los metadatos son obtenidos desde la página <https://earthexplorer.usgs.gov>; las imágenes tomadas por el satélite se descartan especificando el nombre de la región o área de análisis, así como la fecha para posteriormente trabajar con la información de las capas georeferenciadas.



La temperatura se calculó a partir de los datos de la bandas en Infrarrojo Termal (TIR) 10 y 11 (termal; 8.125 - 11.65 μ m) con una resolución espacial de 90m del satélite Landsat 7 TM proveniente de United States Geological Survey (USGS), para calcular la temperatura superficial, en función de la temperatura de brillo (Tb) corregida por emisividad; se utilizó la información de la banda 6 (1.6 - 2.43 μ m) del Infrarrojo medio o de onda corta (SWIR), con píxeles de 30x30 m. Para lograr un mejor refinamiento de la imagen se establecen los nulos (SetNull) que permite crear un nuevo layer, donde se realizaron los cálculos de la temperatura superficial terrestre.

Cabe destacar que las imágenes en su procedimiento fueron corregidas, primeramente, de acuerdo con el procedimiento, se aplicó la corrección radiométrica para traducir los píxeles de niveles digitales a unidades de reflectividad, que es la manera de procesar las imágenes; siendo las correcciones atmosféricas, precisamente las que corrigen la interferencia de la atmosfera. Existe otro tipo de corrección que es la geométrica, pero depende de la imagen descargada y hasta que nivel lo requiera, es decir, si no contiene un sistema de referencia y no está bien ubicada, es cuando se aplica. En el caso de Landsat 8, las imágenes ya contienen esta corrección.

En el **Anexo A**, se explica la metodología para la obtención de las imágenes a través del software ArgGis.

Las Figuras [4.9](#), [4.10](#), [4.11](#) y [4.12](#) muestran los resultados de la temperatura superficial dentro de la ciudad en °C. Los puntos más fuertes se encuentran ubicados en la parte norte donde están las ampliaciones de puerto de Veracruz; noreste donde está ubicado el centro de la ciudad y el área de estudio; y por último en la zona suroeste la cual es la zona industrial.

La detección de la temperatura de la superficie terrestre (LST) en una ciudad, además de determinar las isotermas de la Isla Superficial de Calor Urbano (ISCU), permite enfocar medidas de mitigación como la reforestación de las zonas para mejorar la evapotranspiración, la distribución adecuada del uso del suelo y el equilibrio de las características físico-térmicas (emitancia y albedo) de los materiales de construcción. Ejemplos de esto, son el trabajo de Tomlinson et al. (2011), Anderson et al. (2012) y Mia et al. (2012).

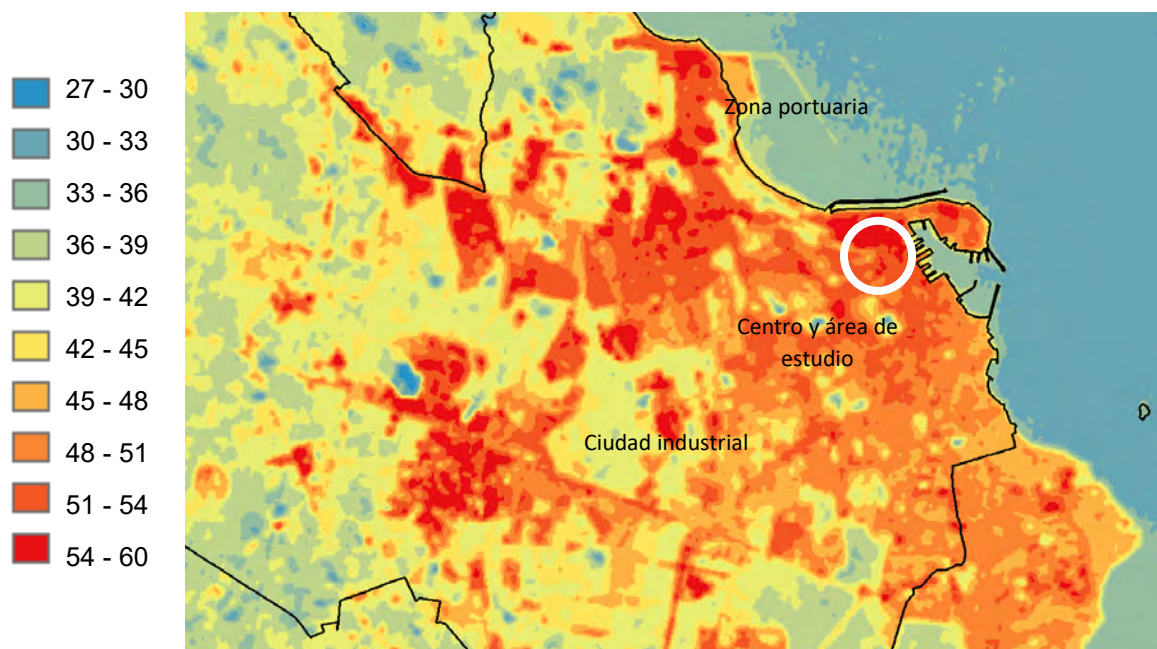


Figura 4.9 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 08 de octubre del 2017, el círculo blanco indica el área de estudio. Valores en °C

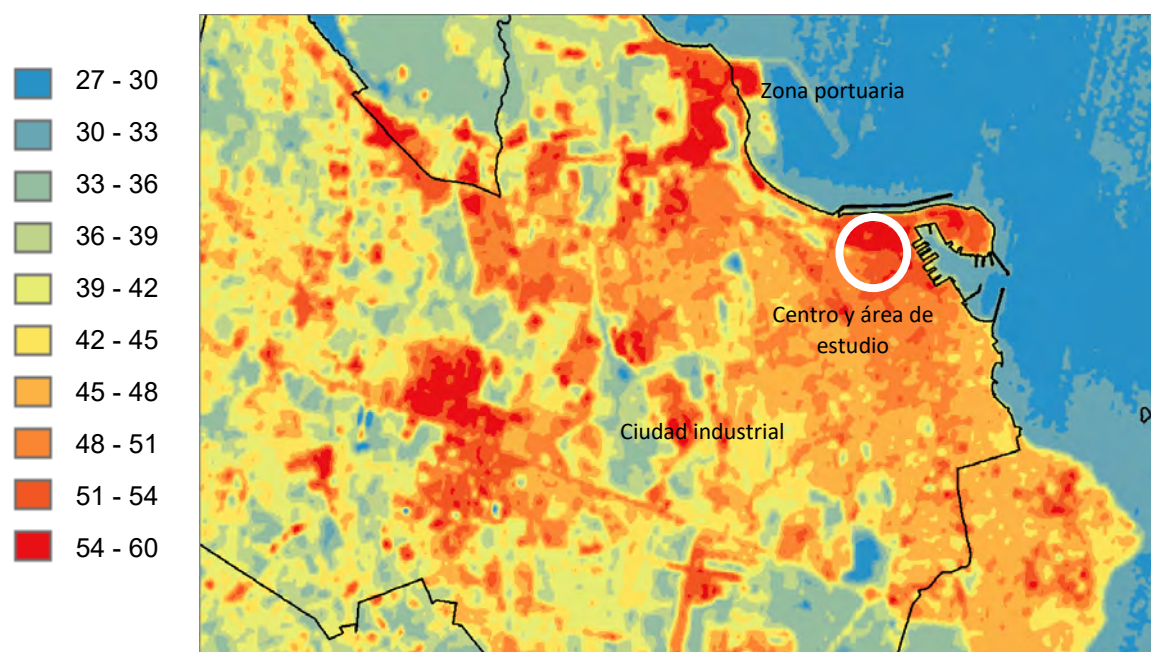


Figura 4.10 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 25 de noviembre del 2017, el círculo blanco indica el área de estudio. Valores en °C

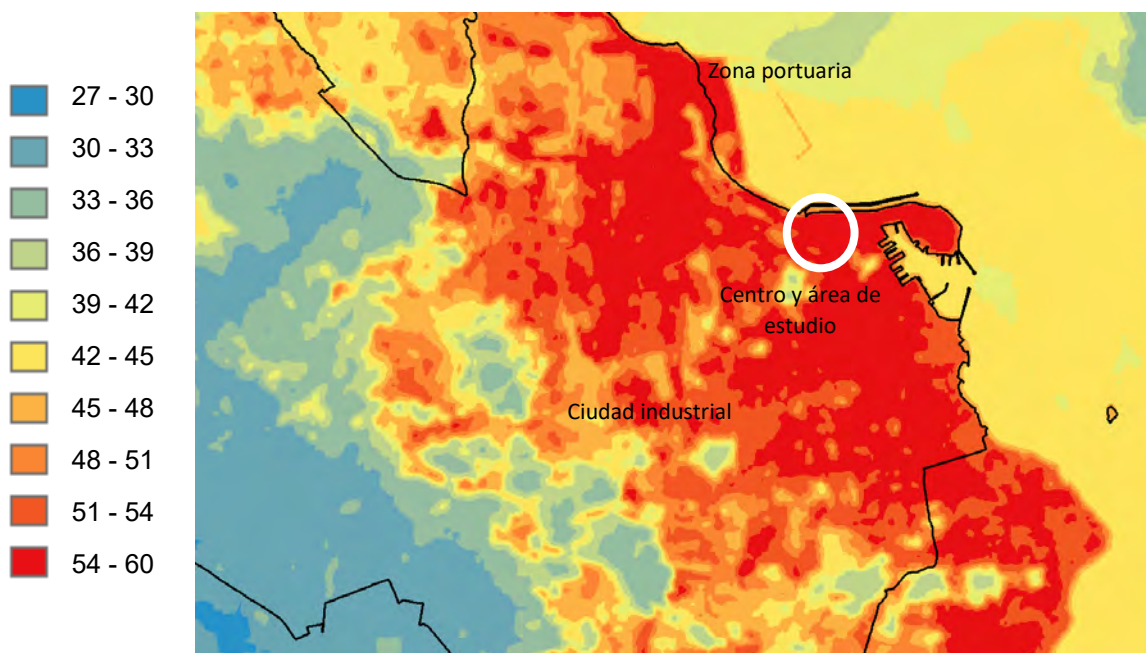


Figura 4.11 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 04 de mayo del 2018, el círculo blanco muestra el área de estudio. Valores en °C

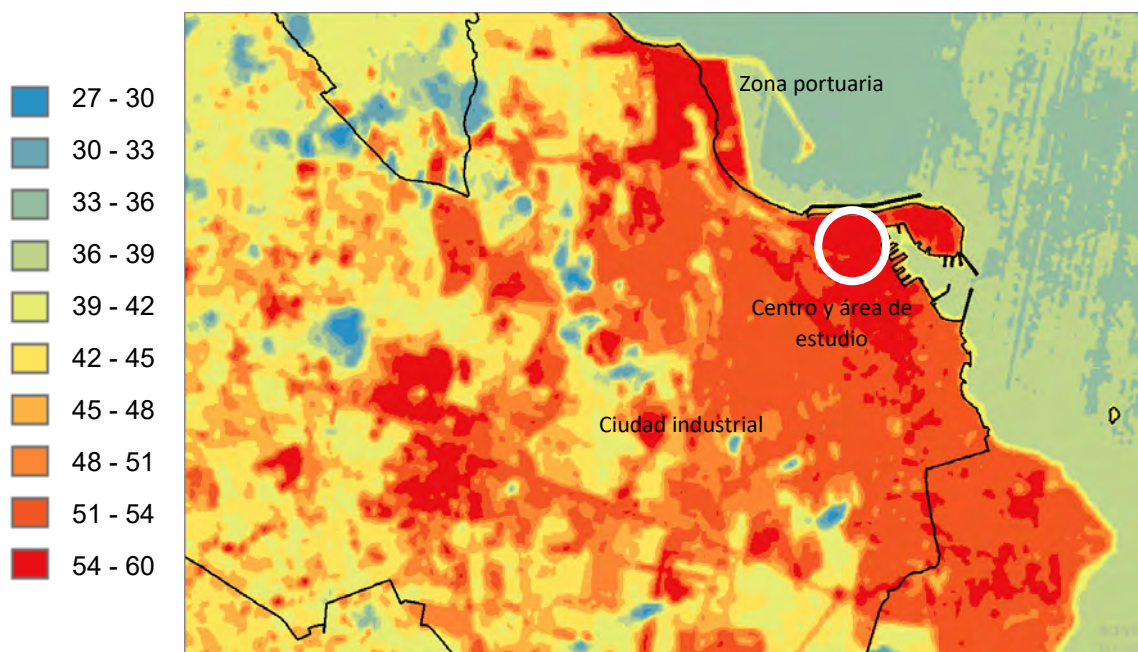


Figura 4.12 Mapa de isotermas de la zona conurbada de Veracruz y Boca del Río el día 04 de agosto del 2018, el círculo blanco muestra el área de estudio. Valores en °C.



4.4.3.3 Revestimiento de superficies (fachada y rodamiento)

El revestimiento de superficies, tanto en fachada como rodamiento; son determinantes en la formación de la ICU y variables fundamentales en la ecuación del balance de energía.

Un punto que define la ubicación de la calle de estudio fue considerar los tipos de materiales de revestimiento de las superficies construidas. En la [Figura 4.13](#), del plano oficial de la carta síntesis de usos y reservas de Veracruz, se extrajo a groso modo los tipos de materiales de rodamiento, clasificándose en dos tipologías, áreas pavimentadas y sin pavimento. Esto es corroborado en las dos siguientes imágenes ([Figuras 4.14 y 4.15](#)) de la página web del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2016).

El círculo rojo determina el área de estudio, la cual se encuentra dentro de la zona con superficies impermeables dentro del contexto de la ciudad.

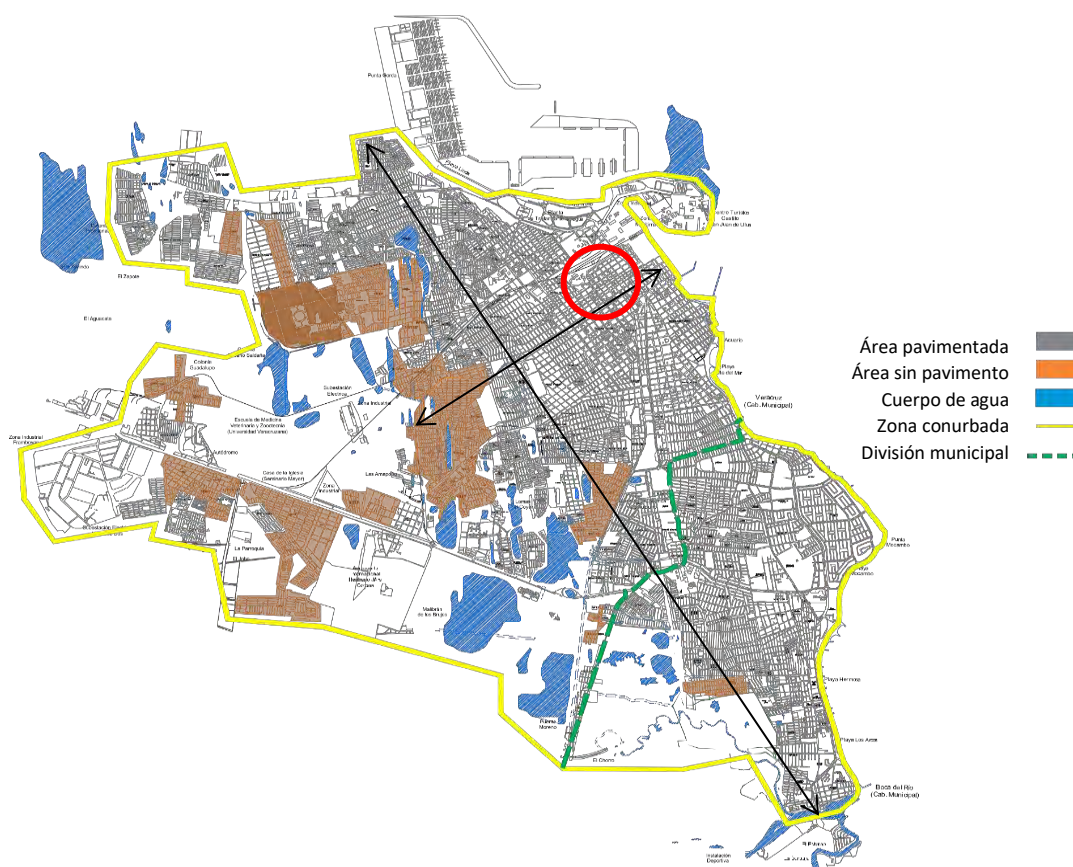


Figura 4.13 Recubrimiento de las superficies de construcción en la ciudad y puerto de Veracruz. Fuente: Ayuntamiento de Veracruz. El círculo rojo indica la zona de estudio.

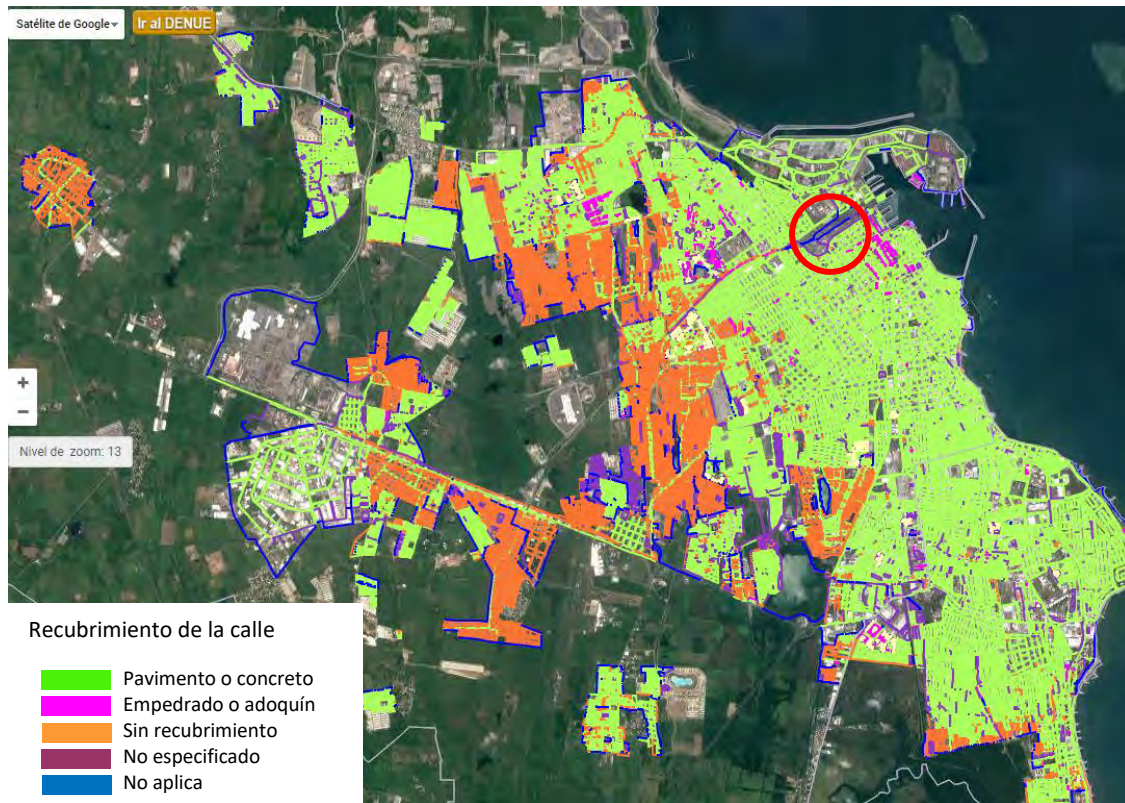


Figura 4.14 Recubrimiento en pavimentos de la ciudad y puerto de Veracruz. El círculo rojo indica la zona de estudio. Fuente: (INEGI, 2016).

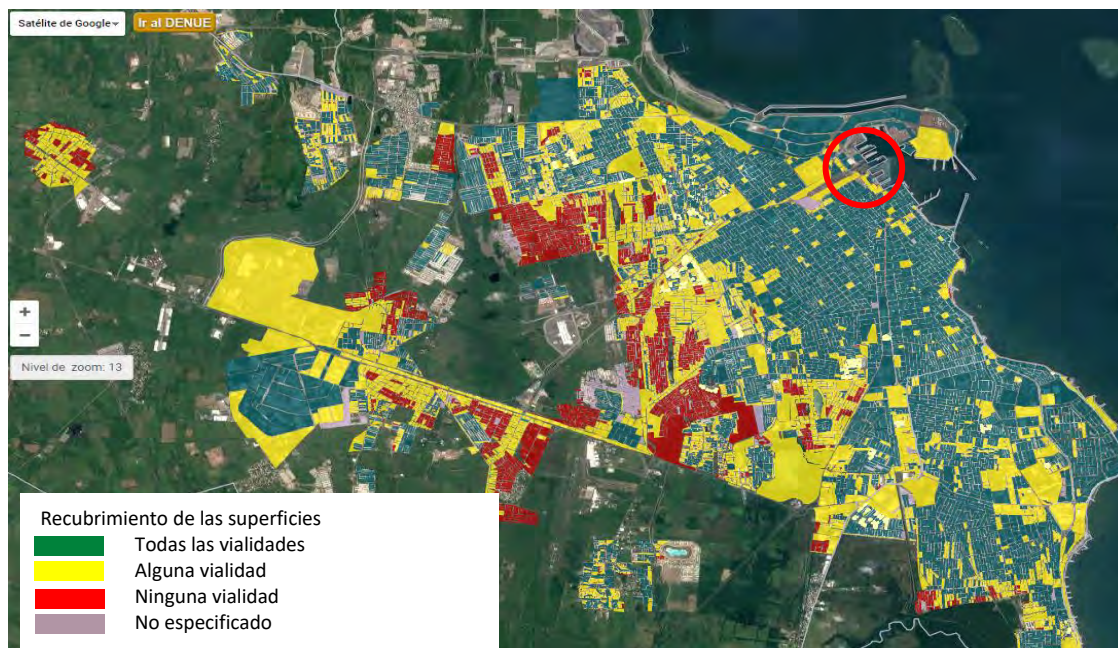


Figura 4.15 Recubrimiento de las superficies en las vialidades de construcción en la ciudad y puerto de Veracruz. El círculo rojo indica la zona de estudio. Fuente: (INEGI, 2016).



4.4.3.4 Análisis del comportamiento de tráfico de la población

Como se ha mencionado anteriormente, un factor determinante en la selección del área de análisis es el flujo vehicular, debido a su relevancia en la necesidad de datos, como insumo para las simulaciones.

Según el informe de ONU Hábitat (2016), la ciudad de Veracruz en relación con la movilidad urbana, su longitud de transporte masivo no cuenta con red de transporte público de alta capacidad (basado en tecnologías, calidad y desempeño óptimos). Analizando su forma urbana con la movilidad, la densidad de la interconexión vial, es decir el número de intersecciones de calles por kilómetro cuadrado es un punto débil en su diseño, lo que significa que es relativamente larga. Según conclusiones del informe, este tipo de diseño urbano contribuye a desincentivar el tránsito de peatones y ciclistas.

La densidad vial (longitud de la red de calles por kilómetro cuadrado de área urbana) es un indicador sólido para el informe. Definido como una urbe con suficientes calles corta y directas que mejoran la movilidad. La superficie destinada a vías, indicador que mide la superficie urbana destinada a la vialidad es alto, lo que significa que *la superficie destinada a este uso y a otros usos productivos, sociales y ambientales es equilibrada. Esto tiene un impacto positivo en la movilidad urbana y en el uso eficiente del suelo de la ciudad de análisis.* A partir de ello se elaboró la [Figura 4.16](#) donde se indica el valor 65.12 en movilidad y forma urbana obtenido por la ciudad, para el índice básico de las ciudades prósperas.

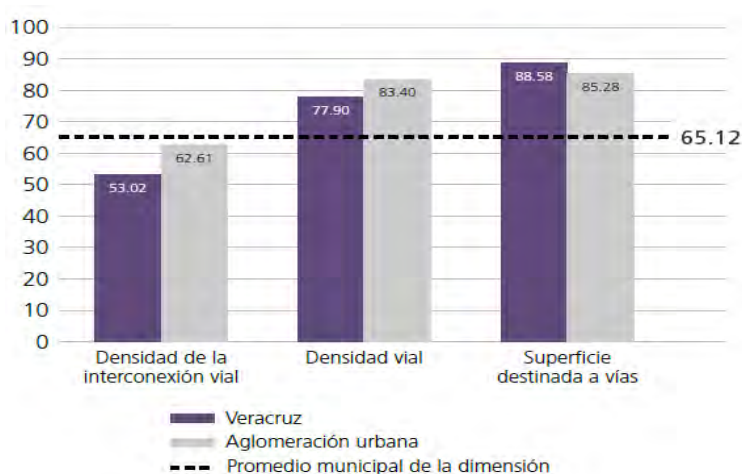


Figura 4.16 Índice de movilidad y forma urbana de la ciudad de Veracruz. Fuente (ONU Habitat, 2016)



De la carta de síntesis de usos y reservas de Veracruz ([Figura 4.17](#)), proporcionado por el Ayuntamiento, se observan las estructuras viales actuales, delimitando las vías primarias, secundarias y terciarias, así como puentes vehiculares. En ella, se distingue como primarias las calles de Independencia y 5 de mayo (zona centro), 16 de septiembre, Av. Cuauhtémoc, Av. Díaz Mirón y Boulevard, quedando como secundarias Costa Verde y Juan Pablo Segundo.

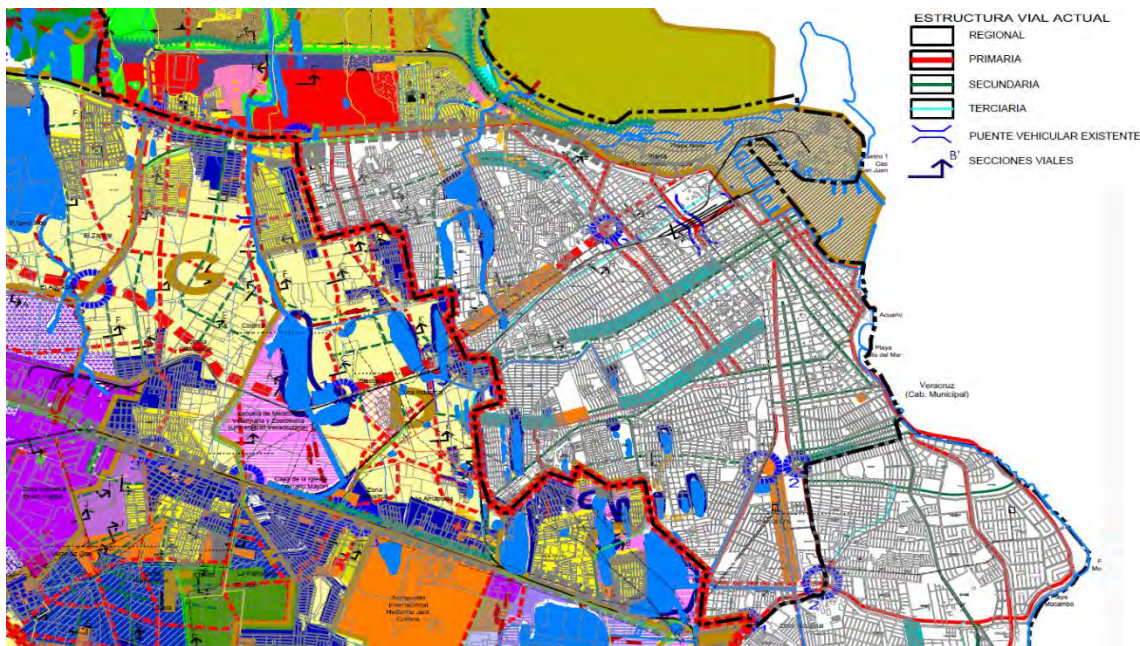


Figura 4.17 Carta de síntesis de uso de suelo y reservas de Veracruz.

Fuente: Ayuntamiento de Veracruz

Con dicha información, se puede observar en las [Figuras 4.18](#), [4.19](#), [4.20](#) y [4.21](#), obtenidas de la aplicación de GoogleMaps, en la opción de tráfico, el afluente vehicular coincide con el plano oficial, agregado las categorías de rápido a lento para el afluente vehicular.

Las [Figuras 4.18](#) y [4.19](#), revelan el movimiento a nivel mesoescala, un domingo y lunes a las 14:00 horas, logrando localizar (simbología en líneas rojas) las zonas más congestionadas. Las [Figuras 4.20](#) y [4.21](#), están enfocadas en la zona centro ubicada al noreste de la ciudad donde se sitúa la posible área de estudio. Es importante mencionar que las imágenes fueron tomadas en tiempo real, y no hay un resguardo de registros en la red. La información recabada por la empresa Google para medir el comportamiento de los vehículos es por medio de dos tipos de información; la primera por un registro histórico de todos los días promediando el tiempo que se tarda en llegar de un sitio a otro, en hora y día que realizan las personas y la segunda fuente son los celulares, los cuales están



constantemente enviando reportes sobre donde se ubican, y cuanto tardan en llegar de un sitio a otro. Al encender el equipo, el GPS empieza a enviar paquetes anónimos de su ubicación y la velocidad a la que se mueve (ProAndroid, 2018).

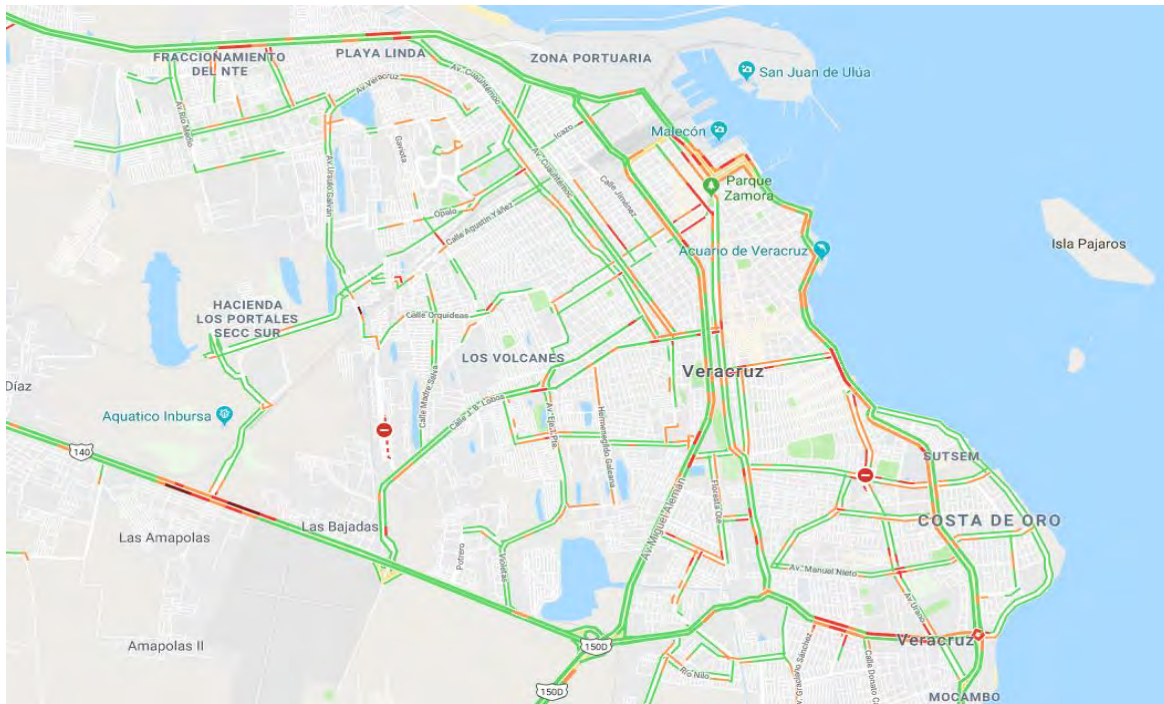


Figura 4.18 Tráfico de la ciudad y puerto de Veracruz, el domingo 22 de abril del 2018 a las 14:00 horas. Fuente: (GoogleMaps, 2018)

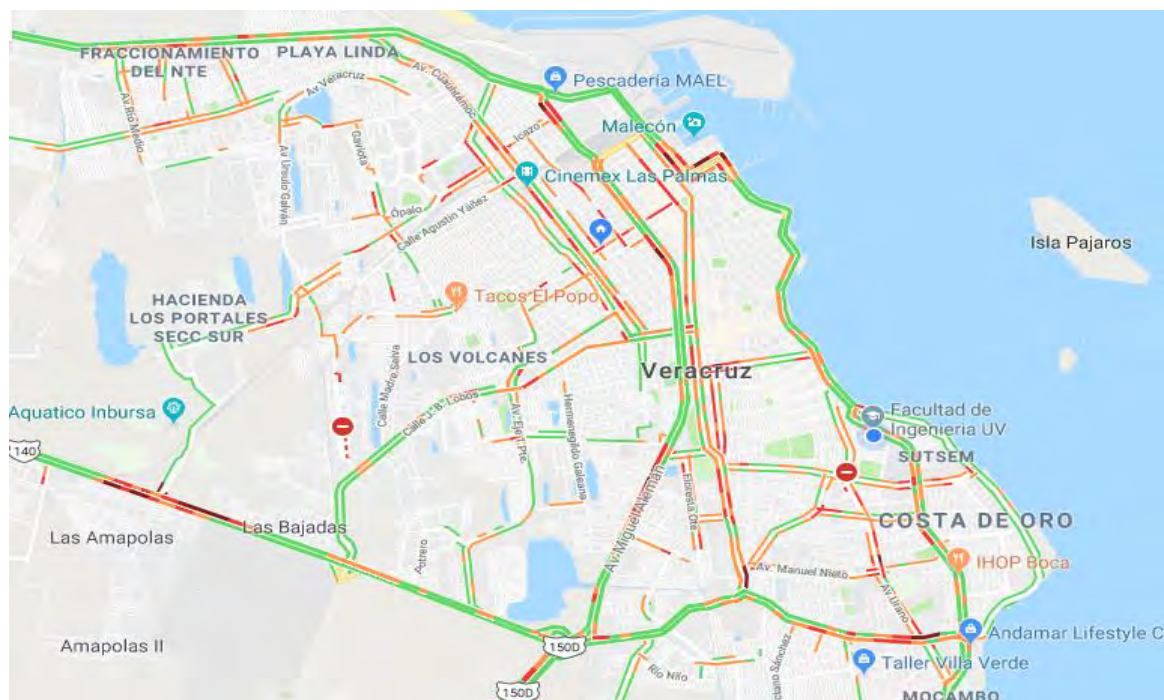


Figura 4.19 Tráfico de la ciudad y puerto de Veracruz, el lunes 23 de abril del 2018 a las 14:00 horas. Fuente: (GoogleMaps, 2018).

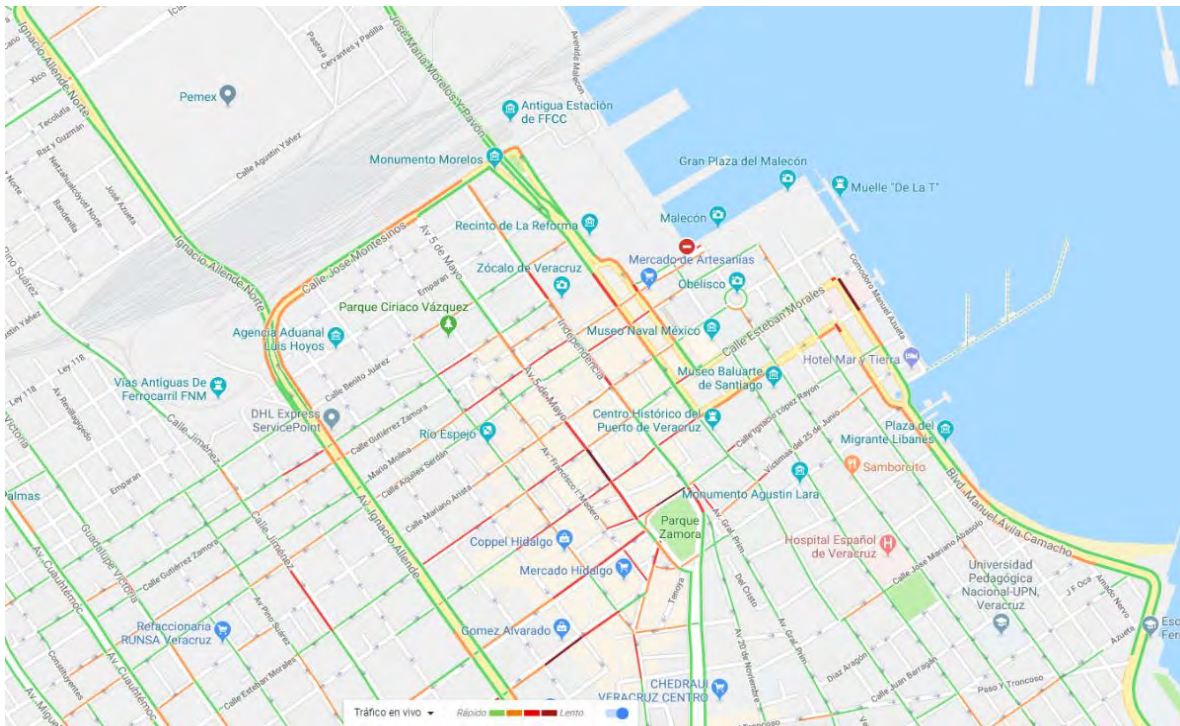


Figura 4.20 Tráfico de la zona centro del centro histórico de la ciudad y puerto de Veracruz, el domingo 22 de abril del 2018 a las 14:00 horas. Fuente: (GoogleMaps, 2018).

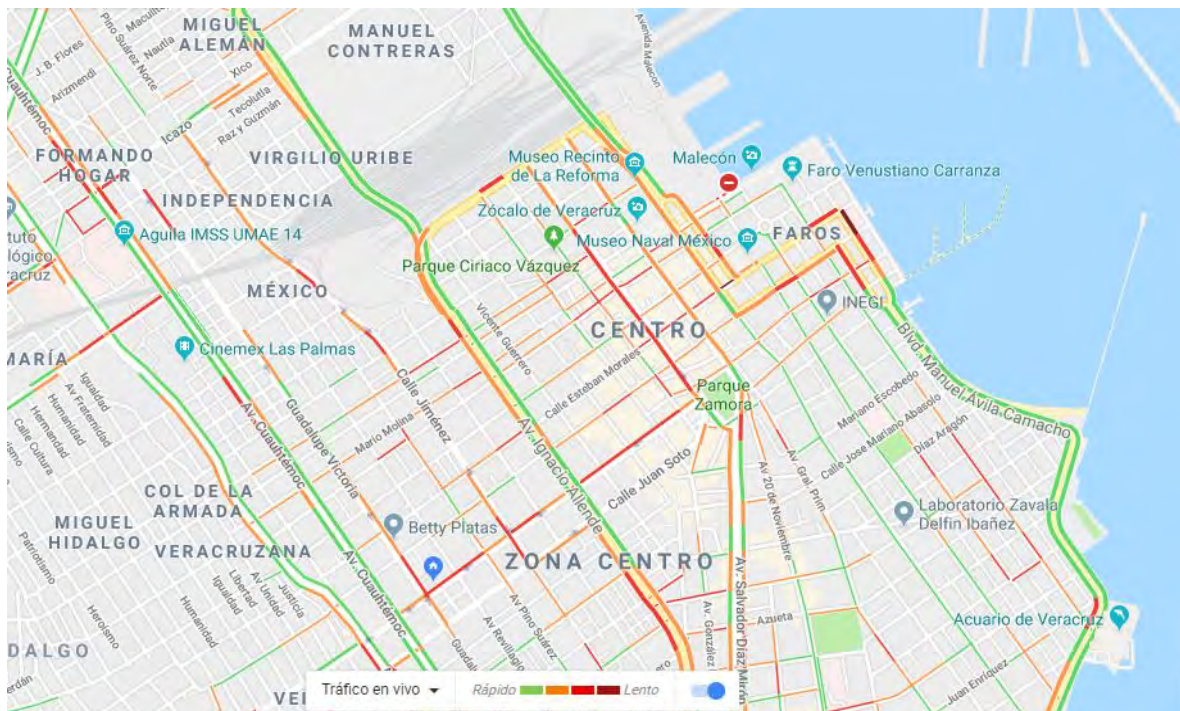


Figura 4.21 Tráfico de la zona centro del centro histórico de la ciudad y puerto de Veracruz, el lunes 23 de abril del 2018 a las 14:00 horas. Fuente: (GoogleMaps, 2018).



Sobre la actividad vehicular, se tomaron los valores de recorrido para automóviles de 50km/día, Pick Ups 77 km/día, las SUV y Van 56 km/días con un promedio de velocidad de 48 km/hr. Valores obtenidos del reporte avalado por la SEMARNAT, CTS (Centro de Transporte Sustentable México) H. Ayuntamiento de Veracruz y H. Ayuntamiento de Boca del Rio, Veracruz (INECC, DGICUR, & DICA, 2012).

4.4.3.5 Relación de aspecto de cañones (H/W = uno o superior) y orientación de la calle

Según De Shiller et al. (2001), en las zonas de mayor intensidad de la ICU, se detectan diferencias microclimáticas a nivel de calle, estableciendo que los factores del tejido de la trama urbana que producen tal variación son:

- Variaciones dimensionales de las calles;
- Sectores de parque con vegetación y arbolado urbano en calles y avenidas; proporcionando sombra, protección de viento y efectos de humidificación; y
- Orientación, continuación y altura de las fachadas de los edificios sobre la línea municipal o frente a una manzana, y su relación con la orientación de las vías de circulación.

La necesidad de reconocer los usos de suelo para la determinación de la altura dentro del espacio de análisis permite un acercamiento a la delimitación de la zona; como se aprecia en la [Figura 4.22](#), la zona gris, morada y roja puede ser considerada propicia para el presente tema de investigación.

Sin embargo, considerando los tres puntos anteriores, la zona azul, se determina como muestra para las mediciones con vuelo autónomo (MeVA). El área de estudio comprende los fraccionamientos y colonias: Centro, Francisco y Madero, Ricardo Flores Magón y Ignacio Zaragoza.

De estos cuatros se destaca más el Centro por tener uso comercial, mayor cantidad de edificios de gran altura y ser un gran afluente vehicular como de peatones. También entra en la categoría de Zona urbana 2 (OMM, 2014), *densamente construida con edificios de entre dos y cinco plantas adosados o muy juntos, a menudo de ladrillo o piedra, con una clase de rugosidad 7, relación de aspecto de 1.0 a 2.5 y más del 85% de construcción y suelos impermeables.*

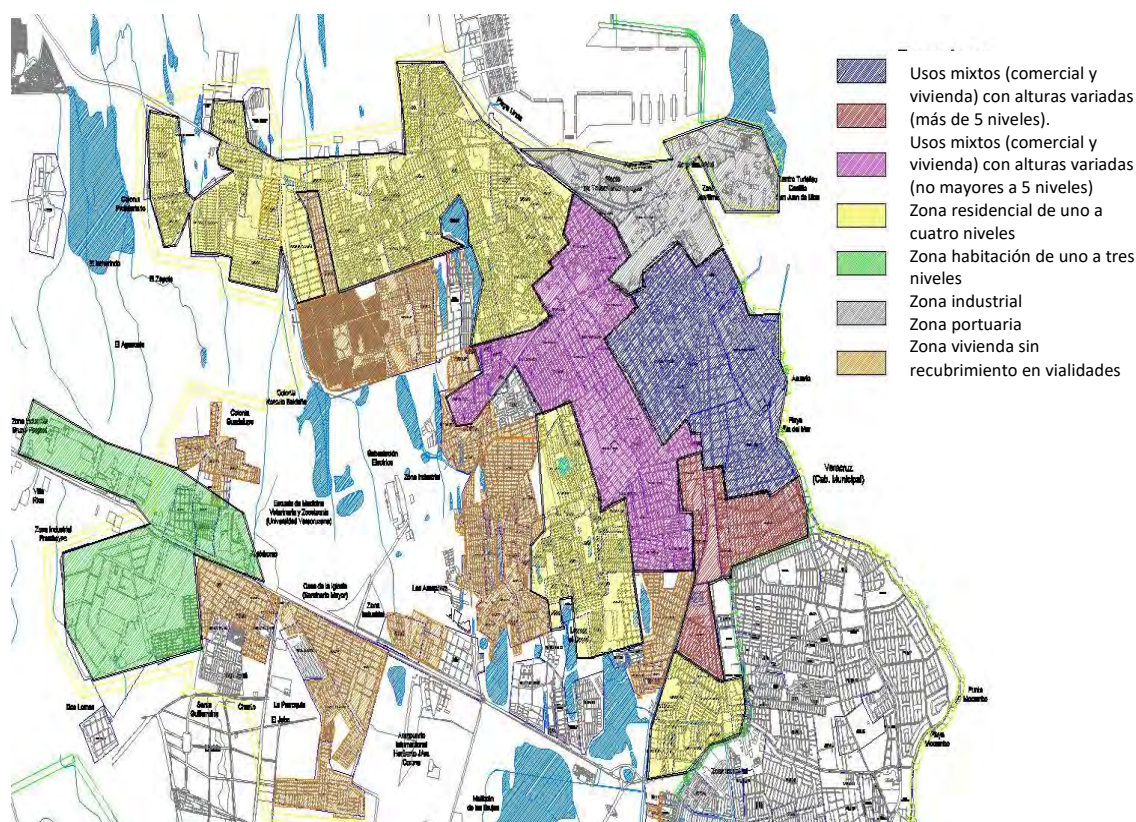


Figura 4.22 Uso de suelo de la ciudad y puerto de Veracruz. Fuente modificado de la Dirección General de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial.

Además, en las Figuras 4.23, 4.24 y 4.25, permiten identificar claramente donde se encuentran los edificios de mayor altura, siendo corroborado con la Figura 4.26, que mediante una simbología de color, se grafica la altura promedio de las edificaciones.

La línea roja punteada señala la Av. Independencia como cañón seleccionado. A consecuencia de encontrarse en una de las zonas más afectadas por la ICU, su revestimiento general en suelo es de concreto y los edificios son de ladrillo con aplanado de cemento: arena. Su afluente vehicular es constante y la altura de los edificios permite relaciones de aspecto mayores a 1. Además, su orientación es de norte a sur, según (OMM, 2014), debido a la presencia de sombra/sol, las calles con esta orientación serán preferibles a las de orientación este-oeste.



Figura 4.23 Vista panorámica del Centro de Veracruz y áreas aledañas. Fuente: Dirección General de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial.



Figura 4.24 Vista panorámica de sur a norte del Centro de Veracruz y áreas aledañas. Fuente: Dirección General de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial.

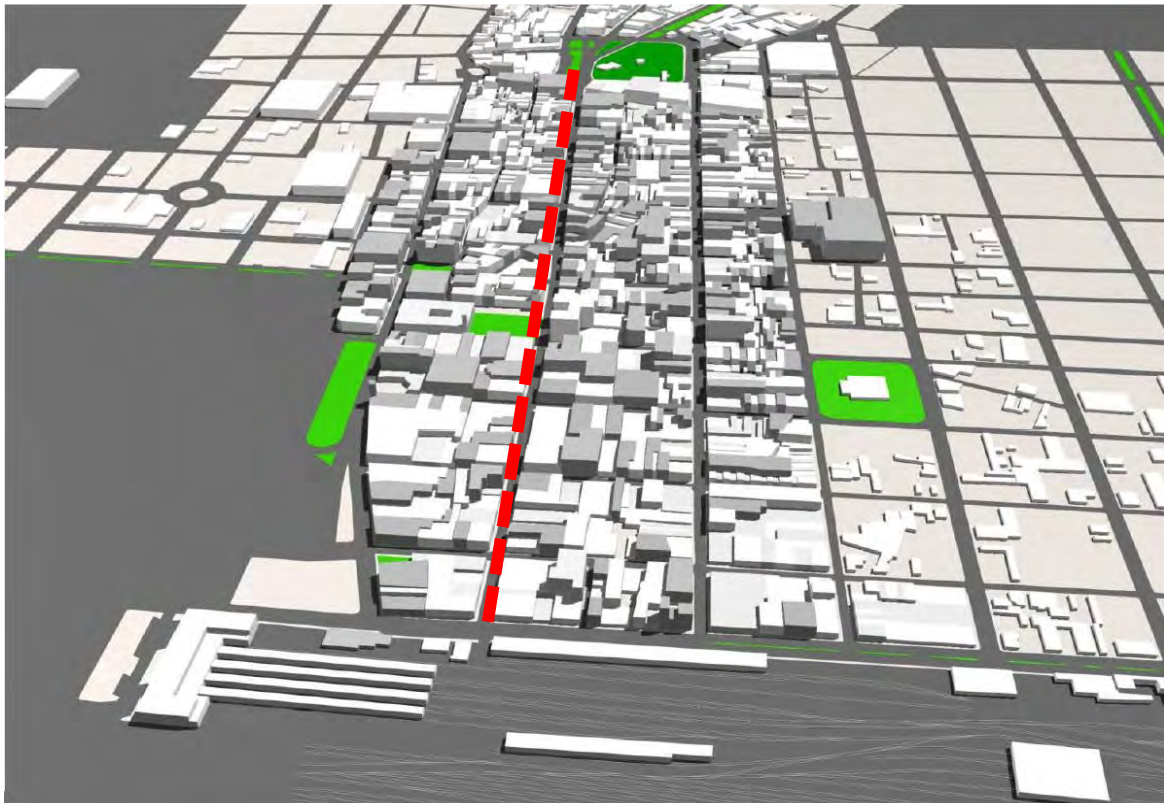


Figura 4.25 Vista panorámica de norte a sur del Centro de Veracruz y áreas aledañas.
Fuente: Dirección General de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial.



Figura 4.26 Vista en planta de la calle de la sección del centro de Veracruz y área de estudio de la investigación. Fuente: Modificado de plano oficial de la Dirección de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Territorial.



La [Tabla 4.5](#) analiza las 12 cuadras que conforman la calle de Independencia, y establece un análisis de cada uno de sus tramos para obtener sus relaciones de aspecto y su clasificación de acuerdo con Vardoulakis et al. (2003), según muestra la [Tabla 4.6](#) y gráficamente la [Figura 4.27](#), determinando las cuadras que fueron usadas en la campaña de medición de MeVA.

[Tabla 4.5](#) Dimensiones de las cuadras que conforman la calle de estudio.

	Independencia	Ancho	Altura Oriente	Altura Poniente	Razón Oriente	Razón Poniente	Longitud	Razón
		(W) m	(H) m	(H) m	H/W	H/W	(L) m	L/W
1	Av. Montesinos y Constitución	11,0	9,5	7,0	0,9	0,6	60,7	5,5
2	Constitución y Amparan	11,0	15,0	12,0	1,4	1,1	85,6	7,8
3	Amparan y Juárez	11,0	10,8	10,7	1,0	1,0	85,5	7,8
4	Juárez y Tejeda	11,0	15,1	14,0	1,4	1,3	82,5	7,5
5	Tejeda y Gutiérrez	11,0	0,0	25,8	0,0	2,3	48,5	4,4
6	Gutiérrez y Molina	11,0	25,2	13,8	2,3	1,3	45,0	4,1
7	Molina y Serdán	11,0	17,2	12,1	1,6	1,1	47,0	4,3
8	Serdán y Arista	11,0	16,0	12,8	1,5	1,2	89,8	8,2
9	Arista y Morales	11,0	10,8	10,8	1,0	1,0	86,3	7,8
10	Morales y Canal	11,0	16,0	13,6	1,5	1,2	86,3	7,8
11	Canal y Ocampo	11,0	16,3	25,4	1,5	2,3	68,8	6,3
12	Ocampo y Rayón	11,0	17,0	15,8	1,5	1,4	36,1	3,3

[Tabla 4.6](#) Análisis de las Relaciones de Aspecto y observaciones generales de las cuadras que conforman la calle Independencia

	Independencia	Razón Oriente	Razón Poniente	Clasificación H/W	Razón L/W	Clasificación- L/W	Observaciones
		H/W	H/W		L/W		
1	Av. Montesinos y Constitución	0,9	0,6	Semiprofundo	5,5	Medio	Asimétrico
2	Constitución y Amparan	1,4	1,1	Uniforme	7,8	Largo	Asimétrico
3	Amparan y Juárez	1,0	1,0	Uniforme	7,8	Largo	Simétrico
4	Juárez y Tejeda	1,4	1,3	Uniforme	7,5	Largo	Simétrico



5	Tejeda y Gutiérrez	0,0	2,3	Profundo	4,4	Medio	Asimétrico y área verde
6	Gutiérrez y Molina	2,3	1,3	Profundo	4,1	Medio	Asimétrico
7	Molina y Serdán	1,6	1,1	Uniforme	4,3	Medio	Asimétrico
8	Serdán y Arista	1,5	1,2	Uniforme	8,2	Largo	Asimétrico
9	Arista y Morales	1,0	1,0	Uniforme	7,8	Largo	Simétrico
10	Morales y Canal	1,5	1,2	Uniforme	7,8	Largo	Simétrico
11	Canal y Ocampo	1,5	2,3	Profundo	6,3	Medio	Asimétrico
12	Ocampo y Rayón	1,5	1,4	Uniforme	3,3	Corto	Simétrico

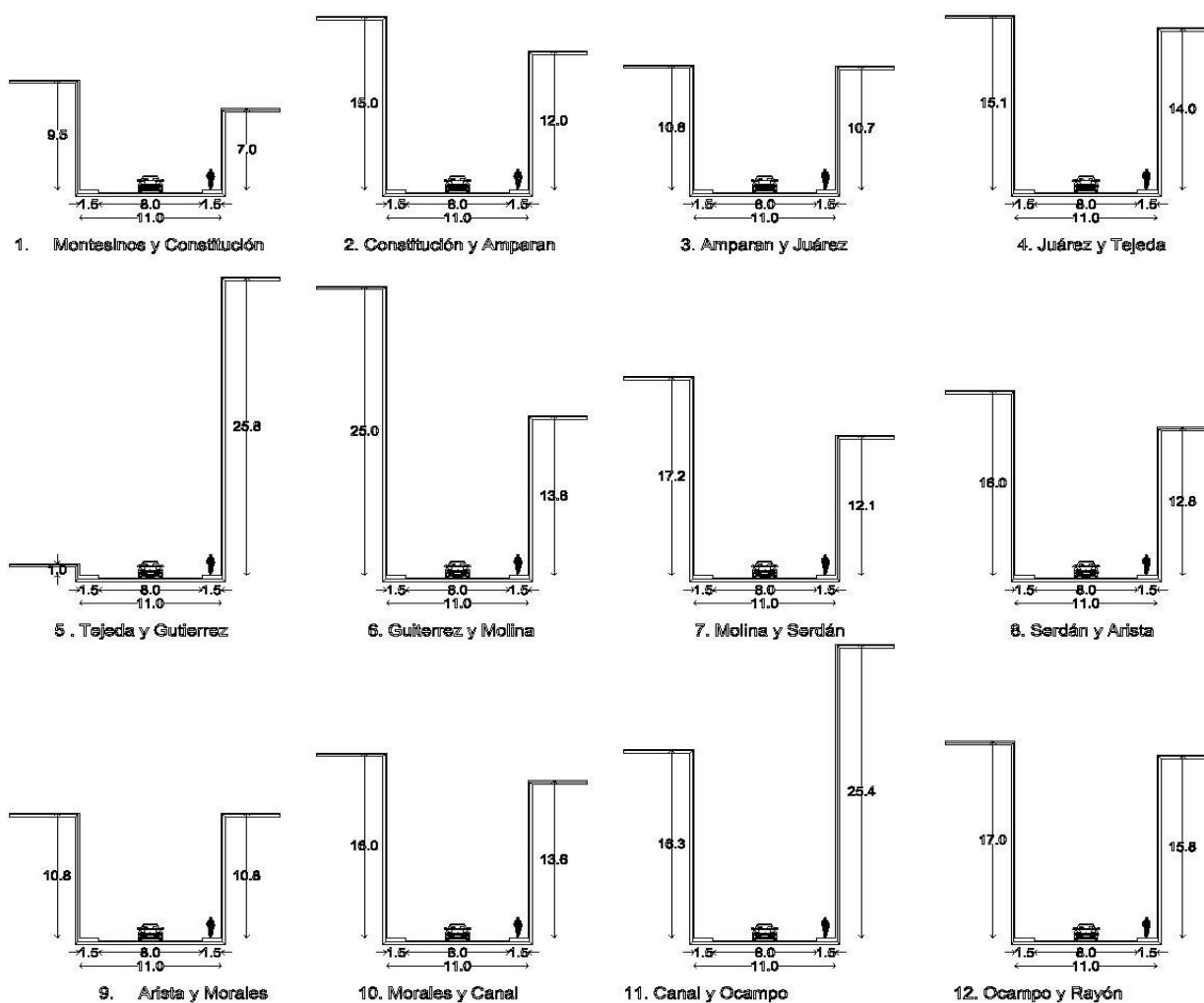


Figura 4.27 Secciones de las 12 cuadras que integran la Calle de Independencia.



4.5 Periodo de estudio

Del periodo de muestreo que comprende las mediciones es posible la consideración entre marzo a septiembre para periodo cálido y de noviembre hasta marzo para periodo semicálido, sin embargo, se debe identificar antes de la toma de datos, los días en los que se presentan condiciones normales meteorológicas o estables; en especial con alta presión, cielo despejado y poco viento, porque es cuando la ICU se intensifica, evitando condiciones de “Norte”, “Surada”, “Frente Frío”, “Frente Cálido” y “Onda Tropical”.

La determinación del periodo de estudio se fundamenta en el análisis de las Figuras 4.28 y 4.29, elaboradas con los datos meteorológicos del Centro Hidrometeorológico Regional Boca del Río y en la gráfica mensual de promedios de temperatura y radiación (Figura 4.30) obtenida por el software Climate Consultad 6.0 y Corruent Handbook.

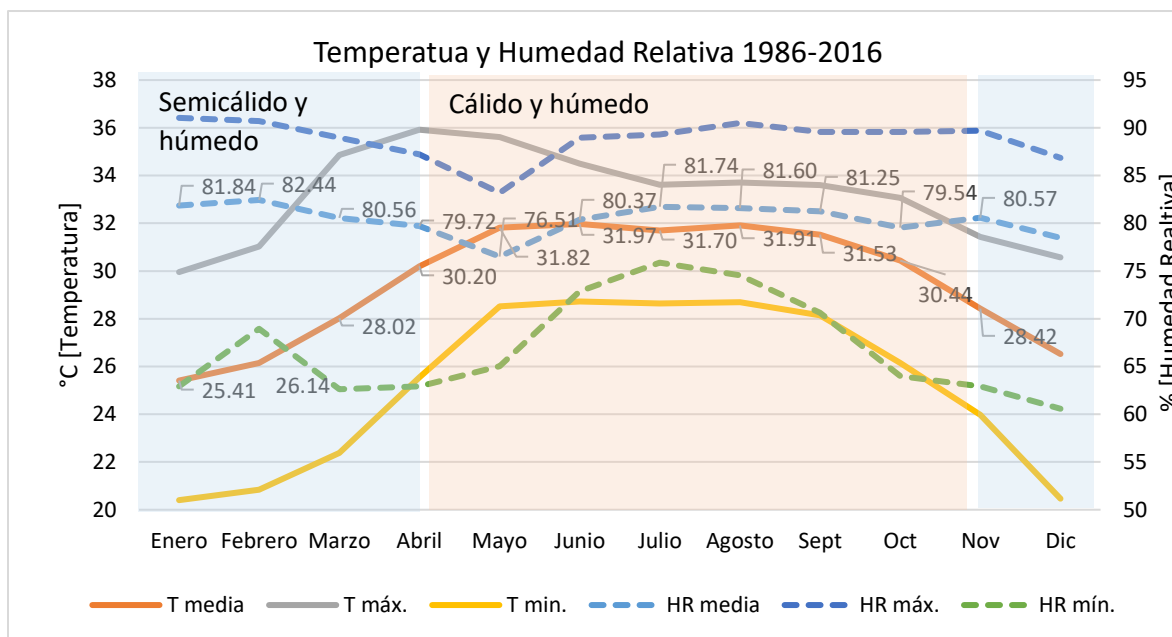


Figura 4.28 Temperatura media, máximas y mínima de 1987 a 2016. Gráfica realizada a partir de datos del Centro Hidrometeorológico Regional Boca del Río.

Esta última, se rige por la norma ASHREA Standard 55 and Corruent HandBook of Fundamental Model, el cual considera que el confort térmico se basa en la temperatura del bulbo seco, el nivel de ropa (clo), la actividad metabólica (met), la velocidad del aire, la humedad y la temperatura radiante media.

La temperatura media en promedio es de 29.50°C durante el año, y la máxima y mínima son de 33.15°C y 25.20°C respectivamente. Con respecto, a la humedad relativa media,



máxima y mínima son 80%, 89% y 67%. La gran variación se encuentra el periodo de lluvias que inicia en mayo y finaliza en octubre, encontrando su pico en julio con 360 mm de precipitación.

De las Figura 4.28 y 4.29, el confort térmico solo es el periodo de invierno, y el rango está fuera entre los meses de abril a septiembre, debido a la temperatura y radiación casi constante de 700 W/m² durante el año.

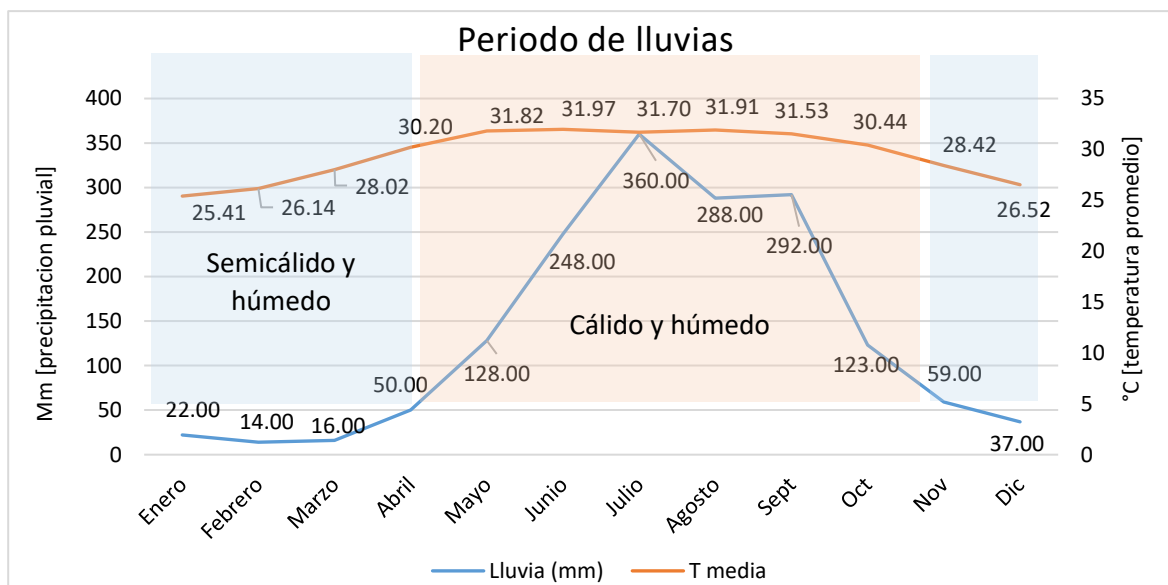


Figura 4.29 Temperatura media y promedio de lluvias de 1987 a 2016. Gráfica realizada a partir de datos del Centro Hidrometeorológico Regional Boca del Río.

Climate Consultant 6.0 (Build 12, Sep 22, 2017)

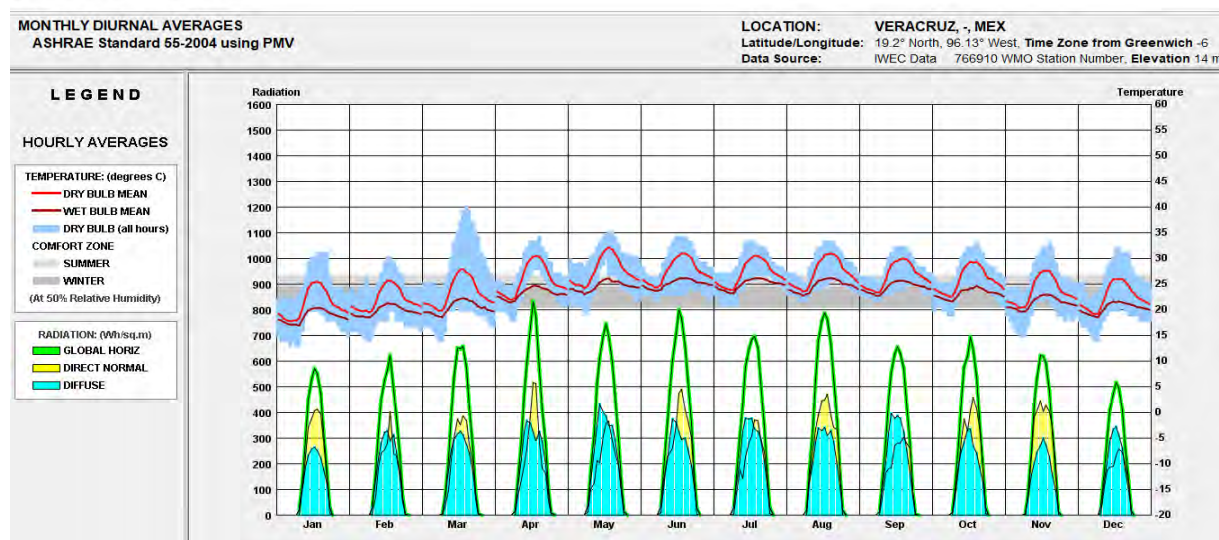


Figura 4.30 Gráfica mensual de promedios de temperatura y radiación en Veracruz, México, del Programa Cimate Consultad 6.0 de la WMO 766910 a una elevación de 14m, en TZ -6.



Los datos climatológicos de ciudad y puerto de Veracruz indican características de un clima cálido y húmedo a lo largo del año. Sin embargo, puede observarse cuando menos dos temporadas diferentes al año.

La primera temporada abarca los meses de abril a octubre (7 meses), y se caracteriza como una estación de clima cálido y húmedo, con fuertes precipitaciones de julio a agosto y una alta humedad.

Sus principales indicadores son:

- Temperatura promedio: 28.5°C
- Precipitación promedio: 226. 4 mm
- Índice ombrotérmico promedio: 3.3
- Humedad relativa promedio 87%
- Radiación s/p horizontal promedio (nublado típico): 829.2 Wm⁻²
- Índice termohígrico promedio: 22.1

La segunda temporada abarca los meses de noviembre a marzo (5 meses). La cual se caracteriza como una estación de clima semi-cálido y húmedo.

Sus principales indicadores son:

- Temperatura promedio: 25.8°C
- Precipitación mensual promedio: 26.9mm
- Índice termohígrico promedio: -0.4
- Humedad relativa promedio 76.7%
- Humedad absoluta promedio: 13.1gr/kg
- Radiación s/p horizontal promedio (nublado típico) 652.3 Wm⁻²
- Índice termo hídrico promedio: 17.92



4.6 Instrumentación de medición

La investigación demostró el alcance que se puede lograr con el desplazamiento de vehículos aéreos no tripulados en áreas urbanas (UAVs por sus siglas en inglés Unmanned Aerial Vehicles) llamados drones, con la finalidad de recolectar datos ambientales.

La metodología presentada, recopiló datos de forma transversal tipo "fotografía", para correlacionar las variables de temperatura del aire (T) y humedad relativa (HR) con el flujo de calor cedido por los vehículos que transitan en ese momento.

Se ejecutaron mediciones en un cañón urbano que comprende varias cuadras, con el fin de realizar escenarios de simulación con diferentes afluentes vehiculares y comparar los resultados obtenidos con las mediciones del vehículo aéreo (**MeVA**), modificando las dimensiones de las calles y la carga vehicular, para calcular las contribuciones de Q_{FV} de acuerdo con las condiciones microclimáticas del medio ambiente.

El dron manipulado fue el Phantom 3 ([Figura 4.31](#)), con parámetros operativos de -10 a 50°C, carga máxima de 500 gramos, velocidad máxima de ascenso y descenso de 6 m/s, velocidad máxima de vuelo de 10m/s y tiempo de vuelo de 19 minutos, para mayores especificaciones ver [Anexo B](#).



Figura 4.31 Dron modelo Phantom 3



Además, el Phantom 3 tiene un sistema de propulsión y sustentación tipo ala rotatoria en la parte superior, por lo que, si se colocan los sensores debajo de las hélices afecta los valores de los datos. Previniendo esta situación, fueron ubicados en la parte superior para evitar la turbulencia de las aspas del dron ([Figura 4.32](#)).



Figura 4.32 Simulación computarizada de corrientes dentro de cada rotor. Fuente: (Morán, 2018)

Dentro del diseño, se considera la capacidad de carga máxima del RPAS ([Anexos B](#)), y al considerar que a mayor carga el tiempo de vuelo se reduce, se diseña el prototipo con un peso máximo de 300 gr. El equipo sin soporte de sustentación pesa 50gr, por lo tanto, el soporte y anclaje se fabrican con un plástico ácido poliláctico termoplástico biodegradable (PLA) para impresora 3D.

El software para la impresión de la carcasa que contiene los diferentes sensores es el Autodesk Fusion 360® ([Figura 4.33](#)) el cual permite crear diseños conceptuales, industriales y mecánicos en 3D desde la nube, además de ser de libre acceso. Es un programa que considera el diseño asistido por computadora en 3D (CAD Computer Aided Desing), diseño y manufactura (CAM Computer Aided Manufacturing por sus siglas en inglés) e ingeniería asistida por computadora (CAE, Computer Aided Engineering por sus siglas en inglés) ([Autodesk, 2018](#)).

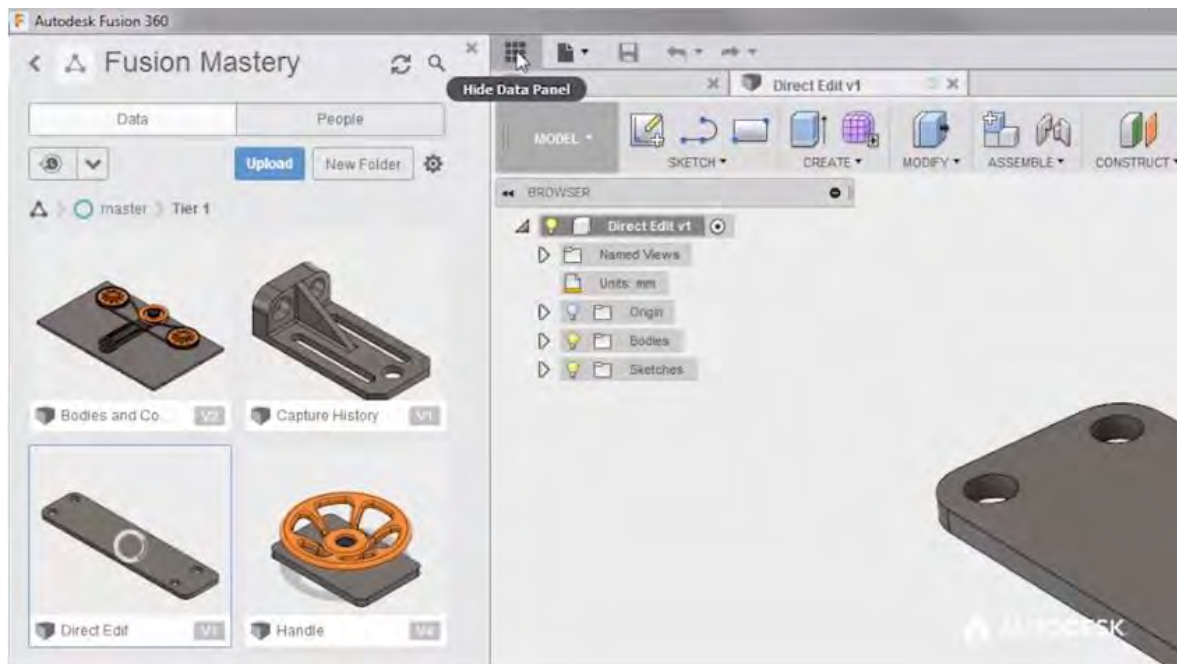


Figura 4.33 Captura de pantalla del software Fusión 360. Fuente: (Autodesk, 2018)

El sensor SHT75 fue seleccionado para medir la temperatura y la humedad relativa, con una precisión de $T=\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $HR = \pm 1.8\%$, resolución de $T=0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $HR = 0.05\%$, tiempo de respuesta $T= 5\text{-}30\text{seg}$ y $HR = 8\text{ segundos}$, y temperatura de funcionamiento de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $123.8\text{ }^{\circ}\text{C}$. También se introdujo un módulo GPS serie NEO-6M, para proporcionar la información de la posición exacta de los puntos de medición para ubicar la malla de datos (Figura 4.34) para más información de los equipos referirse al [Anexo B](#).

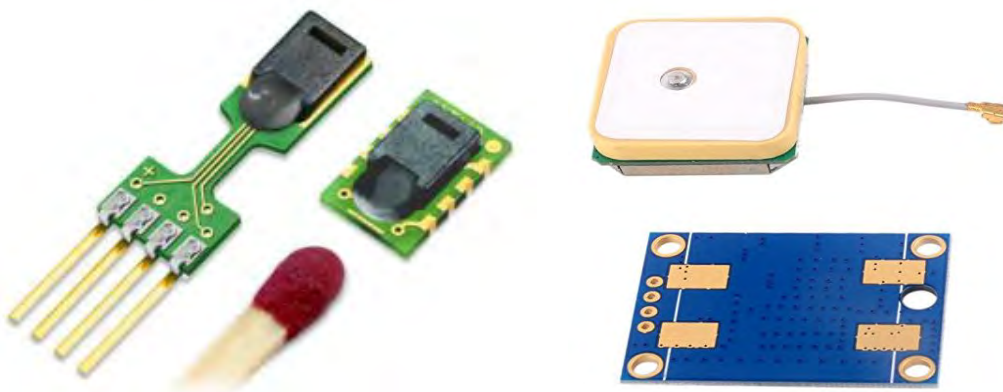


Figura 4.34 Sensor de temperatura y humedad relativa (SHT75) y módulo GPS (serie NEO-6M, GY-GPS6MV2).



4.6.2 Calibración

En el presente apartado se determinará la veracidad de los datos que poseen los equipos o instrumentos utilizados en las mediciones de campo dentro de esta investigación.

La calibración del equipo o instrumento en el actual capítulo sirve para atribuir los valores correspondientes y determinar qué tipo de correcciones numéricas se le deben de aplicar al equipo para que posean valores certeros.

La calibración es de suma importancia, para este proceso, puesto que se pone a prueba el uso del dron como apoyo para mediciones urbanas climáticas.

Por lo tanto, apoyó para:

- Garantizar la incertidumbre que puede alcanzarse con el instrumento de medida;
- confirmar si ha existido alguna alteración en el instrumento de medida; y
- determinar la desviación entre el valor indicado y el llamado verdadero valor.

Por consiguiente, el día 30 de marzo del 2018, se realizó una prueba con MeVA y 8 equipos en un espacio semiabierto ([Figura 4.35a](#)), para la comparación de mediciones entre ellos, cabe destacar que la temperatura oficial era de 29°C en la ciudad y puerto de Veracruz, con una Humedad Relativa de 70%.

El tiempo de prueba para la calibración duró 15 minutos, sin embargo, se consideraron 9 minutos, eliminando tres minutos después de iniciar para que el dron tomará posición adecuada, y tres minutos antes de finalizar, alcanzando 541 datos, puesto que la programación de los sensores para la captura de mediciones fue por segundo.

En la [Figura 4.35a](#) y [4.35b](#), se muestra la ubicación de los sensores en el área de prueba, se colocaron por par datalogger modelos U12-02 en cada esquina a una altura de 1.20 metros sobre las barras del laboratorio, y el dron fue elevado a una altura de tres metros para no afectar a los demás sensores.



Figura 4.35a Fotografía del espacio de Talleres de Construcción de la Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, de la Universidad Veracruzana, donde se realizó la prueba de calibración.

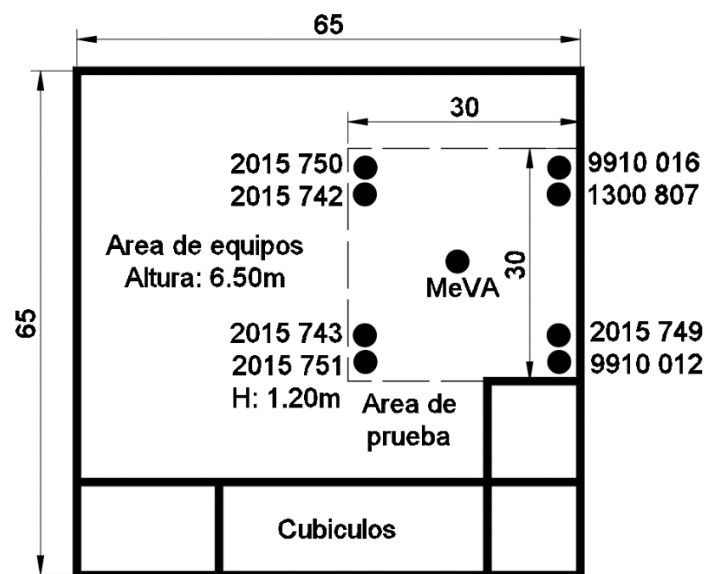


Figura 4.35b Planta del espacio de Talleres de Construcción de la Facultad de Ingeniería de la Construcción y el Hábitat, de la Universidad Veracruzana, donde se realizó la prueba de calibración y ubicación de los sensores



En la [Tabla 4.7](#) se apuntan los resultados de la Temperatura de Bulbo Seco entre los Datalogger modelo U12-02, tomando como base el equipo con número de serie 2015751. Se calculan los valores de correlación de los equipos, la ecuación de corrección, la desviación estándar (σ) y el error típico (SE) de los 541 datos (n) tomados.

Tabla 4.7 Resultados de Temperatura de Bulbo Seco entre los Datalogger modelo U12-02

#	Referencia	Contraste	R ²	Ecuación de Correlación	σ	SE	n
1	2015 751	2015 743	0.9891	$y = 1.2673x - 8.072$	0.131	0.011	541
2	2015 751	2015 750	0.9851	$y = 1.2471x - 7.2947$	0.129	0.013	541
3	2015 751	2015 742	0.9845	$y = 1.3071x - 9.1286$	0.136	0.013	541
4	2015 751	2015 749	0.9913	$y = 2.0058x - 29.687$	0.208	0.010	541
5	2015 751	9910 012	0.9863	$y = 1.8017x - 23.588$	0.187	0.012	541
6	2015 751	9910 016	0.9836	$y = 1.1074x - 2.5809$	0.115	0.013	541
7	2015 751	1300 807	0.9806	$y = 1.7255x - 21.328$	0.180	0.014	541

La [Tabla 4.8](#) contiene los valores (R^2 , ecuación de correlación, σ , SE) pero se toma como base el sensor de MeVA, comparado con los otros equipos U12-02. En la [Tabla 4.7](#), se demuestra que no tienen mayor deferencia los U12-02, con una R^2 no mayor de 0.98. Por lo tanto, el sensor de MeVA, es utilizado para el análisis de regresión y determinar en qué grado los valores de la variable dependiente (MeVA), y las variables dependientes (Datalogger modelos U12-02) tienen una tendencia lineal.

Tabla 4.8 Resultados de Temperatura de Bulbo Seco entre MeVA y los Datalogger modelo U12-02

#	Referencia	Contraste	R ²	Ecuación de Correlación	σ	SE	n
1	MeVa	2015 751	0.8312	$1.8874x - 26.554$	0.103	0.042	541
2	MeVa	2015 743	0.8482	$2.4294x - 42.85$	0.131	0.051	541
3	MeVa	2015 750	0.8526	$2.4018x - 41.853$	0.129	0.050	541
4	MeVa	2015 742	0.8620	$2.532x - 45.788$	0.136	0.050	541
5	MeVa	2015 749	0.8318	$3.8038x - 83.488$	0.208	0.085	541
6	MeVa	9910 012	0.8232	$3.4075x - 71.637$	0.187	0.079	541
7	MeVa	9910 016	0.8053	$2.0744x - 31.515$	0.115	0.051	541
8	MeVA	1300 807	0.8634	$3.3517x - 70.001$	0.180	0.066	541
		Promedio	0.8397				



La [Tabla 4.8](#) presenta el porcentaje de variación de MeVA con respecto a las variables independientes (U12-02) es menor, es decir, los resultados presentan mayor variación y la necesidad de requerir ajuste numérico, el promedio presentado para R^2 fue de 0.84; para analizar mejor las diferencias, la [Tabla 4.9](#) especifica el promedio en grados centígrados de diferencia obtenidas, oscilando entre los $\pm 0.206^\circ\text{C}$ a 0.871°C .

Tabla 4.9 Promedio de la Temperatura de Bulbo Seco entre MeVA y los Datalogger modelo

#	Referencia	TBS Promedio	Contraste	TBS Promedio	Diferencia
1	MeVa	30.045	2015 751	30.154	0.213
2	MeVa	30.045	2015 743	30.142	0.206
3	MeVa	30.045	2015 750	30.310	0.369
4	MeVa	30.045	2015 742	30.285	0.344
5	MeVa	30.045	2015 749	30.797	0.856
6	MeVa	30.045	9910 012	30.741	0.800
7	MeVa	30.045	9910 016	30.812	0.871
8	MeVa	30.045	1300 807	30.702	0.761
			Promedio	30.433	0.523

En relación con la variable de Humedad Relativa (HR), se analizaron también 541 datos, las [Tabla 4.10](#) muestra la correlación de los equipos U12-02, en [Tabla 4.11](#) la correlación de los U12-02 con los sensores de MeVA y la [Tabla 4.12](#) son los promedios en porcentajes (%) de las diferencias derivadas de las mediciones de la [Tabla 4.11](#).

Tabla 4.10 Resultados de Humedad Relativa entre los Datalogger modelo U12-02

#	Referencia	Contraste	R^2	Ecuación de Correlación	σ	SE	n
1	2015 751	2015 743	0.9946	$y = 1.2298x - 16.025$	0.326	0.019	541
2	2015 751	2015 750	0.8004	$y = 0.856x + 11.466$	0.253	0.118	541
3	2015 751	2015 742	0.8091	$y = 0.904x + 7.203$	0.266	0.116	541
4	2015 751	2015 749	0.9253	$y = 1.5706x - 41.471$	0.431	0.072	541
5	2015 751	9910 012	0.8729	$y = 1.949x - 66.592$	0.551	0.094	541
6	2015 751	9910 016	0.3899	$y = 0.8992x + 7.7629$	0.381	0.207	541
7	2015 751	1300 807	0.7178	$y = 1.1522x - 11.92$	0.359	0.140	541



Tabla 4.11 Resultados de la Humedad Relativa entre MeVA y los Datalogger modelo U12-02

#	Referencia	Contraste	R ²	Ecuación de Correlación	σ	SE	n
1	MeVa	2015 751	0.733	$y = 1.2412x - 19.59$	0.264	0.137	541
2	MeVa	2015 743	0.7448	$y = 1.5429x - 41.335$	0.326	0.165	541
3	MeVa	2015 750	0.6247	$y = 1.0964x - 7.8072$	0.253	0.155	541
4	MeVa	2015 742	0.6174	$y = 1.145x - 12.196$	0.266	0.164	541
5	MeVa	2015 749	0.6956	$y = 1.9744x - 74.075$	0.431	0.238	541
6	MeVa	9910 012	0.6417	$y = 2.4228x - 105.04$	0.551	0.330	541
7	MeVa	9910 016	0.238	$y = 1.0187x - 2.6563$	0.381	0.332	541
8	MeVA	1300 807	0.5353	$y = 1.4426x - 35.41$	0.359	0.245	541
		Promedio	0.6038				

Tabla 4.12 Promedio de la Temperatura de Bulbo Seco entre MeVA y los Datalogger modelo

#	Referencia	HR Promedio	Contraste	HR Promedio	Diferencia
1	MeVa	73.841	2015 751	72.065	2.251
2	MeVa	73.841	2015 743	72.598	1.718
3	MeVa	73.841	2015 750	73.152	1.164
4	MeVa	73.841	2015 742	72.351	1.965
5	MeVa	73.841	2015 749	71.715	2.601
6	MeVa	73.841	9910 012	73.863	0.588
7	MeVa	73.841	9910 016	72.567	1.7449
8	MeVA	73.841	1300 807	71.113	3.203
			Promedio	72.428	1.719

Los datos demuestran que la mayor variación se localiza en las mediciones de humedad relativa con un rango de diferencia oscila entre el 0.58 a 3.20%. En la [Figura 4.36](#) se muestran la gráfica de caja y bigotes con los valores de los promedios de ambas y sus rangos.

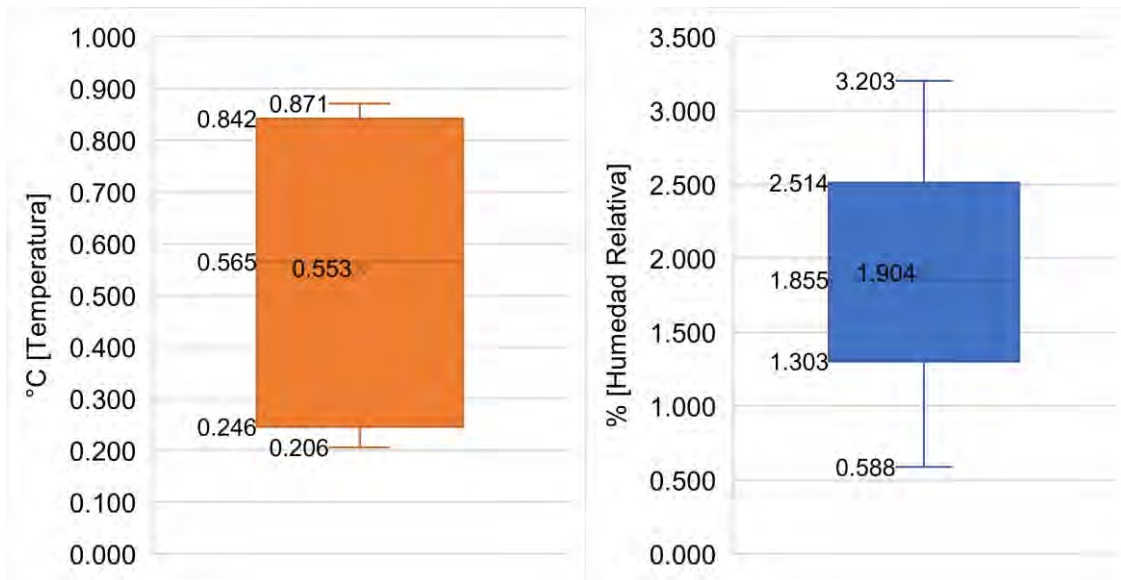


Figura 4.36 Graficas de cajas y bigotes de las variables de Temperatura y Humedad Relativa.

La base de datos de las mediciones del proceso para la elaboración de las [Tablas 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 y 4.12](#), se encuentran en el [Anexo D](#) y [Anexo E](#).



4.6.3 Protocolo de medición

Por ser una metodología nueva, se requirió determinar varios parámetros para su reproducción en otros contextos, ayudando en la toma de decisiones objetivas a la hora de las mediciones en campo

Las mediciones fueron ubicadas en tres posiciones, X, Y, y Z ([Figura 4.37](#)), considerando que, a la hora de la medición, la información debe incluir con la ubicación exacta de estas tres trayectorias gracias al GPS instalado en el equipo. Este dato permite un control detallado, tipo mallado hexagonal, que permite la comparación con la simulación.

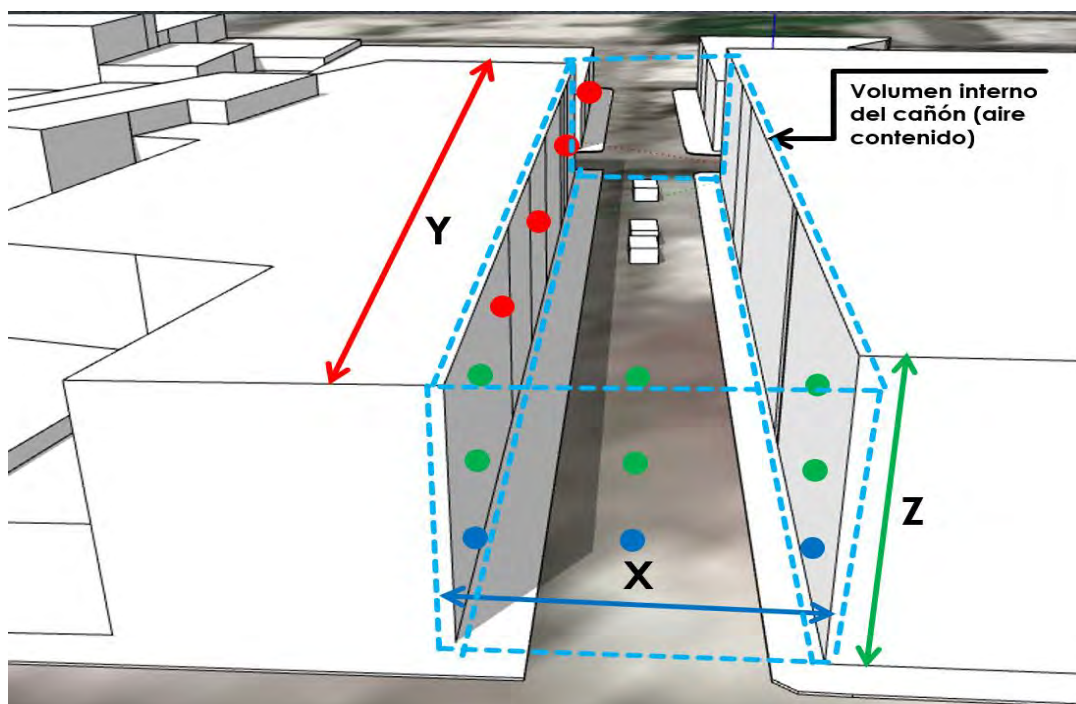


Figura 4.37 Ubicación de la posición del dron en las tres dimensiones del cañón, X (ancho=W), Y (longitud=L) y Z (altura=H).

En el eje de la X, el número de mediciones fue determinado por la cantidad de carriles, con las siguientes indicaciones:

- En cualquier cañón se debe considerar dos mediciones, ubicadas a los costados de las fachadas, según la literatura, a una distancia de 50cm todavía se siente el flujo de calor expulsado por los recubrimientos, por lo tanto, de ser posible (sin interferencia de anuncios o la morfología de la envolvente es lisa, sin perforaciones o balcones), la medición queda ubicada a 50 cm en ambos lados;



- Si es un carril para movimiento y uno para estacionarse deberá ser un punto, interno en el cañón;
- Si es un carril para transitarlo y en ambos lados se puede estacionar, son dos mediciones; y
- Por cada carril extra, se agrega un punto más.

En el eje de la Z, el número de mediciones estar determinado por los niveles de las edificaciones, con las siguientes observaciones:

- En cualquier caso, se debe considerar una medición a un metro más del final arriba de la azotea de las edificaciones dentro del cañón, esto permite saber la transición de cambio de valores con el fenómeno de convección;
- Esta metodología, sólo se aplica a cañones con un mínimo dos niveles o altura superior a 3 metros;
- Si es de dos niveles miden dos puntos, el primero a una altura de dos metros y el segundo a la mitad del segundo nivel;
- Por cada nivel más se agrega un punto ubicado a la mitad del nivel; y
- Si es un solo nivel de una altura no mayor a 3 metros.

En el eje de la Y, el número de mediciones fue determinado la longitud del cañón y el tiempo de vuelo del dron, con las siguientes observaciones:

- En cualquier caso, se debe considerar dos mediciones, ubicadas al inicio y final del cañón;
- Si el cañón tiene una longitud menor a 100 m, las mediciones serán a cada 5 m.; y
- Si el cañón tiene una longitud mayor a 100m, las mediciones serán a cada 10 m.

Estas mediciones estan acompañadas preferentemente con una cámara para filmar el afluente vehicular, que permita posteriormente el conteo de los coches y la determinación de su tipología en la cedula de registro ([Figura 4.38](#)).

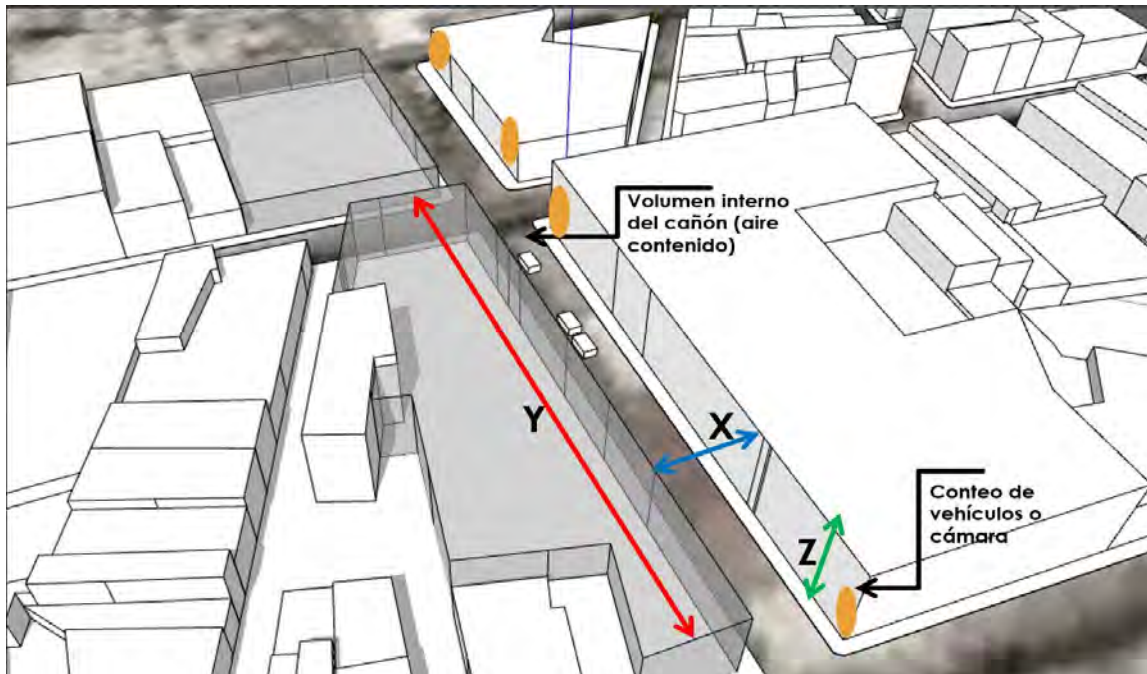


Figura 4.38 Ubicación de la posición del conteo del parque vehicular



4.7 Presentación de resultados de campo

El siguiente capítulo presenta las gráficas de superficie de Temperatura y Humedad Relativa de las mediciones de campo realizadas en dos periodos, tanto cálido como semicálido, las primeras el día 19 y 20 de mayo del 2018 y la segunda campaña el 2 y 3 de febrero del 2019. Todos los datos obtenidos están en el [Anexo Tabla F. Base de datos de mediciones de campo](#).

4.7.1 Medición el 19 y 20 de mayo del 2018

El primer grupo de datos obtenidos en campo para la investigación fueron los días 19 y 20 (sábado y domingo) de mayo del 2018. Durante el día 19, se presenta un afluente vehicular de 12 autos por minuto a una velocidad de 40 km/hr (promedio) y el día 20 un tráfico de 6 autos por minuto a 40 km/hr en un horario de 13:30 a 14:30 horas. Cabe mencionar que dichos datos fueron corregidos gracias a la calibración obtenida.

Las temperaturas generales registradas en la ciudad durante los días fueron de 32°C de temperatura con 70% HR, alcanzado una sensación térmica de 36°C. La recolección inicio a las 13:30 horas, sin embargo, durante el proceso, la fachada poniente presentaba sombra y el poniente una exposición solar de 30 minutos. La velocidad del viento fue de 1.5m/s con una dirección de S-N, en los extremos de las calles se presentó un movimiento de turbulencia del viento entrante con una orientación de E-W y una velocidad de 2.0m/s.

Los resultados de ambas variables se ejemplifican en las gráficas 3D de superficie a una altura de 1.5m y 3.0m. En el eje Z, se grafica la temperatura, en eje X representa la longitud en metros de toda la avenida y la Y es el ancho de la calle ubicando las tres mediciones.

De los resultados con los datos térmicos se interpretó las siguientes relaciones:

A la altura de 1.50 m con un tráfico 12 autos/min, el punto más alto de temperatura está en la fachada oriente, debido a la radiación solar propia de la tarde, sin embargo, se observa un pico en el centro del cañón. En este caso las temperaturas presentaron mayor oscilación, entre los 32 a 36.5°C en los costados de las aceras ([Figura 4.39](#)).

A la altura de 1.50 m con un tráfico de 6 autos/min, el punto más alto en temperatura se encuentra en el centro de la calle; con variaciones de 1.5°C en respecto a la fachada poniente y 1°C al oriente, determinando que el aumento de temperatura al centro es consecuencia del pavimento (concreto), incrementado a 3°C el microclima del cañón ([Figura 4.40](#)).

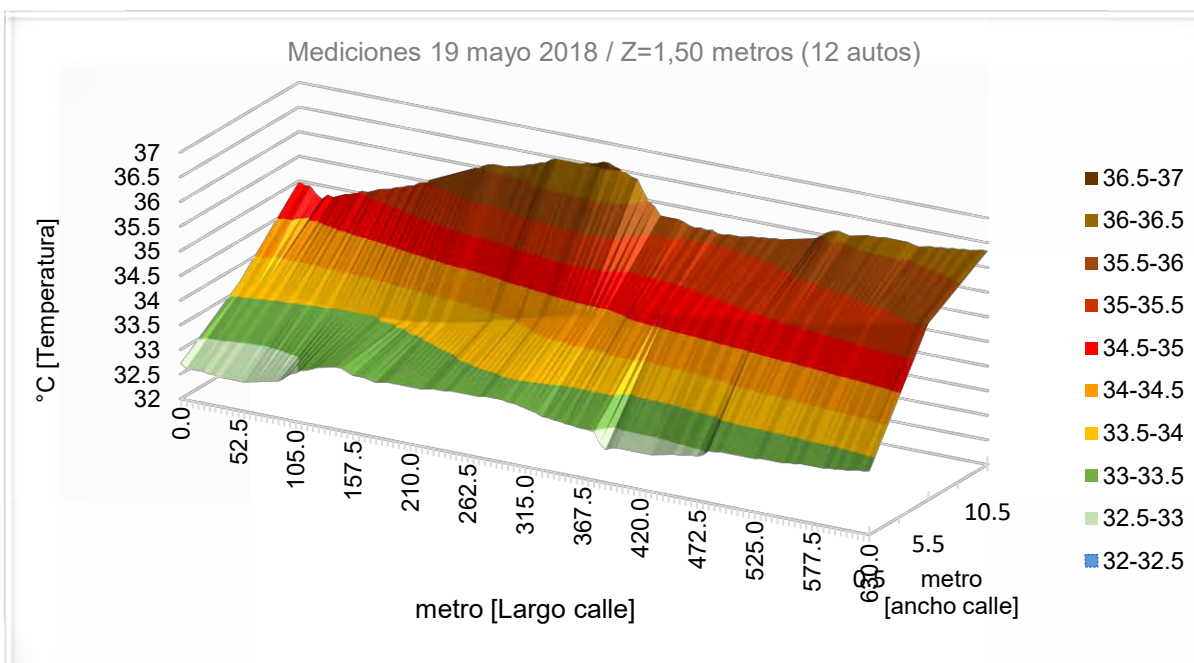


Figura 4.39 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a **1.50 m** con tráfico de **12 autos** por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 19 de mayo del 2018.

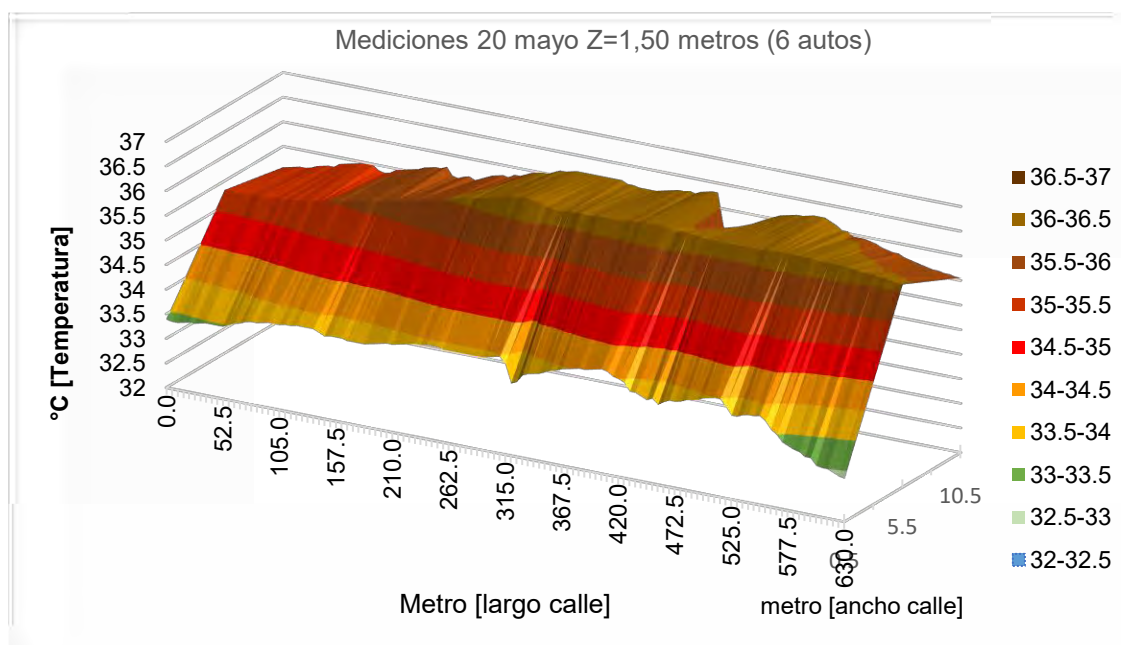


Figura 4.40 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a **1.50 m** con tráfico de **6 autos** por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 20 de mayo del 2018.

A 3.00 m de altura, con tráfico de 12 autos/min, la temperatura es menor en el punto medio, y su diferencia con la temperatura de los extremos es de a 1.50 a 2.5°C; posiblemente ocasionado por la corriente de viento generada por los autos con una dirección hacia los extremos del cañón ([Figura 4.41](#)).

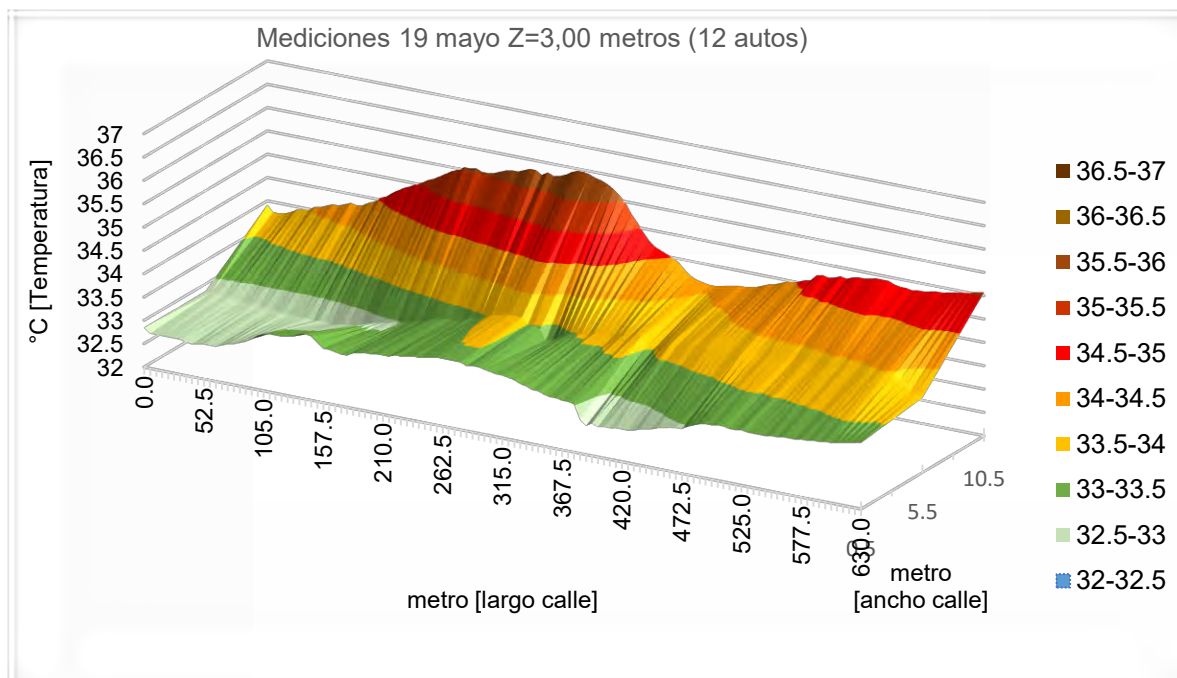


Figura 4.41 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a **3.00 m** con tráfico de **12 autos** por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 19 de mayo del 2018.

A 3.00 m de altura, con tráfico de 6 autos/min, los puntos altos de temperatura se encontraron en la fachada oriente, pero su diferencia no es tan pronunciada, y se vuelve casi estable. En este caso la diferencia entre el alza es casi de 1.5°C ([Figura 4.42](#)).

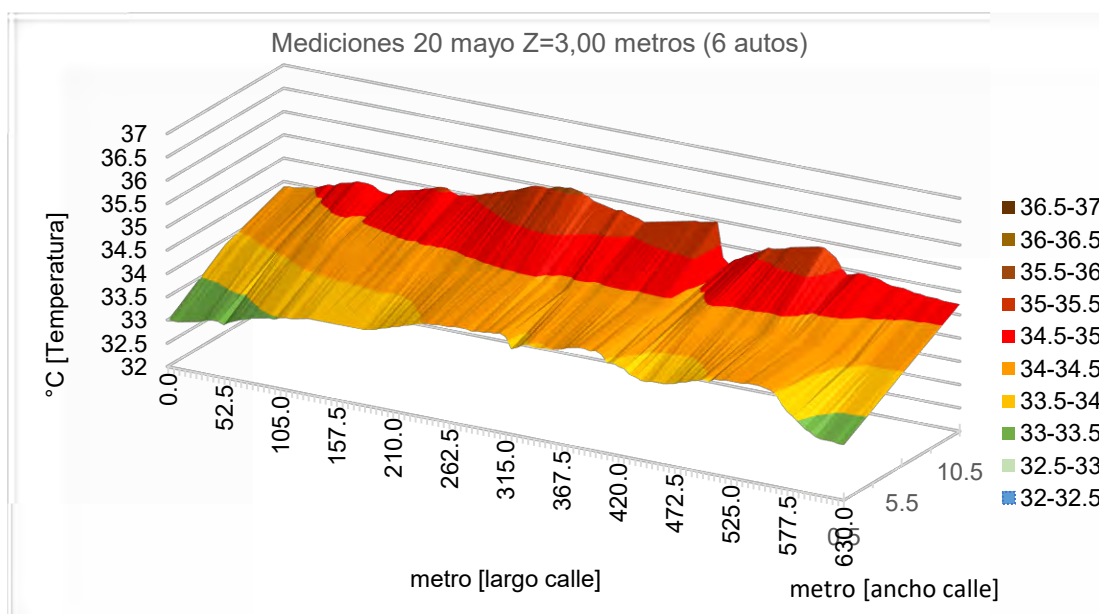


Figura 4.42 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a **3.00 m** con tráfico de **6 autos** por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 20 de mayo del 2018.



De los resultados, se interpretó la siguiente relación de las variables: humedad relativa y tráfico vehicular: Con un tráfico de 6 autos/min, la medición más baja de HR se ubica en el centro de la calle, a una altura de 1.5m, HR= 58% y a 3.0m, HR=64%. En los costados, se presenta mayor HR, a 1.5m el valor es de 66% y a 3.0 m es igual a 68% ([Figura 4.43](#) y [4.44](#)).

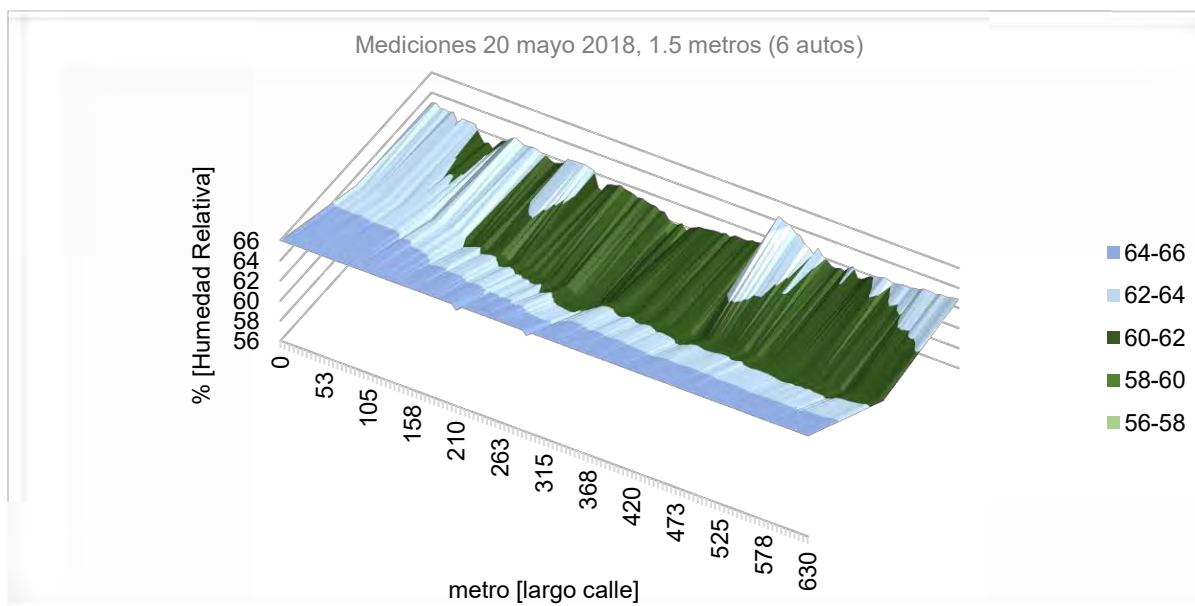


Figura 4.43 Grafica de superficie que muestra el perfil de Humedad Relativa a **1.50 m** con tráfico de **6 autos** por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 20 de mayo del 2018.

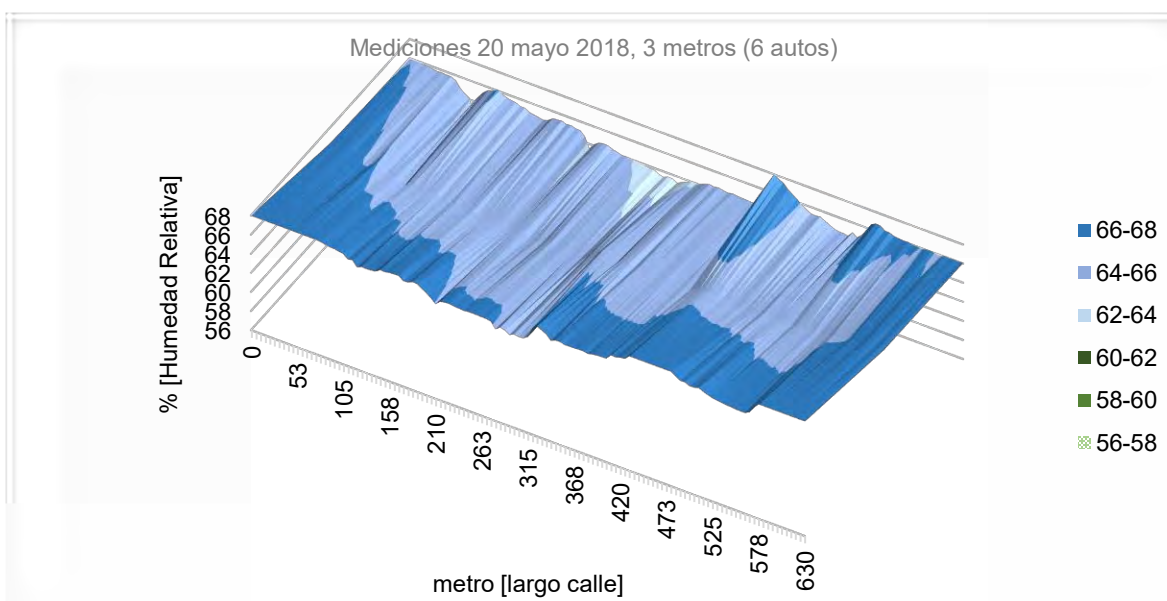


Figura 4.44 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a **3.0 m** con tráfico de **6 autos** por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 20 de mayo del 2018.



Con un tráfico de 12 autos/min, las gráficas de HR se observan más estables, en especial a una altura de 3.0m con una diferencia casi nula ([Figura 4.45 y 4.46](#)).

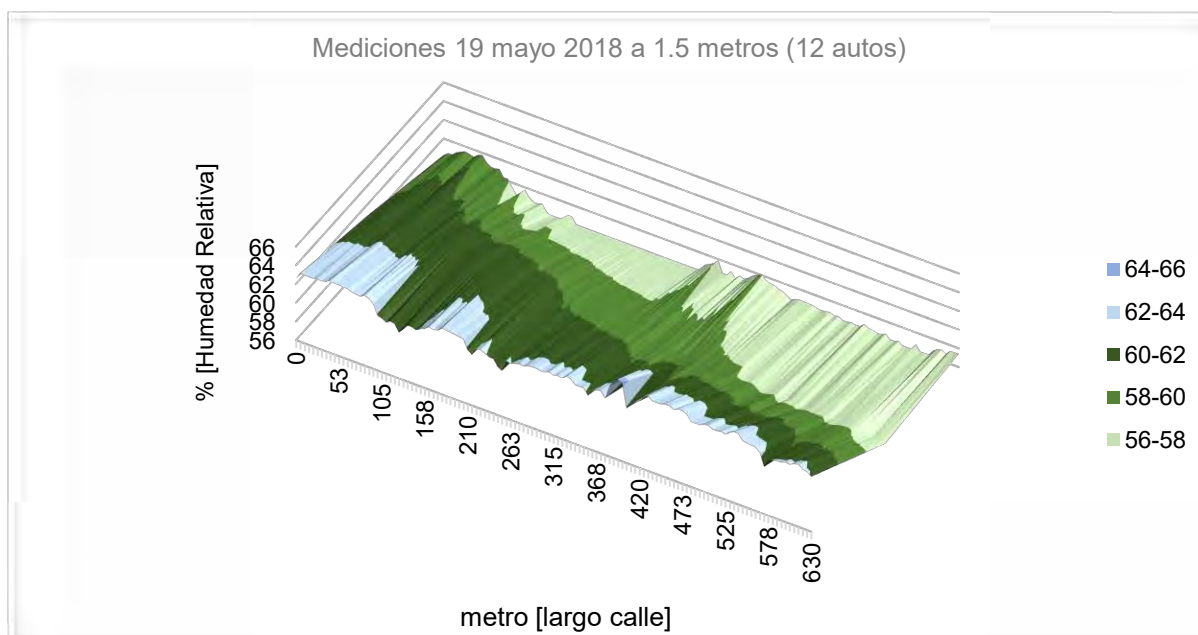


Figura 4.45 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a **1.50 m** con tráfico de **12 autos** por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 19 de mayo del 2018.

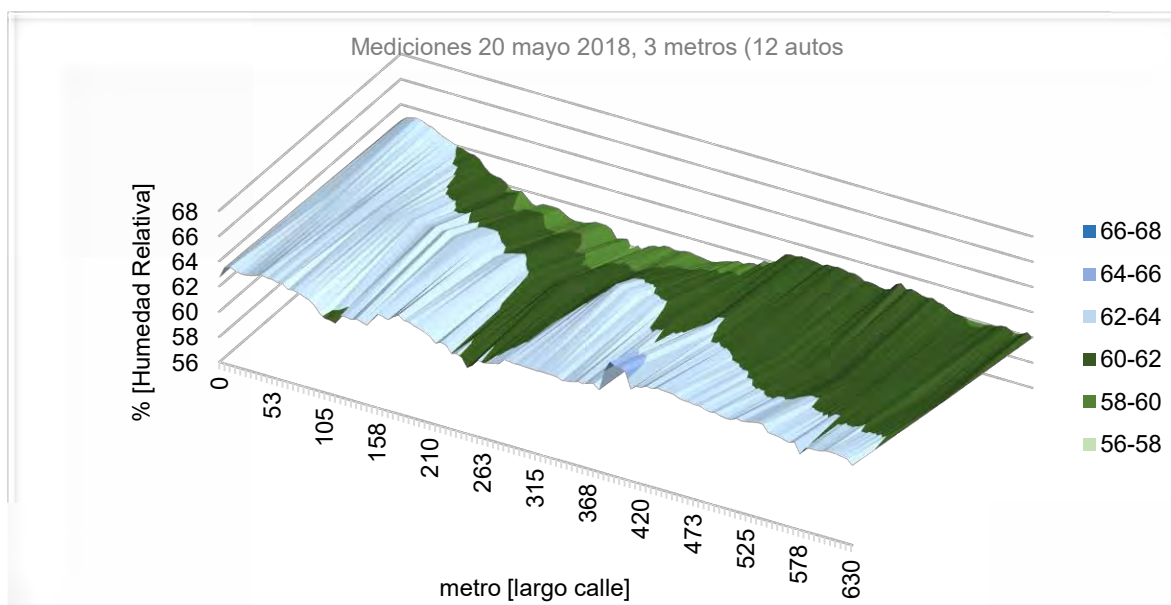


Figura 4.46 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a **3.0 m** con tráfico de **12 autos** por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas el 19 de mayo del 2018.



4.7.2 Mediciones 2 y 3 de febrero del 2019

En la segunda campaña de mediciones en campo, se analizaron las alturas de 1.50 y 3.0 metros, agregando una tercera a una altura de 4.50 metros, demostrando que a esa elevación se estabilizan los valores de las temperaturas, así como lo expresan las simulaciones del ANSYS que más adelante se comparan con los datos medidos. Al igual que las mediciones anteriores, estas fueron corregidas.

La data obtenida el 02 y 03 de febrero del 2019, se realizó un sábado y domingo para obtener una diferente cantidad de coche en circulación, pero se toma en una diferente época del año que es invierno, a diferencia de la anterior que fue primavera, teniendo cuidado que la magnitud del viento sea parecida. La gran diferencia entre ambas fue la temperatura registrada oficial en la ciudad y puerto de Veracruz, siendo de 28°C, recordando que la anterior fue de 32°C.

Las medidas fueron realizadas a las 13:30 horas del día, por lo que la fachada poniente ya presentaba una exposición solar de 30 minutos, demostrado en las gráficas, sin embargo, la sombra en este estudio, debido a la época del año, presenta menor longitud.

En las [Figuras 4.47 y 4.48](#), a una altura de 1.50 metros indistintamente del número de autos, las temperaturas muestran un incremento en el centro de la calle, más pronunciado que en la época cálida y un alza de 5°C más en relación con la temperatura oficial de la ciudad.

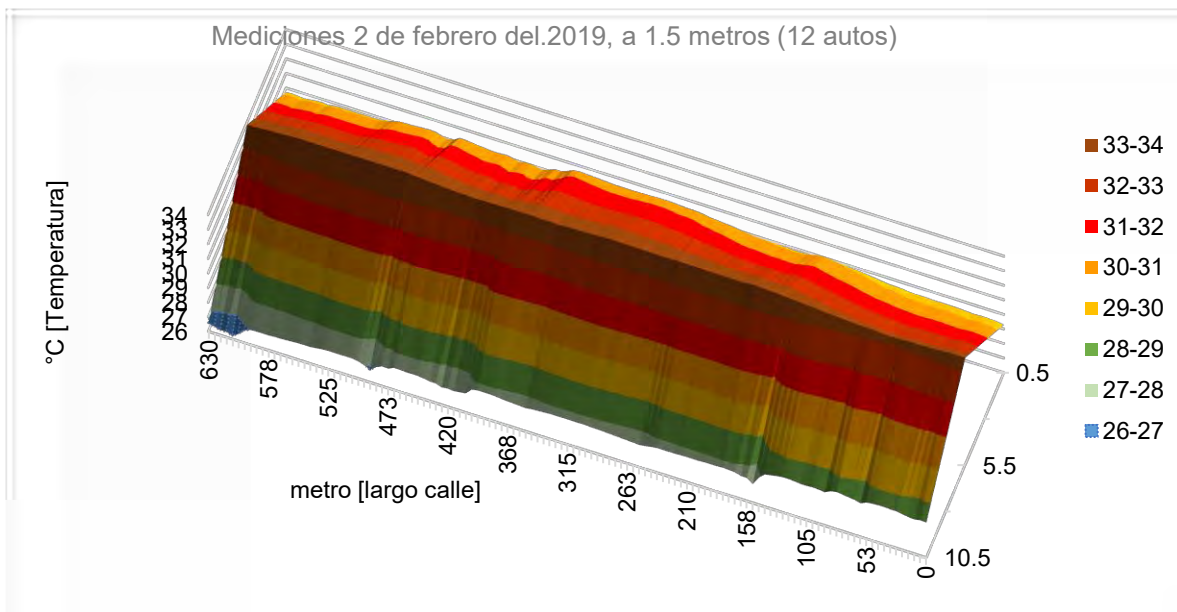


Figura 4.47 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 1.5 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 2 de febrero del 2019



La diferencia con las mediciones anteriores de temperatura (periodo cálido) en promedio es de 1°C, demostrando que la ICU es más notoria en las estaciones de frío, como menciona la literatura.

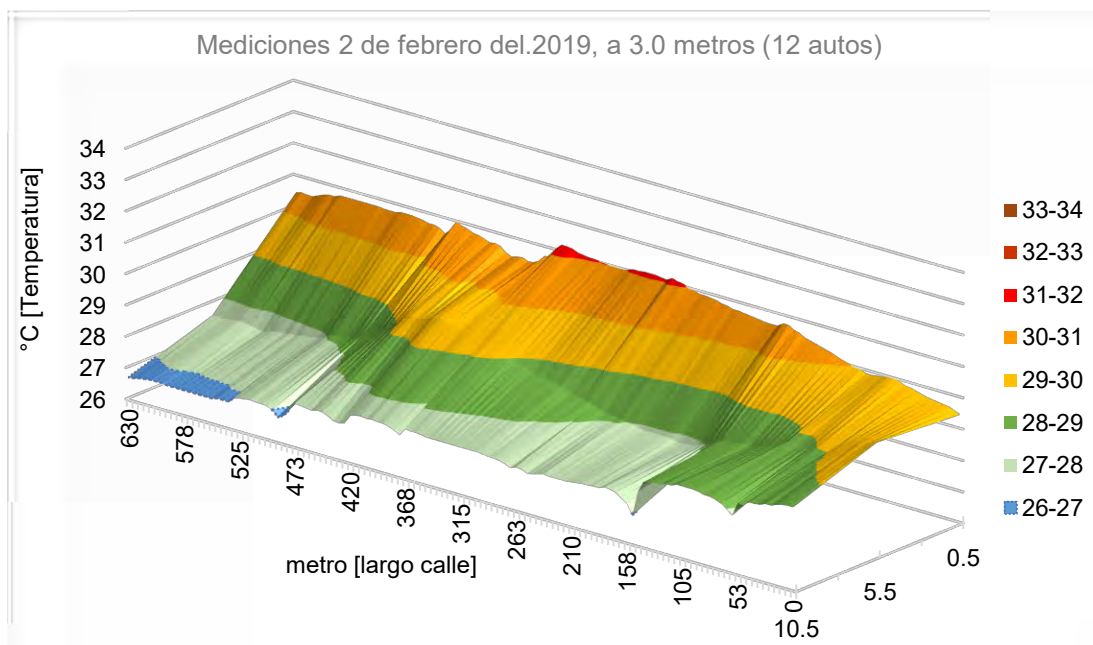


Figura 4.48 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a **1.5 m** con tráfico de **6 autos** por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 3 de febrero del 2019

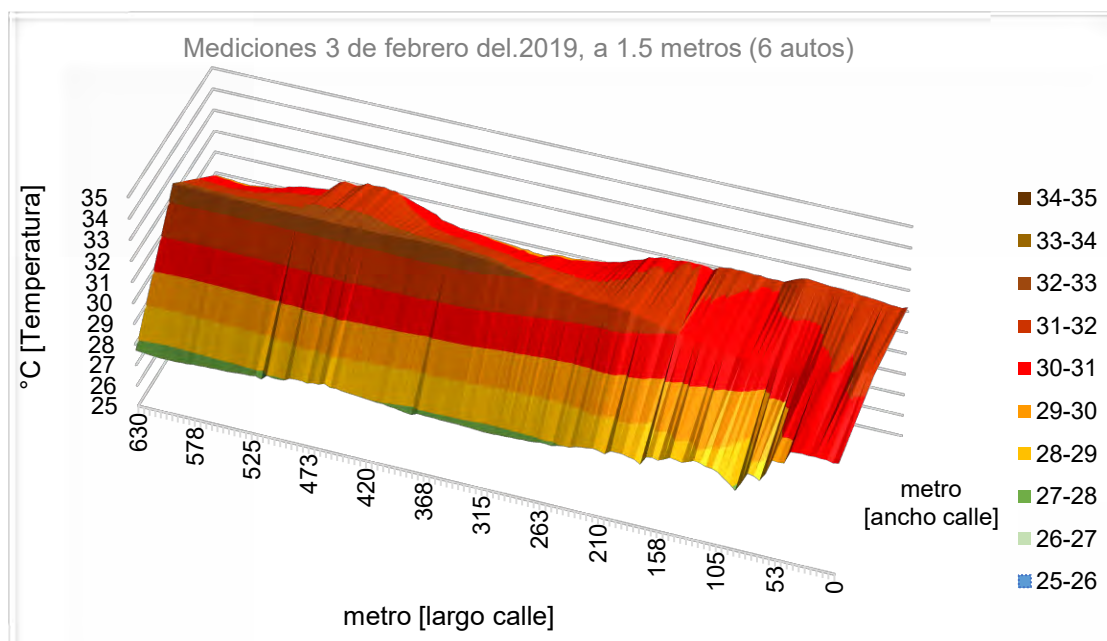


Figura 4.49 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a **3.0 m** con tráfico de **12 autos** por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 2 de febrero del 2019



Cuando hay un aforo de 12 autos, a la altura de 3.0 metros ([Figura 4.49](#)), la temperatura es más estable y la diferencia con el dato oficial es menor a 1°C. Sin embargo, en la medición a 4.5 metros ([Figura 4.50](#)), el grado centígrado se vuelven 2°C.

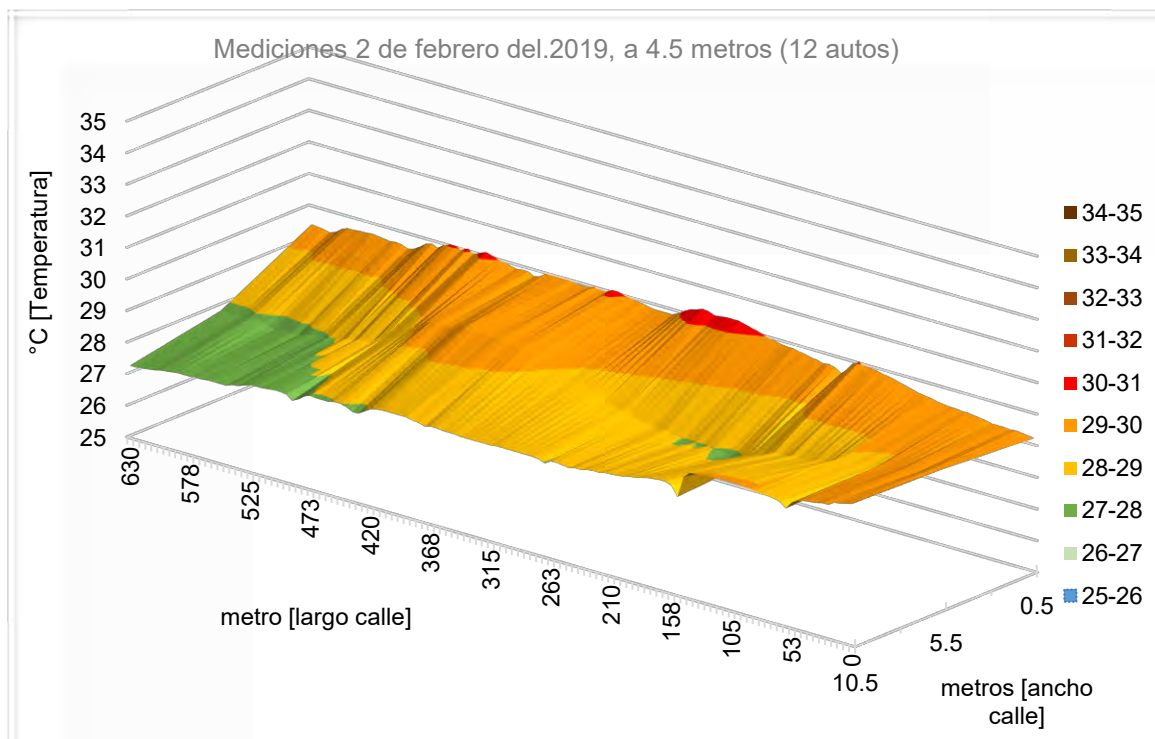


Figura 4.50 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 4.5 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 2 de febrero del 2019

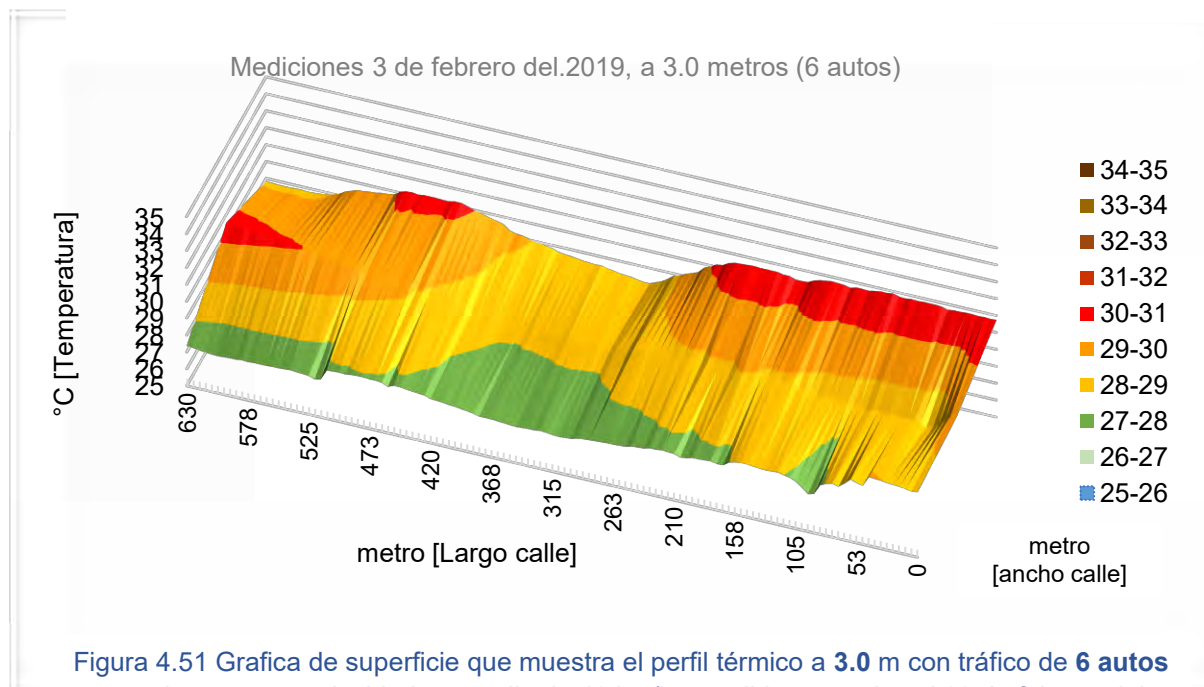


Figura 4.51 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a 3.0 m con tráfico de 6 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 03 de febrero del 2019

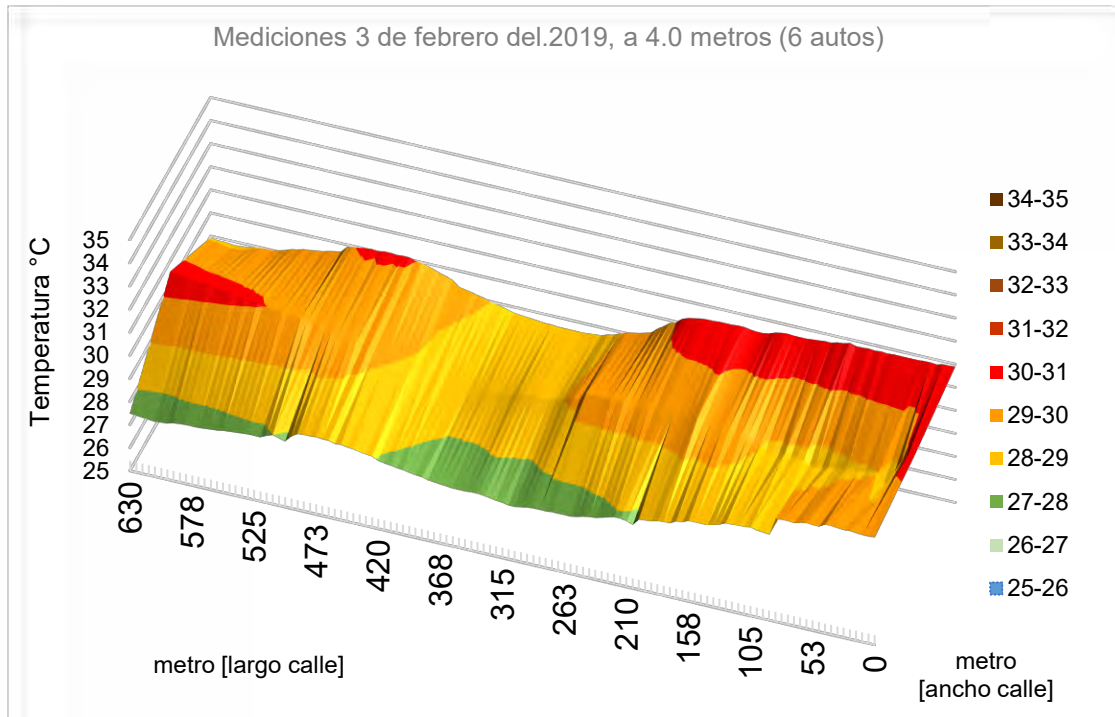


Figura 4.52 Grafica de superficie que muestra el perfil térmico a **4.5 m** con tráfico de **06 autos** por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 3 de febrero del 2019

En las mediciones del 3 de febrero del 2019, es decir con 6 autos por minuto, tanto a la altura de 3.0 metros como a 4.50 metros no se observa variación en el perfil térmico, sin embargo, hay un alza de 3°C en relación con los datos oficiales de temperatura ([Figura 4.51](#) y [4.52](#)).

A continuación, se muestran las gráficas de superficie de la Humedad Relativa obtenida con los datos de las mediciones de campo.

En el siguiente orden:

- Las tres primera son con la cantidad de mayor de autos (12 unidades) variando la altura, 1.5, 3.0 y 4.5 metros respectivamente ([Figuras 4.53, 4.54 y 4.55](#)),
- y las siguiente tres muestran con menor cantidad de autos (6 unidades) virando las mismas alturas ([Figuras 4.56, 4.57 y 4.58](#)).

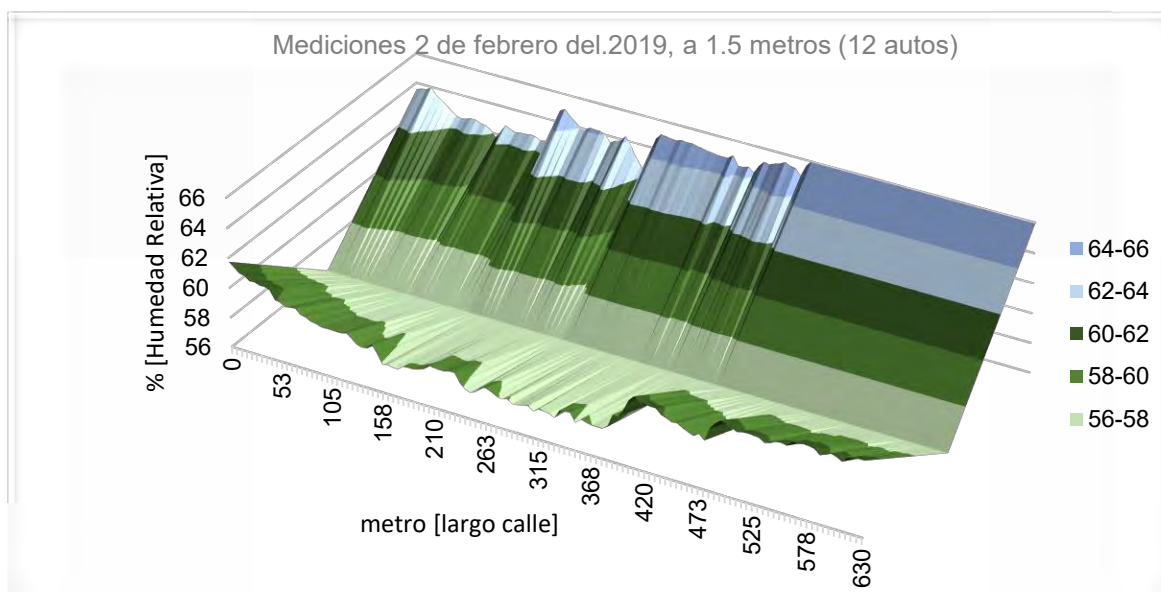


Figura 4.53 Grafica de superficie que muestra el perfil de la Humedad Relativa a 1.5 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 2 de febrero del 2019.

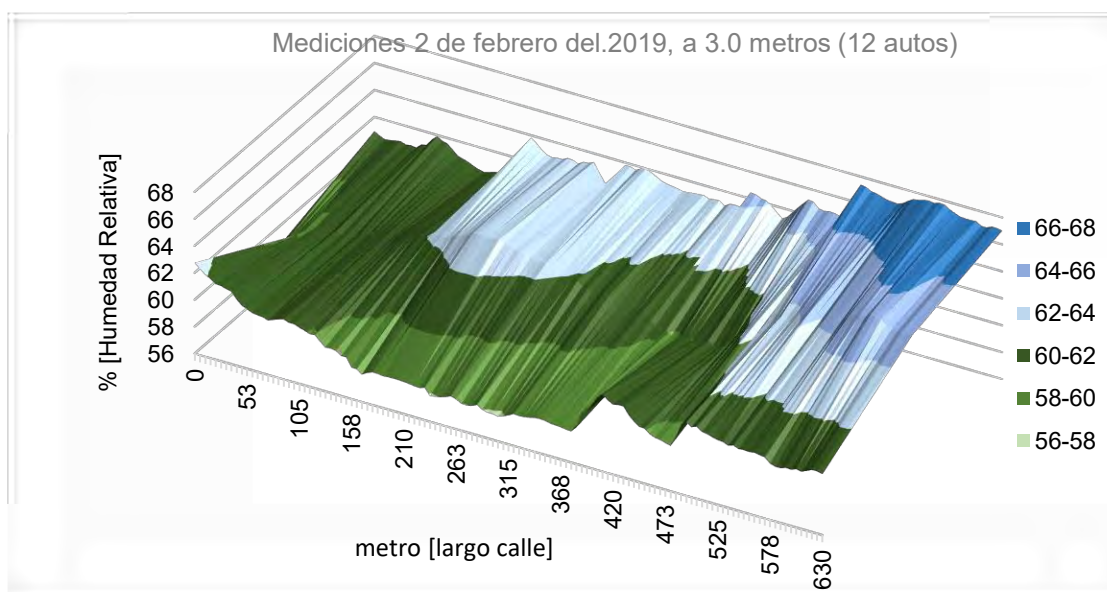


Figura 4.54 Grafica de superficie que muestra el perfil de la Humedad Relativa a 3.0 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 2 de febrero del 2019.

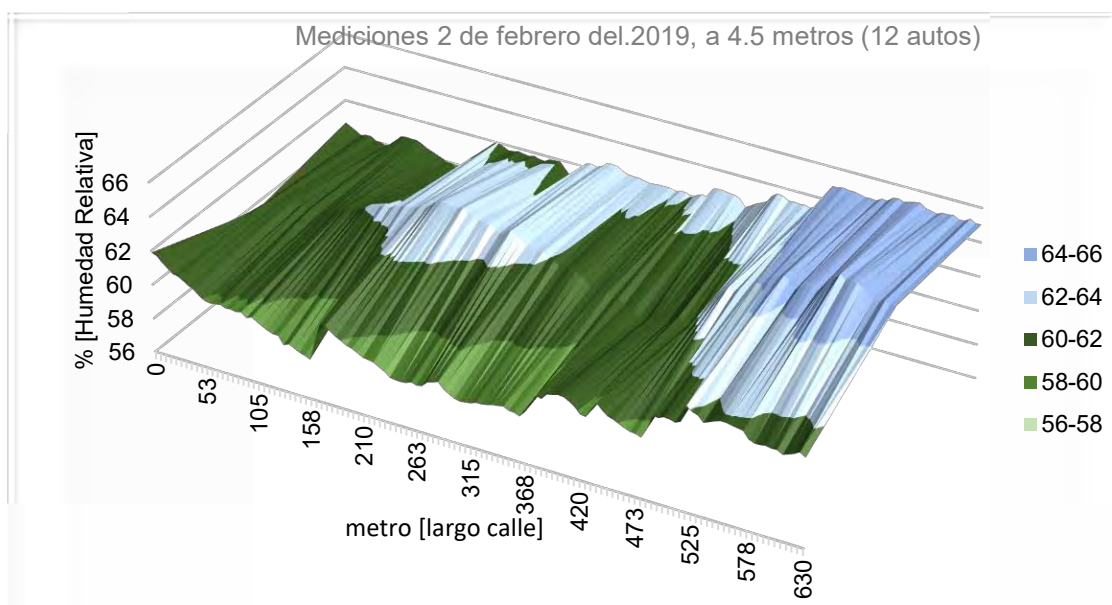


Figura 4.55 Grafica de superficie que muestra el perfil de la Humedad Relativa a 4.5 m con tráfico de 12 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 2 de febrero del 2019.

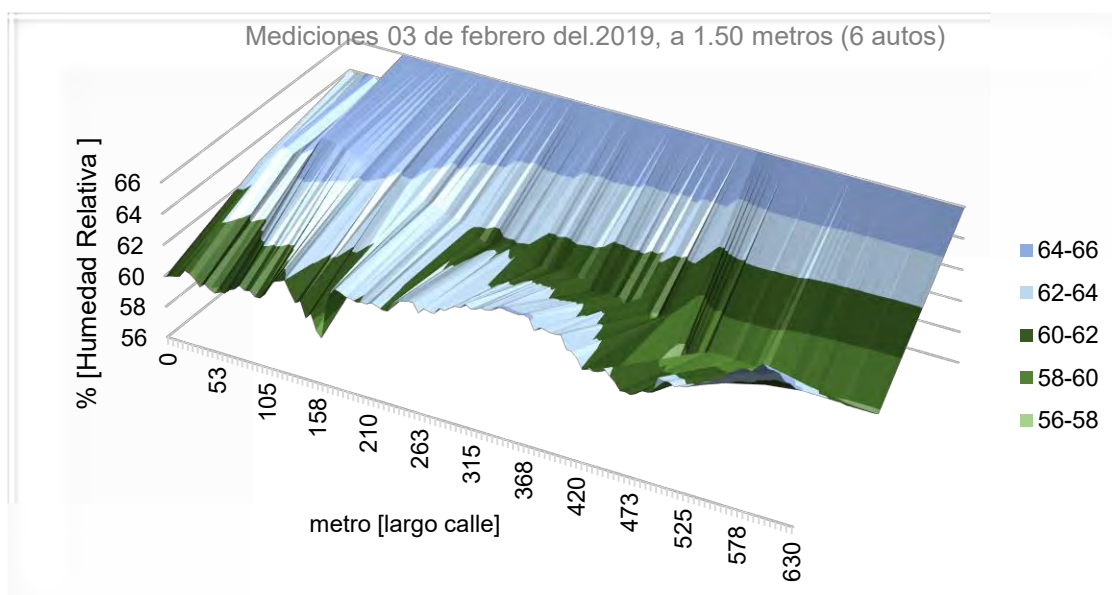


Figura 4.56 Grafica de superficie que muestra el perfil de la Humedad Relativ a 1.5 m con tráfico de 6 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 3 de febrero del 2019

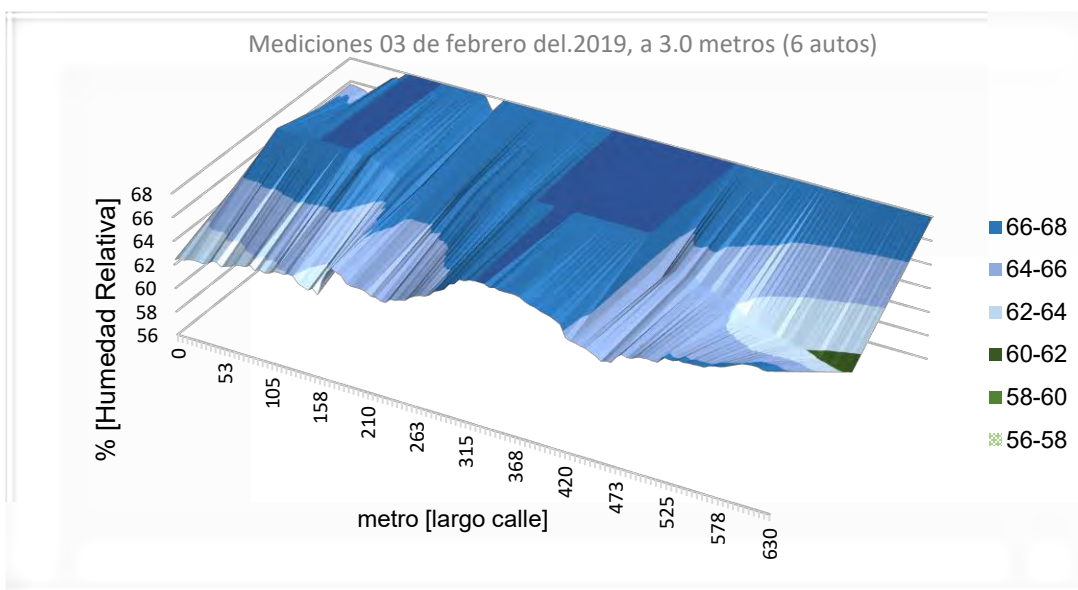


Figura 4.57 Grafica de superficie que muestra el perfil de la Humedad Relativa a 3.0 m con tráfico de 6 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 3 de febrero del 2019

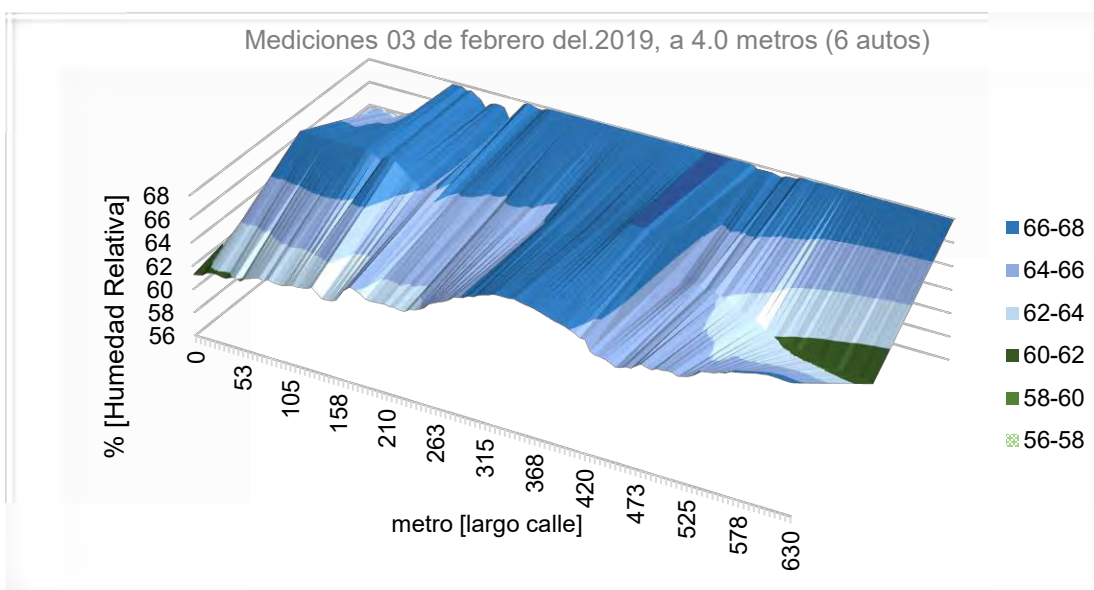


Figura 4.58 Grafica de superficie que muestra el perfil de la Humedad Relativa a 4.5 m con tráfico de 06 autos por minuto a una velocidad promedio de 40 km/hr, medidas tomadas el 3 de febrero del 2019



V. MODELO DE SIMULACIÓN CFD

Los métodos para la predicción de las temperaturas del aire urbano en sus diferentes escalas horizontales y verticales, según Kolokotroni et al. (2010), se clasifican en cuatro categorías: a) modelos de climatología; b) modelos empíricos; c) modelos de dinámica de fluidos computacional (CFD); y d) métodos de regresión estadística.

En esta investigación, los cálculos de transferencia de calor son resueltos a través de *the unstructured finite volume solver* ANSYS FLUENT 14.5. El software permite ser utilizado para cualquier escala y combina el uso de ecuaciones propias del proceso de intercambio de energía dentro de la mecánica de fluidos y de la termodinámica.

En general, según Mirzaei (2015), el impacto de diferentes parámetros tales como: a) la orientación del edificio, b) relación de aspecto, c) materiales de superficie y d) la vegetación en el cálculo de la convección superficial, valoraciones térmicas para la comodidad de los peatones, y la ventilación urbana pueden ser investigado usando CFD.

5.1 Volumen de control

Se realizó dos grupos de simulaciones (30 y 36 casos en cada uno) para comparar los resultados, en ambos se usó un volumen de dimensiones 190 x 180 x 60 metros (largo x ancho x altura). En el primer grupo se sustrajo del volumen, dos prismas rectangulares de 100x50x10 metros y en el segundo se empleó dos volúmenes de 100x50x20 m para idealizar dos bloques de cuadras con una separación de 10 m y 20 m, respectivamente; resultando una relación de aspecto H/W (altura de los edificios entre ancho de la calle) variada según el caso en las simulaciones.

La separación de las dos cuadras simula el cañón urbano o calle, al cual se le extraen los volúmenes de los coches con dimensiones de 4.0 x 2.0 x 1.5 metros (largo x ancho x altura). La cantidad de autos máxima es de 20 unidades (100%), estándar de aforo vehicular promedio por cuadra en México, posteriormente se realizan simulaciones con 15, 10, 5 y 0



automóviles, para manejar los cuartiles de 75%, 50%, 25% y 0% respectivamente (Figura 5.1) y determinar el comportamiento térmico del cañón.

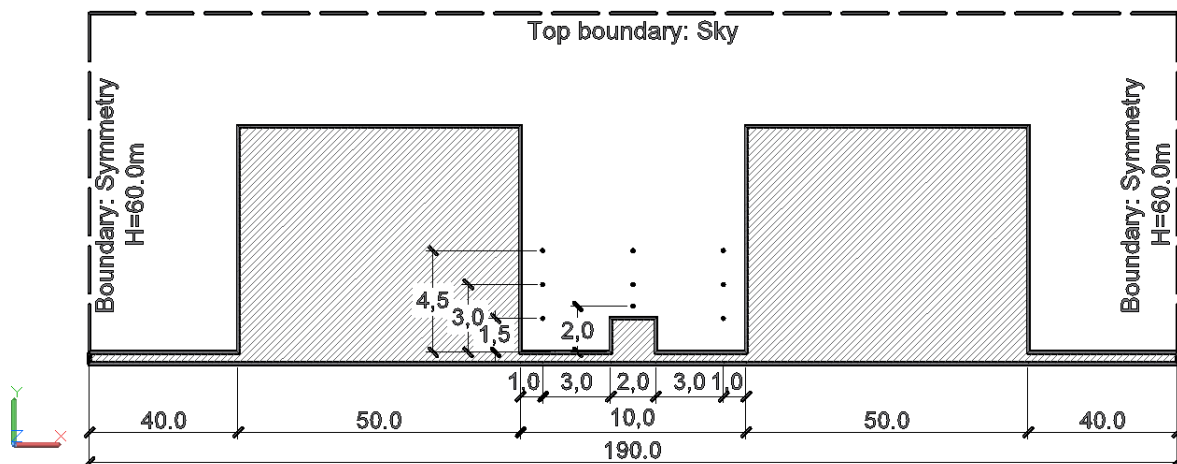
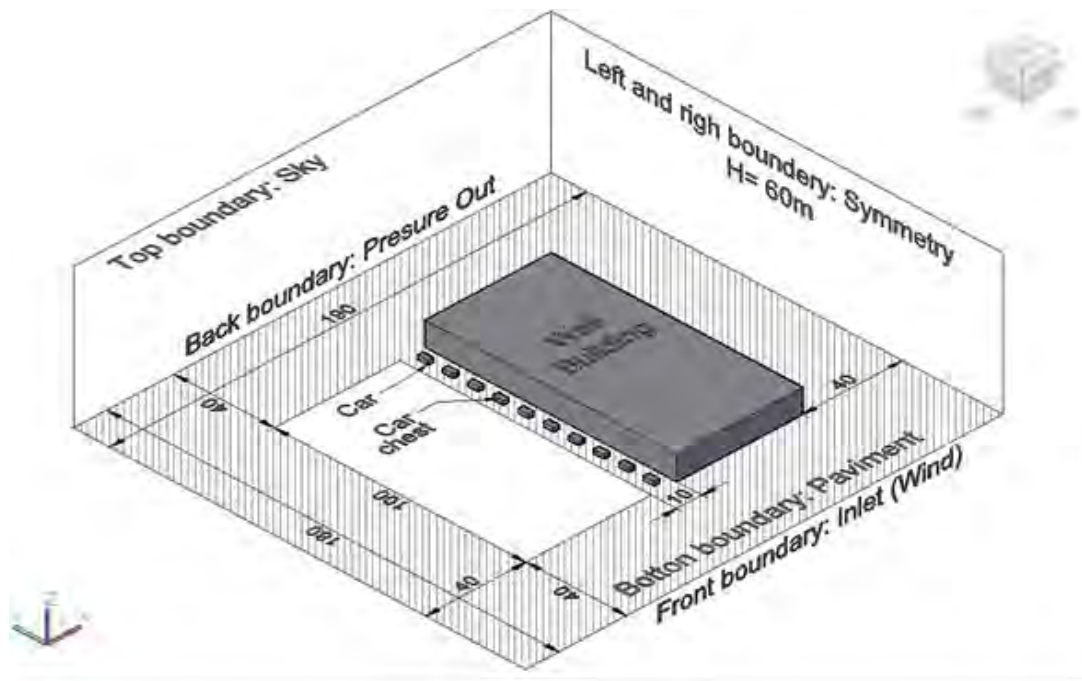


Figura 5.1. Arriba. Isométrico del dominio computacional, con dimensiones, radio de aspecto 1 y ubicación de 10 autos. Abajo. Sección con ubicación de las nueve líneas de medición para la toma de valores en la simulación.

Otra variante en la simulación es la orientación del cañón, agregando dos variables más, Norte-Sur y Este-Oeste, dando como consecuencia fachadas orientadas al Este-Oeste y Norte-Sur, respectivamente.

Los materiales usados en las simulaciones fueron: lámina de acero en la carrocería del auto, concreto en pavimento y el aplanado de cemento: arena en las paredes de los



edificios; estos dos últimos debido a la similitud de materiales usados en el caso de estudio (Calle de Independencia) que permite comparar con la simulación. La definición de sus espesores, como características físico-térmicas se observan en la [Tabla 5.1](#), así como sus propiedades térmicas y de radiación, todas en base a (Cengel & Ghajar, 2011).

Tabla 5.1. Lista de las propiedades térmicas de los materiales usados en las paredes de los edificios, superficies de rodamiento y carrocería del automóvil, datos basados en (Cengel & Ghajar, 2011).

	Materiales	Thickness (m)	Densidad (Kg/m ³)	Calor específico (j/kg-k)	Conductividad térmica (W/m-k)	Emisividad ϵ
Ground	Concreto	0.20	2,300	840	1.00	0.90
Wall	Aplanado	0.15	1,570	1,000	0.53	0.90
Carrocería	Acero	0.01	7,850	456	50	0.50

5.2 Definición del mallado

La cuadrícula generada debe ser diseñada para una programación en Fluent, el mallado final se establece con un aproximado de 720 mil elementos o células tetraédricas, los volúmenes mínimos y máximos de las células en el dominio son de aproximadamente 0.15m y 1.0m. La configuración seleccionada se basa en su perfecta adaptación a la geometría del dominio de la simulación, un ejemplo lo podemos encontrar con (Nazarian & Kleissl, 2015). La resolución de la cuadrícula paso por un análisis de sensibilidad, considerando una calidad gruesa a fina (120,000 hasta 1,680,000 celdas), donde los resultados tienen una diferencia menor al 1%. Las iteraciones usadas fueron 500 para converger en la solución o tener residuos menores a la 10^{-3} en los valores según el criterio dado en la teoría del ANSYS (2013).

5.3 Condiciones de frontera

El presente modelo, supone que el flujo de calor tiene como propiedades; ser constante, isotrópico y sin disipación viscosa, por lo tanto, se utiliza las ecuaciones de *Reynolds Averaged Navier-Stokers (RANS)*, y para el modelo de turbulencia se aplica *K-epsilon Realizable Model*, junto con la opción de *Scalable Wall Functions* para el tratamiento en la cercanía de las paredes.

También, es habilitado *Radiation Model Surface to Surface*, y mediante la calculadora Solar, se estiman los valores de radiación en el modelo con las coordenadas donde fueron



tomados los datos de campo (longitud de -96.13° y latitud de 19.17°), en el día 21 del mes de junio a las 13 horas. El resultado calculado de los valores de radiación directa en el modelo es de 884.78 Wm^{-2} , difusa en superficies verticales de 72.57 Wm^{-2} , difusa en superficies horizontales 118.56 Wm^{-2} y reflejada por el suelo de 99.58 Wm^{-2} , equiparables a los valores con la localización de las mediciones en campo (Veracruz, México).

Las condiciones de frontera usadas fueron:

- Simetría en los costados del volumen;
- Presión constante en la parte posterior;
- Velocidad de viento 0.0, 1.2 y 2.2 m/s para la frontera frontal;
- pavimento y el coche se establecidos como paredes que intervienen en la radiación;
- y
- para simular el calor que expide el coche, se estableció en el cofre una temperatura constante de 60°C .

Una vez determinado las condiciones dentro de la simulación, se localizan nueve líneas de medición en el programa para recolectar 100 valores por cada trazo que sirven para el análisis del perfil de temperatura interior del cañón ([Figura 5.2](#)).

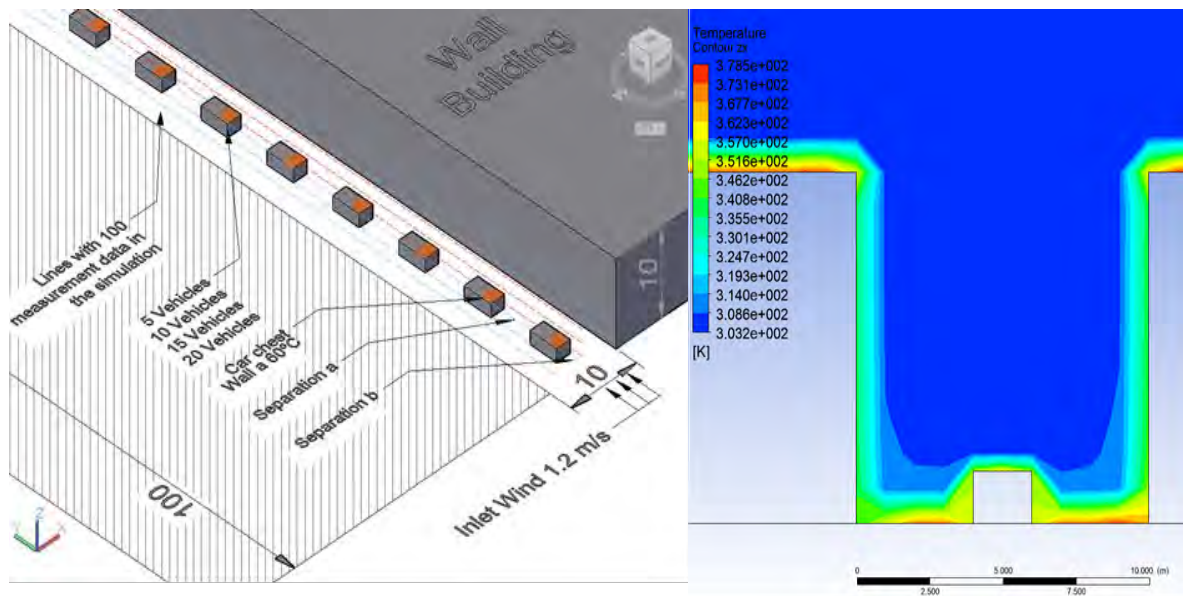


Figura 5.2. Izquierda. Isométrico que señala condiciones de frontera, separación entre automóviles y ubicación de las nueve líneas de medición para la toma de valores en la simulación. Derecha. Corte transversal de la simulación con 10 vehículos.



Las mediciones están colocadas en la posición del eje X a un metro de distancia de las fachadas y en el centro del cañón, y en posición del eje Z, a 1.5m, 3.0 y 4.5 metros sobre el nivel del pavimento.

5.4 Validación entre simulación y campo

La comparación de las mediciones “in situ” son una metodología para la determinar la validez predictiva de un modelo y definir de manera asertiva las variables dependientes, que en esta investigación intervienen en los intercambios de flujo de calor a nivel urbano.

Los valores arrojados por la simulación son comparados con mediciones tomadas en la ciudad y puerto de Veracruz, México, con ubicación geográfica de 19°10'51" latitud norte y 96°08'34" longitud oeste, y altitud sobre el nivel del mar de 15 m. La temperatura máxima general registrada en la ciudad fue de 32°C con 70% de humedad relativa. La recolección inicio a las 13:30 horas, sin embargo, durante el proceso, la fachada oriente presentaba sombra y el poniente una exposición solar de 30 minutos.

En este caso, como se explicó en capítulos anteriores, se usó un dron con un sistema de propulsión y sustentación tipo ala rotativa, por lo que los sensores fueron colocados en la parte superior del mismo para no afectar las mediciones. Cabe destacar, que las mediciones fueron tomadas en los ejes X, Y y Z al igual que las líneas colocadas en el software; para conocer más sobre la metodología referirse a (Grajeda, Alonso, & Esparza, 2018). Los valores mostrados en la [Figura 5.3](#), muestran los promedios obtenidos por las mediciones y las simulaciones a una altura de 1.5 y 3.0 metros dentro del cañón urbano.

De manera general, como se observa en la gráfica los comportamientos son muy parecidos, sin embargo, se presentan variaciones de 0.1 a 1°C. La explicación a la variación puede darse al ingreso del viento creando vórtices en los extremos del cañón y por lo tanto alterando los valores obtenidos en las mediciones de campo.

El índice utilizado para la validación de los datos de la simulación versus campo en la presente investigación es Porcentaje Media Relativa Error Absoluto (PMRE, por sus siglas en inglés Percent Mean Relative Absolute Error).

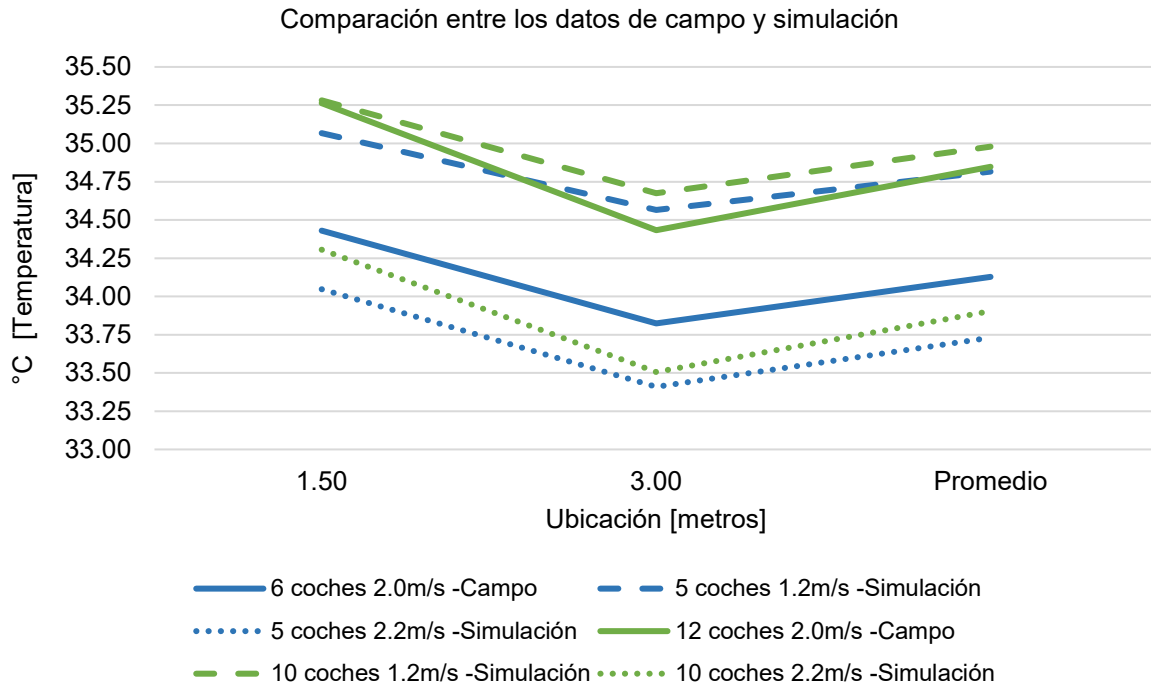


Figura 5.3 Comparación entre las mediciones en campo (líneas continuas) y las simulaciones (líneas puntadas)

Ali & Abustan (2014) explican que el PMRE presenta menos ambigüedad, es lógico, sencillo e interpretable, basando sus resultados con métodos cuantitativos y estadísticos. RMSE cuantifica la dispersión entre lo simulado y los medido, y es comparado con modelos como la media de error (ME, Mean Error), error absoluto medio (MEA, Mean Absolute Error) y error cuadrático medio (RMSE, Root Mean Square Error). El rango del índice varía de 0% hasta ∞ (infinito positivo), siendo el 0.0 como el valor optimo, y los valores más altos indica mayor error. La ecuación utilizada es:

$$PMARE(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Abs(O_i - P_i)}{O_i} \dots\dots\dots Ec. 18$$

Donde:

n= Número de datos

O_i=Observado en campo

P_i= Resultados de simulación

Abs= Indica el valor absoluto

Para calificar el valor de validación del modelo los autores indican la siguiente [Tabla 5.2](#):



Tabla 5.2. Calificación de desempeño sugerido para la evaluación del modelo basado en el nuevo índice PMARE (Ali & Abustan, 2014)

Valor PMARE (%)	clasificación del modelo
0 a 5	Excelente
5 a 10	Muy bien
10 a 15	Bueno
15 a 20	Justo
20 a 25	Moderado
>25	Insatisfactorio

De los resultados obtenidos de la simulación con 10 autos, ancho de 10 metros y altura de 10 metros, y con una velocidad de viento de 1.2 m/s, se procedió a validar con los datos obtenidos en la campaña del 19 de mayo del 2018, es decir con 12 autos y un promedio de 1.2 m/s de viento.

De toda la calle de independencia monitoreada se opta por la sección de corte 9; comprendida entre las calles de **Arista y Morales** ([Tabla 4.5](#)), debido a sus propiedades geométricas, un ancho de 11 metros, un promedio de altura de 10 metros (relación aspecto 1:1) y una longitud de 86.3 metros, por lo que se consideran solo 86 datos de comparación.

Los valores para P_i fueron el promedio de 6 líneas en sus diferentes ubicaciones, comprendidas a una altura de 1.5 y 3.0 metros en la acera derecha, en medio de la calle y en la acera izquierda, al igual que los valores de O_i , a la misma altura y distancia.

Sustituyendo los valores obtenidos en la ecuación 18, el valor de PMARE en relación con la temperatura promedio (T_{WA}) dentro del cañón en simulación y campo, obtuvo 14.81, cayendo en una clasificación buena ([Tabla 5.3](#)).

Si se comparan las seis líneas de datos conforme a su ubicación, el valor PMARE más desfavorable se muestra en medio de la calle a la altura de los coches ($X=5.0$ m y $Z=1.5$ m) ([Tabla 5.3](#)) con 15.91 ubicándolo en un rango de justo, siendo de esperarse debido a la complejidad de la toma de datos ubicados arriba de los coches.

A la misma altura, en las aceras se observa un acercamiento considerablemente de los datos, ubicándolo de excelente a muy bien.

Los valores a la altura de 3.0m se encuentran en un rango de excelente, permitiendo afirmar que las simulaciones recrean la realidad en este punto.



Tabla 5.3 Valore finales del PMARE (%)

PMARE T _{WA} (Promedio general de temperatura dentro del cañón)		PRME % Por posición en X y por altura en Z					
	PMARE T _{WA} (Promedio general de temperatura dentro del cañón)	X= 1.5m Z=1.5m PMARE	X= 5.0m Z=1.5m PMARE	X= 8.5m Z=1.5m PMARE	X= 1.5m Z=3.0m PMARE	X= 5.0m Z=3.0m PMARE	X= 8.5m Z=3.0m PMARE
Valor	14.81	7.29	15.91	3.33	5.09	0.30	2.38
PMARE	Bueno	Muy bien	Justo	Excelente	Muy bien	Excelente	Excelente
1	0.06	0.11	0.02	0.05	0.09	0.00	0.04
2	0.06	0.12	0.03	0.06	0.09	0.01	0.04
3	0.07	0.12	0.06	0.06	0.09	0.01	0.04
4	0.27	0.12	0.56	0.06	0.09	0.01	0.05
5	0.31	0.12	0.60	0.06	0.09	0.01	0.05
6	0.30	0.12	0.58	0.06	0.09	0.01	0.05
7	0.22	0.12	0.47	0.07	0.09	0.01	0.05
8	0.16	0.12	0.37	0.07	0.09	0.01	0.05
9	0.07	0.13	0.02	0.07	0.10	0.01	0.05
10	0.07	0.13	0.03	0.07	0.09	0.01	0.05
11	0.07	0.13	0.03	0.07	0.09	0.01	0.05
12	0.07	0.13	0.04	0.07	0.09	0.01	0.05
13	0.08	0.13	0.12	0.06	0.09	0.01	0.05
14	0.29	0.13	0.58	0.06	0.09	0.01	0.05
15	0.33	0.13	0.61	0.06	0.09	0.01	0.05
16	0.29	0.13	0.57	0.06	0.09	0.01	0.05
17	0.21	0.13	0.47	0.06	0.09	0.01	0.05
18	0.14	0.13	0.32	0.06	0.09	0.01	0.05
19	0.06	0.13	0.02	0.06	0.09	0.01	0.05
20	0.07	0.13	0.03	0.07	0.09	0.01	0.05
21	0.07	0.13	0.03	0.07	0.09	0.01	0.05
22	0.07	0.13	0.04	0.06	0.09	0.00	0.05
23	0.10	0.13	0.18	0.06	0.09	0.00	0.05
24	0.31	0.13	0.59	0.07	0.09	0.00	0.05
25	0.33	0.13	0.61	0.06	0.09	0.00	0.05
26	0.28	0.13	0.56	0.06	0.09	0.00	0.04
27	0.21	0.13	0.46	0.06	0.09	0.01	0.04
28	0.12	0.13	0.28	0.06	0.09	0.01	0.04
29	0.06	0.13	0.01	0.06	0.09	0.01	0.04
30	0.06	0.13	0.02	0.06	0.09	0.00	0.04
31	0.06	0.13	0.02	0.06	0.09	0.00	0.04
32	0.06	0.13	0.03	0.06	0.09	0.00	0.04
33	0.11	0.13	0.23	0.06	0.08	0.00	0.04
34	0.30	0.12	0.59	0.05	0.08	0.00	0.03
35	0.32	0.12	0.61	0.05	0.08	0.00	0.03
36	0.26	0.12	0.54	0.05	0.08	0.00	0.03
37	0.19	0.12	0.45	0.05	0.08	0.00	0.03
38	0.10	0.12	0.23	0.05	0.08	0.00	0.03
39	0.05	0.12	0.00	0.05	0.08	0.00	0.03
40	0.05	0.12	0.01	0.05	0.08	0.00	0.03
41	0.05	0.12	0.01	0.05	0.08	0.00	0.03



42	0.05	0.12	0.02	0.05	0.08	0.01	0.03
43	0.12	0.12	0.28	0.05	0.08	0.01	0.03
44	0.30	0.12	0.60	0.05	0.08	0.01	0.03
45	0.32	0.12	0.61	0.05	0.08	0.01	0.03
46	0.24	0.12	0.52	0.04	0.08	0.01	0.03
47	0.19	0.12	0.44	0.04	0.08	0.00	0.03
48	0.09	0.12	0.19	0.04	0.08	0.00	0.03
49	0.05	0.12	0.01	0.04	0.07	0.00	0.03
50	0.05	0.12	0.01	0.04	0.08	0.00	0.03
51	0.05	0.13	0.01	0.04	0.08	0.01	0.03
52	0.06	0.13	0.03	0.04	0.08	0.01	0.03
53	0.14	0.13	0.34	0.04	0.08	0.01	0.03
54	0.31	0.12	0.60	0.04	0.08	0.01	0.03
55	0.32	0.12	0.61	0.04	0.08	0.01	0.03
56	0.23	0.12	0.51	0.04	0.07	0.01	0.03
57	0.18	0.12	0.44	0.04	0.07	0.01	0.03
58	0.08	0.12	0.15	0.04	0.07	0.01	0.03
59	0.04	0.12	0.01	0.04	0.07	0.01	0.02
60	0.04	0.11	0.01	0.04	0.07	0.01	0.02
61	0.04	0.11	0.01	0.04	0.07	0.01	0.02
62	0.04	0.11	0.02	0.03	0.07	0.01	0.02
63	0.15	0.11	0.40	0.03	0.06	0.01	0.02
64	0.30	0.11	0.61	0.03	0.06	0.01	0.02
65	0.30	0.11	0.61	0.03	0.06	0.01	0.01
66	0.21	0.10	0.50	0.03	0.06	0.01	0.01
67	0.16	0.10	0.43	0.03	0.06	0.01	0.01
68	0.06	0.10	0.11	0.04	0.06	0.01	0.03
69	0.04	0.10	0.01	0.04	0.06	0.01	0.03
70	0.04	0.10	0.01	0.04	0.06	0.01	0.02
71	0.04	0.10	0.01	0.04	0.06	0.02	0.02
72	0.04	0.11	0.02	0.03	0.06	0.02	0.02
73	0.17	0.10	0.45	0.03	0.06	0.02	0.01
74	0.30	0.10	0.61	0.03	0.06	0.02	0.01
75	0.29	0.10	0.60	0.02	0.06	0.02	0.00
76	0.20	0.10	0.49	0.02	0.05	0.02	0.00
77	0.15	0.10	0.42	0.02	0.05	0.02	0.00
78	0.04	0.10	0.08	0.01	0.05	0.02	0.01
79	0.02	0.09	0.00	0.01	0.04	0.02	0.01
80	0.02	0.09	0.00	0.01	0.04	0.03	0.01
81	0.02	0.09	0.00	0.01	0.03	0.03	0.02
82	0.01	0.09	0.01	0.00	0.03	0.03	0.02
83	0.17	0.08	0.49	0.00	0.02	0.03	0.03
84	0.26	0.08	0.60	0.00	0.02	0.03	0.03
85	0.25	0.07	0.59	0.00	0.01	0.03	0.03
86	0.16	0.07	0.48	0.01	0.01	0.04	0.04

Para la realización de la [Tabla 5.3](#), los datos se encuentran en el [Anexo F](#). Tabla de datos para la validación del modelo de simulación.



VI. RESULTADOS

Como se mencionó anteriormente, después de los procesos de calibración y validación, se procedió a realizar las simulaciones. La [Tabla 6.1](#) muestra las variables usadas en el software ANSYS, para obtener un total de 120 simulaciones, se consideró la variación del número de autos, orientación, velocidad del viento y relaciones de aspectos (alto y ancho del cañón) y la única constante fue la longitud del cañón, que en todos los casos fue de 100 metros.

Tabla 6.1 Lista de variables consideradas en las simulaciones

Variable	Orientación Del cañón	Velocidad m/s	No. Coche	Relación Aspecto	Longitud metros	Ancho metros
No. Variables	2	3	3	3	1	2
No. Casos	2	6	18	54	54	108
Descripción	Este-Oeste	0.00	0	1:0.5	100	10
			5			
	Norte-Sur	1.20	10	1:1		20
			15			
		2.20	20	1:2		

Los valores expresados en la [Tabla 6.2a y 6.2b](#), son la temperatura promedio T_w de todos los 120 casos, el valor representa el promedio de los 900 datos de temperatura del aire, repartidos en 9 líneas con un dato a cada metro a lo largo del cañón simulado (100metros). La [Tabla 6.2a](#) son los cañones orientados al Este-Oeste y la [Tabla 6.2b](#) son los encaminados al Norte-Sur.

Tabla 6.2a Base de datos para la comparación de las 120 simulaciones, con orientación Este-Oeste, valores expresados en °C

Casos	0 coches	5 coche	10 coches	15 coches	20 coches
0.0m/s E-O 10:05	32.14		32.61		33.11
1.2m/s E-O 10:05	30.55		31.2		31.7
2.2m/s E-O 10:05	30.57		31.24		31.72
0.0m/s E-O 10:10	32.12	32.37	32.88	33.22	33.18
1.2m/s E-O 10:10	30.61	30.82	31.08	31.39	31.53
2.2m/s E-O 10:10	30.79	30.95	31.15	31.39	31.55
0.0m/s E-O 10:20	32.16		32.78		33.48
1.2m/s E-O 10:20	30.57		31.71		32.25
2.2m/s E-O 10:20	30.6		31.62		32.06
0.0m/s E-O 20:05	31.61		31.96		32.53
1.2m/s E-O 20:05	30.51		31.05		32.9
2.2m/s E-O 20:05	30.5		30.96		31.42



0.0m/s E-O 20:10	31.5	31.91	32.37
1.2m/s E-O 20:10	30.58	30.99	31.57
2.2m/s E-O 20:10	30.63	31	31.51
0.0m/s E-O 20:20	31.45	32.01	32.42
1.2m/s E-O 20:20	30.64	31.03	31.51
2.2m/s E-O 20:20	30.79	31.08	31.44

Tabla 6.2b Base de datos para la comparación de las 120 simulaciones con orientación Norte-Sur, valores expresados en °C

	0 coches	5 coches	10 coches	15 coches	20 coches
0.0m/s N-S 10:05	38.97		40.95		41.73
1.2m/s N-S 10:05	34.85		36.37		37.61
2.2m/s N-S 10:05	33.76		35.35		36.83
0.0m/s N-S 10:10	38.39	39.16	39.82	40.48	41.87
1.2m/s N-S 10:10	35.12	35.88	36.69	37.39	38.15
2.2m/s N-S 10:10	34.18	34.91	35.73	34.91	37.3
0.0m/s N-S 10:20	35.92		39.77		40.41
1.2m/s N-S 10:20	34.51		37.09		38.28
2.2m/s N-S 10:20	33.62		36.09		37.18
0.0m/s N-S 20:05	36.89		38.12		38.95
1.2m/s N-S 20:05	33.76		34.88		35.96
2.2m/s N-S 20:05	33.12		34.77		35.88
0.0m/s N-S 20:10	37.27		38.09		39.31
1.2m/s N-S 20:10	33.78		34.74		35.82
2.2m/s N-S 20:10	33.3		34.79		35.75
0.0m/s N-S 20:20	36.12		37.51		38.63
1.2m/s N-S 20:20	33.73		34.5		35.47
2.2m/s N-S 20:20	33.34		34.42		35.39

Nota: Los 30 Valores encerrados en el recuadro rojo son el primer subgrupo de análisis y los 36 valores sombreados en azul son para estudio de un segundo subgrupo.

Además de las conclusiones y análisis de todas las simulaciones en el [Capítulo 6.3](#), se sustrajo de estos valores dos sets de datos para observación inicial.

El primer subgrupo, son los valores encerrados en el recuadro rojo en las [Tablas 6.2a y 6.2b](#), sirvieron para determinar la relevancia del aumento de autos de manera progresiva en valores de cuartiles, es decir, 0 coches (0%), 5 coches (25%), 10 coches (50%), 15 coches (75%) y 20 coches (100%).

En este primer subgrupo, se optando por una relación de aspecto de 1:1, tres tipos de velocidades de viento (0.0, 1.2 m/s y 2.2m/s) y alternando número de coches, considerando



que un cañón urbano en México, en promedio alberga 20 unidades por carril dentro de la calle. En estas simulaciones, los vehículos tienen una separación de 16m, 6m, 2.5m y 1m entre ellos y una distancia del inicio del cañón de 8m, 3m, 2.50m y 1m, que respectivamente corresponden a la cantidad de 5, 10, 15 y 20 vehículos.

La información arroja datos cualitativos sobre el efecto del número de coches, la temperatura, la velocidad del viento y la orientación con estas condicionantes. Explicado en el [capítulo 6.1](#).

Posteriormente, se estudió el **segundo subgrupo** de simulaciones (sombreados en color azul en las [Tablas 6.2a y 6.2b](#), en el [capítulo 6.2](#), descartando los cuartiles de 5 y 15 unidades por su significancia mayor a 0.05, por lo tanto, presentan similitud de resultados con su inmediato inferior, es decir 0 y 10 unidades

Se analizó por separado el segundo subgrupo, porque la velocidad de viento de 1.2m/s, fue el valor registrado en el cañón de estudio en las mediciones de campo. En este caso, ambas orientaciones se emplean y la diferencia fue la ampliación del rango de número de relaciones de aspecto, dando un total de 36 simulaciones. Se examinó al igual que el anterior, el número de coches, orientación relaciones de aspecto y se agregó un análisis de temperatura por altura (Z) y posición en X, es decir a lo largo de la calle.



6.1 1er. subgrupo (30 simulaciones) considerando 0, 5, 10, 15 y 20 vehículos

6.1.1 Variación de la temperatura en el cañón urbano en relación con la variable Q_{FV}

La [Figura 6.1](#), presenta el promedio de las temperaturas del aire (T_w) de las nueve líneas estimadas en cada simulación (900 datos), considerando que el viento entrante tiene como constante 30°C. La T_w menor (30.61°C) fue el caso en el cañón con orientación 0 coches, E-O y viento de 2.2 m/s y el mayor (41.87°C) fue el caso de 20 unidades, E-O viento de 0.0m/s.

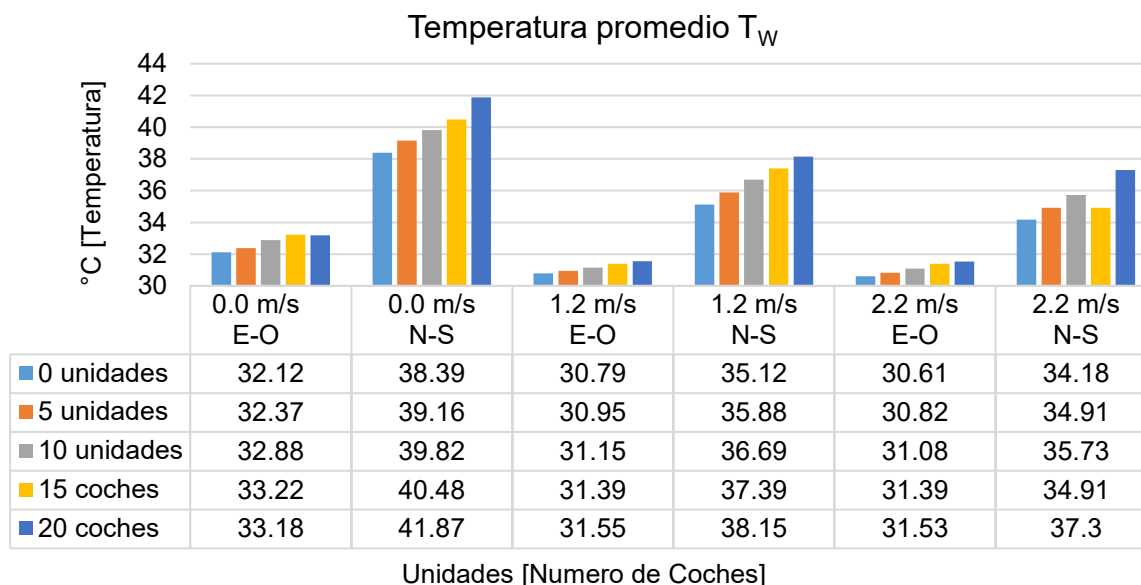


Figura 6.1 Sumario de T_w por los 30 casos simulados

La orientación Norte-Sur del cañón (fachadas orientadas hacia el Este-Oeste) son las que representan mayor elevación en el perfil térmico, causado por el recorrido solar que atraviesa de forma perpendicular; ocasionando que tanto el área horizontal (calle) y la fachada orientada hacia el Este, suman el doble de área calentada por la radiación solar. Tomando en consideración que tanto la simulación, como las mediciones de campo fueron realizadas a las 13 horas, la fachada Este y el pavimento han llegado a su máximo de capacidad térmica en el cenit solar.



La [Figura 6.2](#) muestra el comportamiento térmico del cañón con 10 unidades vehiculares en su interior, con una orientación Este-Oeste (fachadas al Norte-Sur) y la [Figura 6.3](#) refleja en corte el comportamiento del viento con velocidad de 2.2m/s dentro de la calle. En tanto que las [Figuras 6.4a y 6.4b](#) representan los valores térmicos y de viento con la misma cantidad de coches, pero con orientación Norte-Sur (fachadas al Este-Oeste).

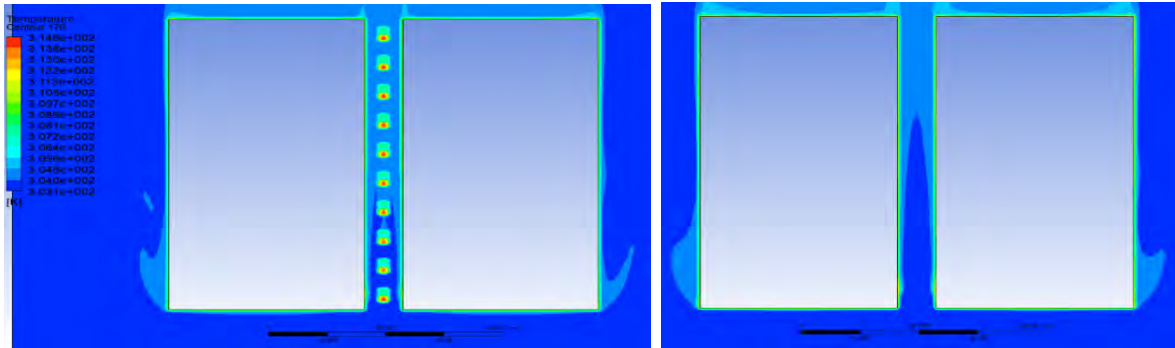


Figura 6.2 Comportamiento térmico del cañón con orientación Este-Oeste (Fachadas Norte-Sur) a una altura de 1.5 metros y 3.0 metros con 10 coches

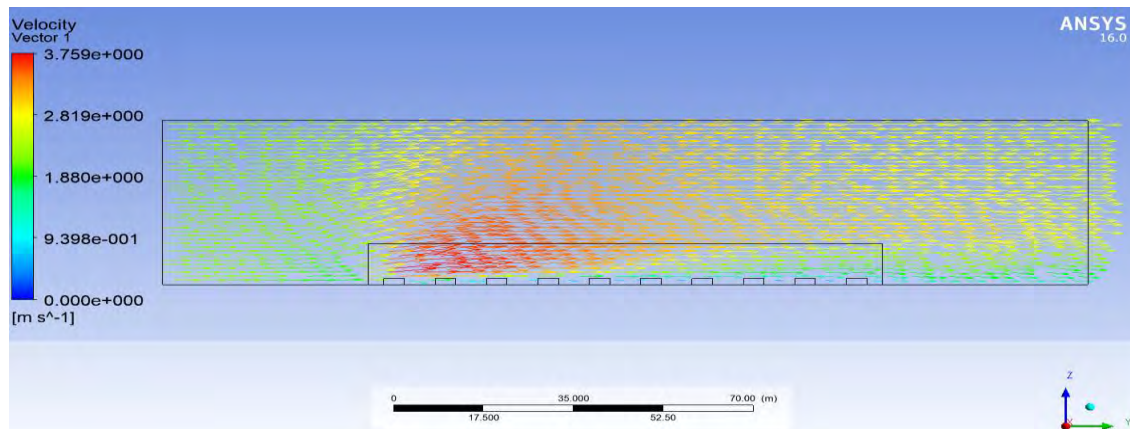


Figura 6.3 Comportamiento de la velocidad del viento con una entrada de 2.2 m/s en un cañón con orientación Este-Oeste (Fachadas Norte-Sur) con 10 coches

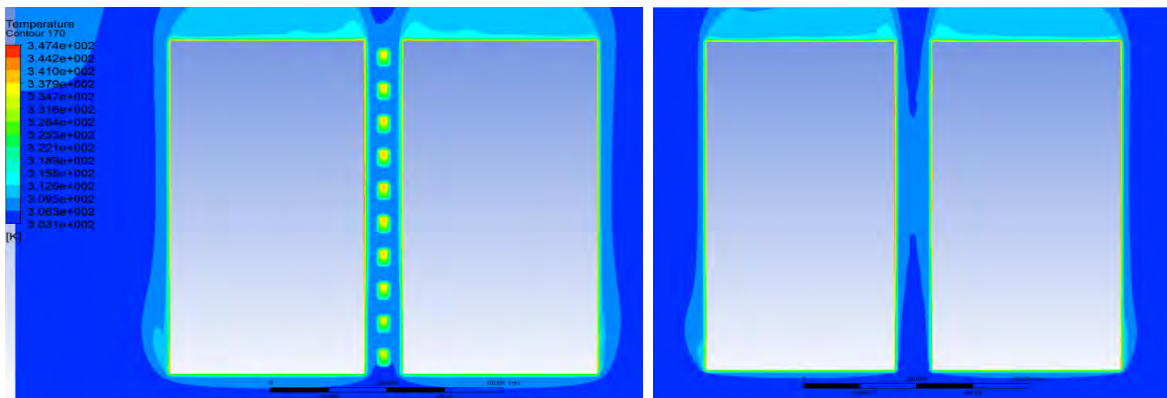


Figura 6.4a Comportamiento térmico del cañón con orientación Norte-Sur (Fachadas Este-Oeste) a una altura de 1.5 metros y 3.0 metros con 10 coches

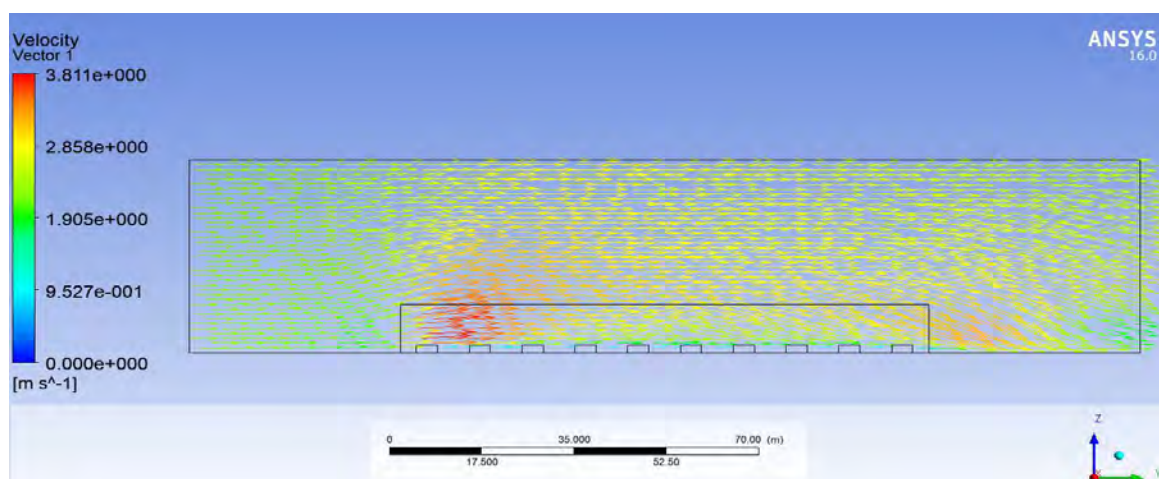


Figura 6.4b Comportamiento de la velocidad del viento con una entrada de 2.2 m/s en un cañón con orientación Norte - Sur (Fachadas Este - Oeste) con 10 coches

6.1.2 Efecto del número de coches en el perfil térmico del cañón

Los resultados en este conjunto de simulaciones demuestran un incremento esperado de temperatura en función del número de coches, sin embargo, un análisis más profundo permite determinar que los acrecimientos, aunque son progresivos, no fueron de manera proporcional.

Tabla 6.3 Tabla de porcentaje de acuerdo con el número de automóviles

	Valor inicial °C	5 coches	10 coches	15 coches	20 coches
0 unidades					
0.0m/s E-O	32.12	0.8%	2.4%	3.5%	3.3%
1.2m/s E-O	38.39	0.7%	1.5%	2.5%	3.0%
2.2m/s E-O	30.79	0.5%	1.2%	2.0%	2.5%
0.0m/s N-S	35.12	2.0%	3.7%	5.4%	9.1%
1.2m/s N-S	30.61	2.2%	4.5%	6.5%	8.6%
2.2m/s N-S	34.18	2.1%	4.5%	6.5%	9.1%
E-O 1:1	Promedio	0.7%	1.7%	2.6%	2.9%
N-S 1:1	Promedio	2.1%	4.2%	6.1%	8.9%

De acuerdo con la [Tabla 6.3](#), si se toma el valor inicial del cañón con cero coches como base y se realiza una comparación con los cañones de 5,10,15 y 20 vehículos se observan que:



- Los cañones orientados Este-Oeste con cinco automóviles, en cualquier velocidad de viento la ganancia térmica en promedio es de 0.70%.
- En las calles con orientación E-O, con 10 unidades el aumento es de 1.7% y su homónimo (N-S con 10 coches) el promedio asciende a 4.2%.
- Los valores la orientación E-O, con 15 y 20 unidades sus rangos oscilan entre 2.6% a 2.9%, respectivamente.
- Se observa un incremento del 2% progresivo en la orientación N-S por cada 5 unidades que se agregan.

Comparaciones múltiples

temperatura
DHS de Tukey

(I)cañon	(J)cañon	Diferencia de medias (I-J)	Error típ.	Sig.
0coche	25%coche	-2.03237*	.154650	.000
	50%coche	-2.46570*	.154650	.000
	75%coche	-2.71998*	.154650	.000
	100%coche	-3.32547*	.154650	.000
25%coche	0coche	2.03237*	.154650	.000
	50%coche	-.43333*	.154650	.041
	75%coche	-.68761*	.154650	.000
	100%coche	-1.29310*	.154650	.000
50%coche	0coche	2.46570*	.154650	.000
	25%coche	.43333*	.154650	.041
	75%coche	-.25428	.154650	.469
	100%coche	-.85977*	.154650	.000
75%coche	0coche	2.71998*	.154650	.000
	25%coche	.68761*	.154650	.000
	50%coche	.25428	.154650	.469
	100%coche	-.60549*	.154650	.001
100%coche	0coche	3.32547*	.154650	.000
	25%coche	1.29310*	.154650	.000
	50%coche	.85977*	.154650	.000
	75%coche	.60549*	.154650	.001

Figura 6.5 Resultados arrojados por el programa SPSS Statistics

Base de medias observadas

El termino de error es la media cuadrática (error) = 4.305

La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05



Para corroborar el punto de la significancia en el aumento de autos, se recurrió al programa SPSS Statistics. En la [Figura 6.5](#), se observa que los cuartiles del 25% (5 coches) y 75% (15 coches) tienen una significancia mayor al 0.05.

6.1.3 Efecto de la velocidad del viento en el cañón urbano

La velocidad y dirección del viento como factor en la formación de la Isla de Calor Urbana es un punto primordial, que puede favorecer en la disipación de calor y en el comportamiento de la temperatura superficial, por lo tanto, los cañones con una velocidad de 0.0m/s dentro de la simulación son los que presenta la mayor ganancia térmica.

Tabla 6.4. Tabla de perdidas por efecto del viento en °C

		0	5	10	15	20
		coches	coches	coches	coches	coches
0.0m/s E-W	Valor base °C	32.12	32.37	32.88	33.22	33.18
1.2m/s E-O		-1.5	-1.6	-1.8	-1.8	-1.6
2.2m/s E-O		-1.3	-1.4	-1.7	-1.8	-1.6
0.0m/s N-S	Valor base °C	38.39	39.16	39.82	40.48	41.87
1.2m/s N-S		-3.3	-3.3	-3.1	-3.1	-3.7
2.2m/s N-S		-4.2	-4.2	-4.1	-4.1	-4.6

De acuerdo con la [Tabla 6.4](#), se comenta lo siguiente:

- Los cañones orientados de E-O entre un viento de 1.2 y 2.2 tienen una pérdida general de 1.6°C
- Los cañones N-S con una velocidad de viento 1.2 m/s, la pérdida es de 3.3°C
- los cañones N-S con una velocidad de viento de 2.2m/s la pérdida de temperatura es de 4.2°C
- La tabla muestra que el número de coches es indistinto en este variable.

6.1.4 Efecto por orientación

El menor incremento en la ganancia térmica dentro de los cañones urbanos, son los orientados al Este-Oeste, es decir, con fachada de hacia el norte y sur. Tomándose como



base, cuando no hay viento, de 0 a 15 autos la ganancia es en promedio de un 20%, sin embargo, se eleva a un 26% cuando se llega 20 unidades o coches ([Tabla 6.5](#)).

Con velocidad de 1.2m/s, el incremento de acuerdo con el número de autos (0, 5, 10, 15 y 20 unidades) es de 14%, 16%, 18%, 19% y 21%.

Con velocidad de 2.2m/s, el incremento es de 12%, 13%, 15%, 16% y 18% más con respectivamente.

Tabla 6.5 Tabla de porcentaje de acuerdo con el incremento de °C con el efecto de orientación

		0 coches	5 coches	10 coches	15 coches	20 coches
0.0m/s E-W	Valor base °C	32.12	32.37	32.88	33.22	33.18
0.0m/s N-S		19.54%	20.95%	21.09%	21.84%	26.20%
1.2m/s E-W	Valor base °C	30.79	30.95	31.15	31.39	31.55
1.2m/s N-S		14.09%	15.95%	17.77%	19.13%	20.92%
2.2m/s E-W	Valor base °C	30.61	30.82	31.08	31.39	31.53
2.2m/s N-S		11.65%	13.27%	14.97%	15.93%	18.31%



6.2 2do. subgrupo (36 simulaciones) con viento constante de 1.2m/s

Este subgrupo con un total de 36 valores se analiza por su constante de velocidad de viento de 1.2m/s, debido a que, al igual que las mediciones de campo realizadas presentaron esta condición de viento. En la [Tabla 6.6](#) se exponen los resultados de la temperatura promedio del aire interna del cañón. Los valores bajos se encuentran ubicados en los cañones Este-Oeste, indistintamente del ancho que tengan, variando entre los 30 a los 32°C. Las calles orientadas al Norte-Sur, sus variaciones oscilan entre los 33 a los 38°C, superando a los anteriores con aproximadamente 6°C.

Tabla 6.6 Los 36 casos de simulación, realizados en ANSYS

Casos de simulación	T _{WA} °C 0 unidades	T _{WA} °C 10 unidades	T _{WA} °C 20 unidades
1.2m/s E-O 10:05	30.55	31.20	31.70
1.2m/s E-O 10:10	30.61	31.08	31.53
1.2m/s E-O 10:20	30.57	31.71	32.25
Promedio E-O W=10	30.58	31.33	31.82
1.2m/s E-O 20:05	30.51	31.05	32.90
1.2m/s E-O 20:10	30.58	30.99	31.57
1.2m/s E-O 20:20	30.64	31.03	31.51
Promedio E-O W=20	30.58	31.02	32.00
1.2m/s N-S 10:05	34.85	36.37	37.61
1.2m/s N-S 10:10	35.12	36.69	38.15
1.2m/s N-S 10:20	34.51	37.09	38.28
Promedio N-S W=10	34.83	36.72	38.01
1.2m/s N-S 20:05	33.76	34.88	35.96
1.2m/s N-S 20:10	33.78	34.74	35.82
1.2m/s N-S 20:20	33.73	34.50	35.47
Promedio N-S W=20	33.75	34.70	35.75

6.2.1 Análisis gráfico por altura (Z) y posición en ancho de la calle (X)

Las presentes gráficas de superficie representan en el eje de las abscisas: los promedios de temperatura por cada línea en la simulación, en Z (1.5, 3.0 y 4.5 metros) y por cada combinación que esta tenga en el eje de la X (1.5, 5.0 y 8.5 metros), de acuerdo con las diferentes configuraciones de altura y ancho (eje de las ordenadas).



Las [Figuras 6.6, 6.7 y 6.8](#), son los cañones orientados al Este-Oeste, con una diferencia de 0, 10 y 20 coches en su interior, como se muestra sus comportamientos son estables junto a las fachadas (posición $X=1.5$ y 8.5 en cañones de 10 metros de ancho) sin importar la altura en el eje Z, no rebasan los 32°C . Sin embargo, el comportamiento en los centros ($x=5$ o $x=10\text{m}$) presenta variaciones, en especial a la altura de 1.5 metros, con diferencias marcadas hasta de 38°C .

Las [Figuras 6.9, 6.10 y 6.11](#) son cañones orientados al igual que las anteriores, Este-Oeste, pero con un ancho de 20 metros, al igual que los anteriores el comportamiento en las posiciones de X (1.5 y 18.5m) son constantes, presentando un grado menos que las [Figuras 6.6, 6.7 y 6.8](#), 31°C . El comportamiento a la altura de 1.5m en el centro aumenta a 39°C .

Las [Figuras 6.12, 6.13 y 6.14](#), debido a su orientación (Este-Oeste), la temperatura promedio oscila entre los 34 a 35°C , presentando mayor temperatura que los orientados al Norte-Sur. En las posiciones X, es decir junto a las fachadas, los valores pueden llegar entre los 36 a 37°C , y los centros ($X= 1.5$ metros) a una altura de 1.5 metros, la temperatura con 10 y 20 coches oscilan entre los 39°C .

Es importante resaltar que los datos en la posición del centro, a una altura de 4.5m, su valor es de 32°C , reafirmando lo que se observa en la [Figura 6.12](#), donde el centro del cañón presenta su temperatura menor.

Las [Figuras 6.15, 6.16 y 6.17](#), con orientación a Norte-Sur y con ancho de 20 metros, presentan un comportamiento parecido a las anteriores, pero sus valores aproximadamente bajan 2°C en todos los demás puntos de análisis. Junto a fachadas se pueden observar valores de 34°C a una altura de 4.5metros, ascendiendo a 35°C a 1.5metros. Los valores en los centros del cañón llegan a 39°C , pero a una altura de 4.5m descienden a 32°C .

En la [Figura 6.15](#), es decir sin coches los valores son más uniformes que su contraparte la [Figura 6.12](#), teniendo valores promedio de 34°C ; en comparación con los 37°C que demuestra la gráfica con una relación de aspecto de 1, $H/W= 10/10$ metros.

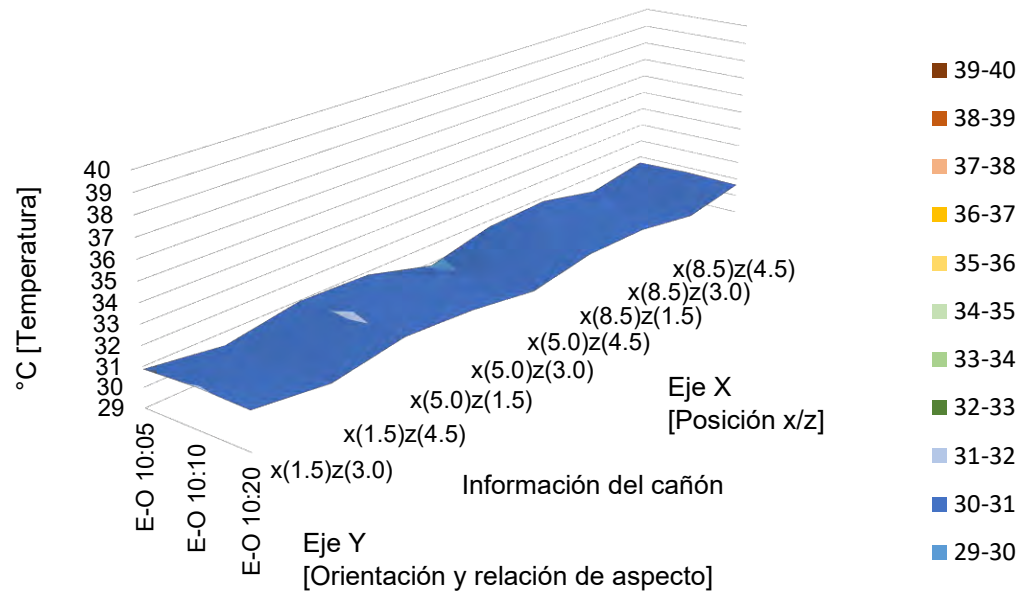


Figura 6.6 Comportamiento del promedio de la temperatura del aire (T_{WA}), a diferentes alturas (Z) y posición a lo ancho de la calle (X), sin ningún vehículo y orientados al ESTE-OESTE (fachadas hacia el Norte y Sur). son los datos de un cañón con relación de aspecto de $H/W = 5/10 = 0.5$; $10/10 = 1$ y $20/10 = 2$.

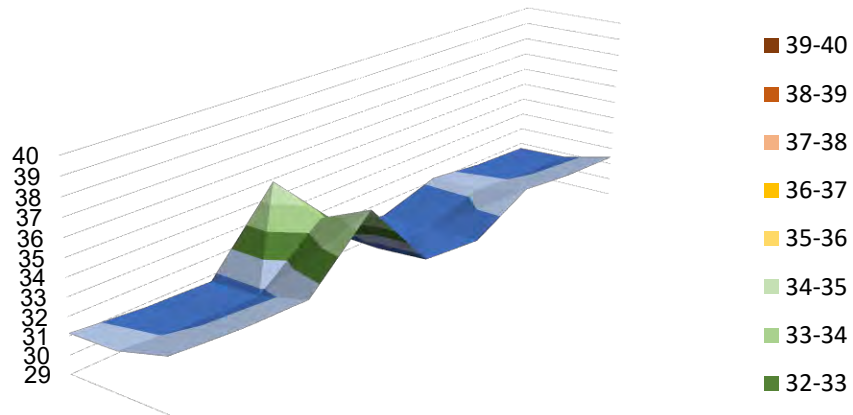


Figura 6.7 Mismas constantes que la gráfica 2, pero con 10 vehículos en su interior.

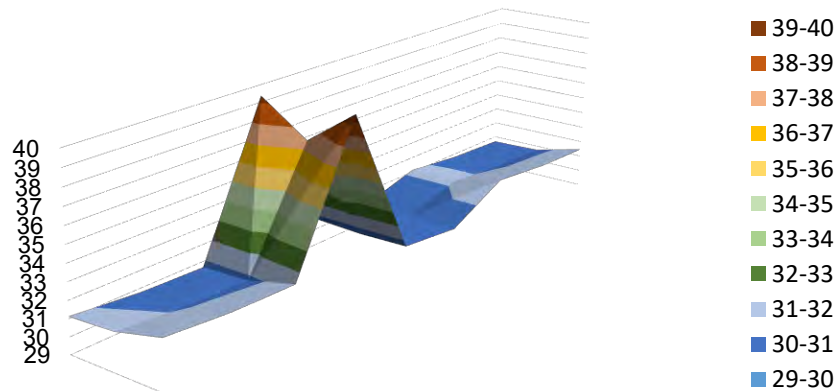


Figura 6.8. Mismas constantes que la gráfica 2, pero con 20 vehículos en su interior.

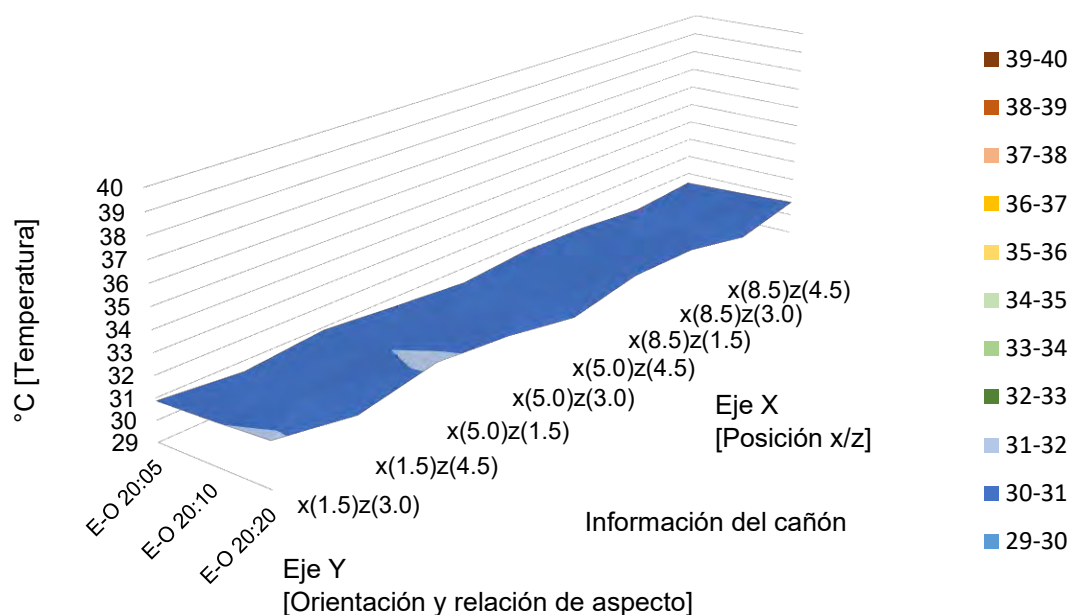


Figura 6.9. Comportamiento del promedio de la temperatura del aire (T_{WA}), a diferentes alturas (Z) y posición a lo ancho de la calle (X), sin ningún vehículo y orientados al ESTE-OESTE (fachadas hacia el Norte y Sur). son los datos de un cañón con relación de aspecto de $H/W = 5/20 = 0.25$; $10/20 = 0.5$ y $20/20 = 1$.

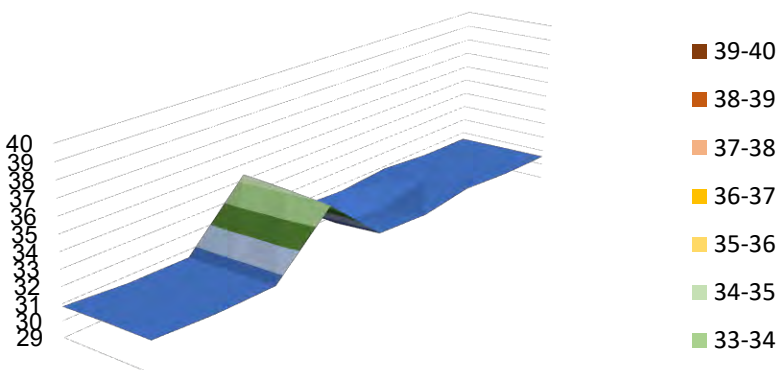


Figura 6.10 Mismas constantes que la gráfica 5, pero con 10 vehículos en su interior.

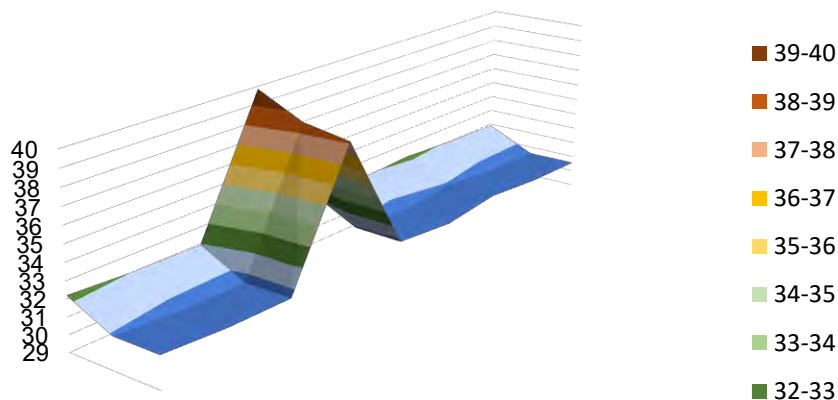


Figura 6.11. Mismas constantes que la gráfica 5, pero con 10 vehículos en su interior.

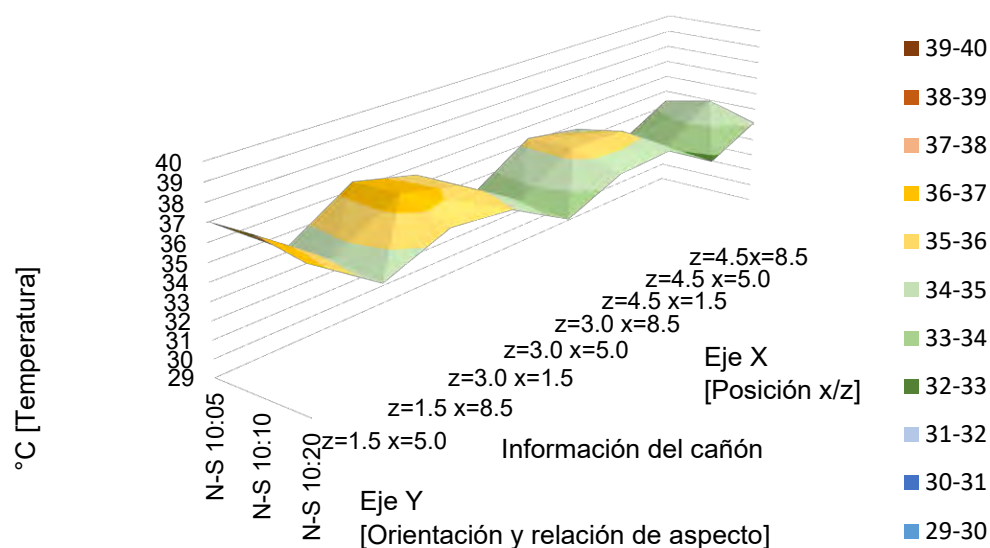


Figura 6.12. Comportamiento del promedio de la temperatura del aire (T_{WA}), a diferentes alturas (Z) y posición a lo ancho de la calle (X), sin ningún vehículo y orientados al NORTE-SUR (fachadas hacia el Este y Oeste). son los datos de un cañón con relación de aspecto de $H/W= 5/10=0.5$; $10/10=1$ y $20/10=2$.

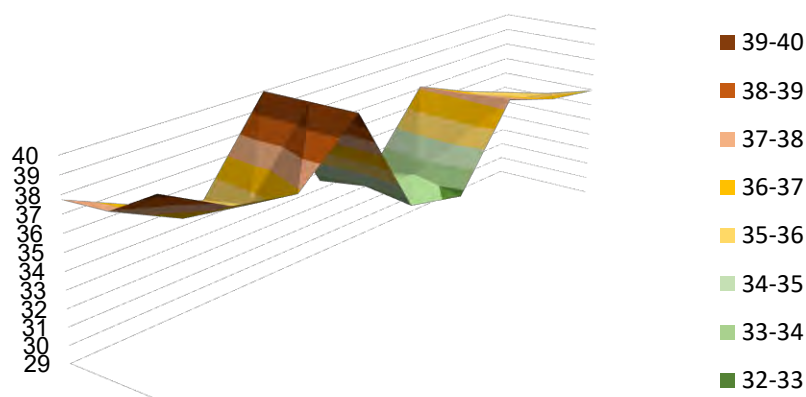


Figura 6.13 Mismas constantes que la gráfica 8, pero con 10 vehículos en su interior.

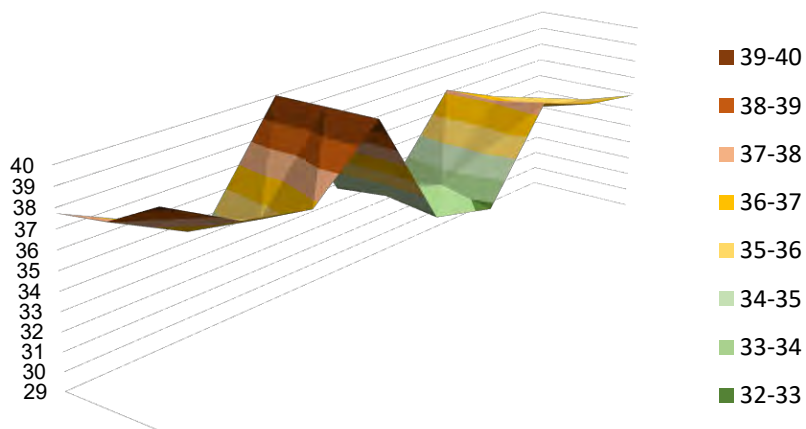


Figura 6.14 Mismas constantes que la gráfica 8, pero con 20 vehículos en su interior.

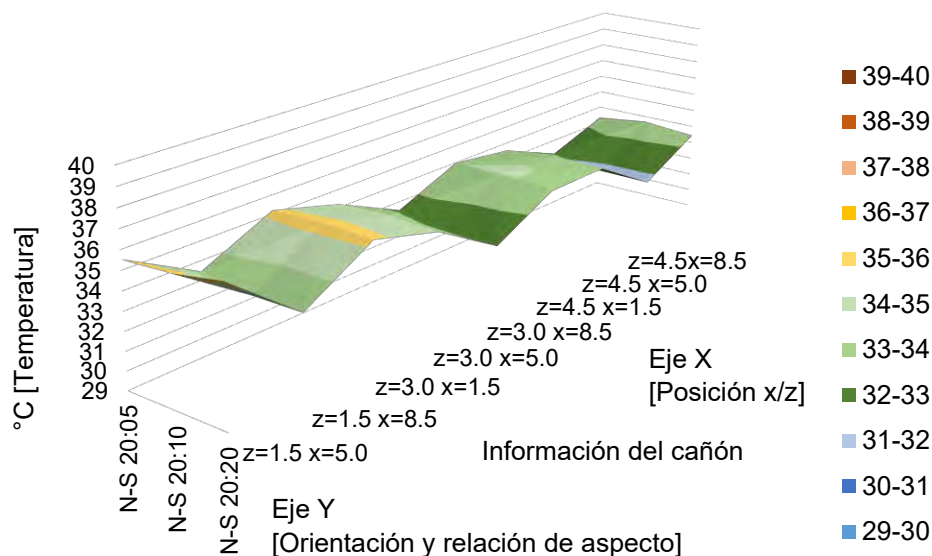


Figura 6.15 Comportamiento del promedio de la temperatura del aire (T_{WA}), a diferentes alturas (Z) y posición a lo ancho de la calle (X), sin ningún vehículo y orientados al NORTE-SUR (fachadas hacia el Este y Oeste). son los datos de un cañón con relación de aspecto de $H/W= 5/20=0.25$; $10/20=0.5$ y $20/20=1$.

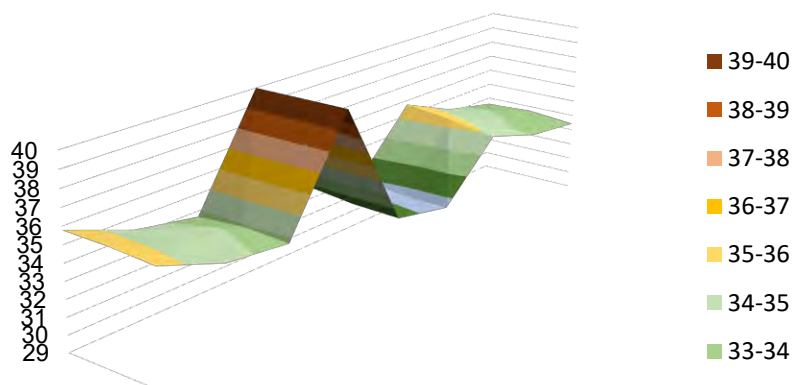


Figura 6.16 Mismas constantes que la gráfica 11, pero con 10 vehículos en su interior.

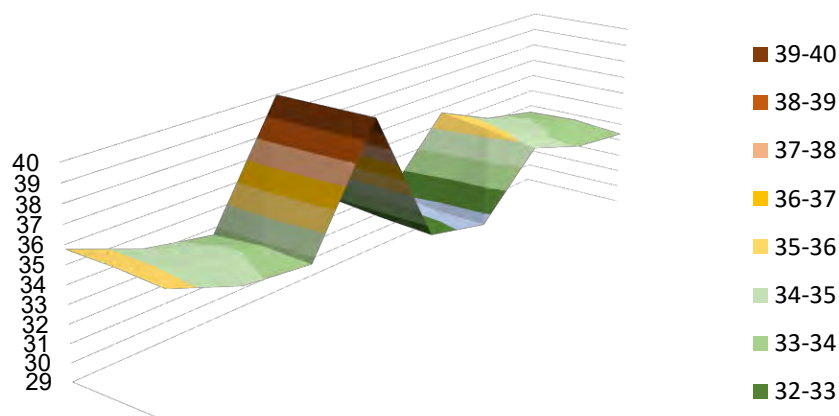


Figura 6.17 Mismas constantes que la gráfica 11, pero con 20 vehículos en su interior.



6.2.2 Análisis por número de coches

Mediante la [Tabla 6.7](#), se analizan los porcentajes de aumentos por incremento de número de coches, la comparación se hace tomando como casos bases, los cañones con sus diferentes configuraciones, pero sin autos. Las diferencias son expresadas en porcentaje, donde podemos afirmar que:

- Al agregar 10 unidades en el cañón, el incremento en promedio en los orientados Este-Oeste es de 2% y con 20 unidades, es proporcional con un 4%.
- Los orientados al Norte-Sur y presentan un promedio de aumento de 4% más por 10 unidades y 7.5% por 20 unidades.
- Los cañones con 20 metros de ancho presentan los menores incrementos en relación con los de 10 metros, con base a esta variable.
- El caso más alto lo obtiene el cañón de 10 metros de ancho con 20 metros de altura y 20 coches, con 10.94% de incremento, siendo una confirmación de la investigación de Ichinose (1999) donde a una escala menor como una manzana, el aporte de calor antropogénico vehicular es asociado con la altura de los edificios (número de pisos).
- Los cañones de 20 metros de ancho, con una orientación Este-Oeste, obteniendo un aumento en promedio del 1.5% en relación con los casos de 0 autos.
- La comparación entre las relaciones de aspecto, podemos ver que los orientados Este-Oeste, sus diferencias varían entre 2 a 3% más, y los orientados al Norte-Sur, sus porcentajes se encuentran entre los 4 y 6%

Tabla 6.7 Comparación de datos en relación con el número de autos.

Caso	0 unidades Valor °C	10 coches %	20 coche %
1.2m/s E-O 10:05	30.55	2.11	3.75
1.2m/s E-O 10:10	30.61	1.52	2.99
1.2m/s E-O 10:20	30.57	3.73	5.47
1.2m/s E-O 20:05	30.51	1.75	3.84
1.2m/s E-O 20:10	30.58	1.35	3.25
1.2m/s E-O 20:20	30.64	1.25	2.84
1.2m/s N-S 10:05	34.85	4.36	7.91
1.2m/s N-S 10:10	35.12	4.45	8.62
1.2m/s N-S 10:20	34.51	7.48	10.94



1.2m/s N-S 20:05	33.76	3.30	6.51
1.2m/s N-S 20:10	33.78	2.84	6.07
1.2m/s N-S 20:20	33.73	2.29	5.17
Orientación E-O	Promedio	1.95	4.36
Orientación N-S	Promedio	4.12	7.54

6.2.3 Análisis por orientación

Los valores determinados con esta variable son los más altos y al mismo tiempo los más uniformes. Tomando como base los cañones orientados al Este-Oeste, se comparan con los orientados al Norte-Sur. Con la [Tabla 6.8](#), se realizan las siguientes conclusiones:

- Los cañones con 10 metros de ancho (W), en promedio muestran un incremento progresivo, de 3% más; por cada 10 unidades que ingresan en el cañón.
- Los cañones de 20 metros de ancho varían entre un 3 a 9%, presentando un 10% en promedio para los 0 coches y 12% por las 10 y 20 unidades.
- El caso más crítico (21% de aumento) lo presenta el cañón Norte-Sur con una relación de aspecto de 1 ($H/W = 10/10m$).
- El valor menor (9%), lo ostenta el cañón con orientación N-S, con una $H/W = 5/20m$, le siguen los dos casos de 10% que son los cañones con 20 metros de ancho, los cuales son el de $H/W = 10/20$ y $H/W = 20/20$.
- La penúltima conclusión, permite concluir que, aunque el caso más crítico tiene un $RA = 1$ ($10/10$), la misma $RA = 1$ ($20/20$) sea un caso menor, confirmando que la apertura en la calle permite un mayor flujo de movimiento de aire, y una ventana térmica en promedio general, esto no implica que los valores sean menores a los costados de las fachadas.

Tabla 6.8 Base de datos para la comparación de las simulaciones con cañones orientados al Este-Oeste y su porcentaje de aumento con los orientados al Norte-Sur

Caso Valor inicial °C	0 unidades	10 coches	20 coches
1.2m/s E-O 10:05	30.55	31.20	31.70
1.2m/s N-S 10:05	14%	17%	19%
1.2m/s E-O 10:10	30.61	31.08	31.53
1.2m/s N-S 10:10	15%	18%	21%
1.2m/s E-O 10:20	30.57	31.71	32.25
1.2m/s N-S 10:20	13%	17%	19%
Promedio W=10m	14%	17%	19%



1.2m/s E-O 20:05	30.51	31.05	32.90
1.2m/s N-S 20:05	11%	12%	9%
1.2m/s E-O 20:10	30.58	31.00	31.57
1.2m/s N-S 20:10	10%	12%	13%
1.2m/s E-O 20:20	30.64	31.03	31.51
1.2m/s N-S 20:20	10%	11%	13%
Promedio W=20m	10%	12%	12%

6.2.4 Análisis por relación de aspecto

La última variable de análisis son las relaciones de aspecto (RA). En este caso, se toma como base los cañones con menor altura, es decir $RA=0.5$ ($H/W=5/10$) y $RA=0.25$ ($H/W=5/20m$).

Los resultados se vuelven más disímiles y difíciles de suponer reglas que los anteriores como se aprecia en la [Tabla 6.9](#), los valores están dados en porcentaje y los positivos significan aumento y los negativos disminución de calor en la temperatura promedio con relación al caso base.

- Los casos más favorables para disminuir la temperatura son encontrados en los cañones E-O con veinte unidades de autos y un ancho de 20metros, podemos decir que, aunque en estos casos se aumenta más la temperatura con las otras variables, el ancho de la calle favorece a disipar el calor generado por los autos, gracias a la modificación de la geometría de la calle.
- El caso con el valor más alto, lo posee el cañón orientado al Norte-Sur con una relación de aspecto de 2 ($H/W=20/10m$), donde por su altura alberga más el calor de los autos, siendo de 1.8% el incremento.
- En general los cañones con N-S y de 10 metros de ancho, son los que menos disipan el flujo de calor.
- Los que presenten menos alteración, son los cañones con 20 metros de ancho, orientación N-S, sin coches, donde su promedio es general es de -0.03%.



Tabla 6.9 Base de datos para la comparación de las simulaciones en relaciones de aspecto, la base dada en °C son los cañones que contiene edificios con altura de 5 metros

Caso Valor inicial °C	0 unidades	10 coches	20 coches
1.2m/s E-O 10:05	30.55	31.20	31.70
1.2m/s E-O 10:10	0.20%	-0.37%	0.54%
1.2m/s E-O 10:20	0.06%	1.66%	1.73%
Promedio E-O, W=10	0.13%	0.64%	0.59%
1.2m/s E-O 20:05	30.51	31.05	32.90
1.2m/s E-O 20:10	0.21%	-0.18%	4.05%
1.2m/s E-O 20:20	0.43%	-0.06%	4.23%
Promedio E-O, W=210	0.32%	-0.12%	4.14%
1.2m/s N-S 10:05	34.85	36.37	37.61
1.2m/s N-S 10:10	0.79%	0.88%	1.45%
1.2m/s N-S 10:20	-0.98%	1.99%	1.80%
Promedio N-S, W=10	-0.10%	1.43%	1.63%
1.2m/s N-S 20:05	33.76	34.88	35.96
1.2m/s N-S 20:10	0.04%	-0.40%	0.37%
1.2m/s N-S 20:20	-0.11%	-1.08%	1.35%
Promedio N-S, W=20	-0.03%	-0.74%	0.86%



6.3 Análisis de 120 simulaciones con variaciones en número de coches, orientación, velocidad de viento y relaciones de aspecto

Todos los datos son tomados de las Tablas 6.2a y 6.2b, al inicio del capítulo VI Resultados.

6.3.1 Análisis en relación con número de coches

La Tabla 6.10 y Figura 6.18 muestran que el aumento del número de coches genera el incremento de la T_w . En las columnas que marca los °C de diferencia, los cañones con orientación E-O con 10 autos sube en promedio 0.55°C y con 20 autos es de 1.1°C. Pero cañones con orientación N-S con 10 autos alza 1.6°C y con 20 autos, 2.7°C. En este caso, la base de la comparación se dio con los cañones con cero autos.

Tabla 6.10. Datos para la asociación con la variable de número de coches

	CASO BASE 0 Coches E-O	Aumento 10 Coches	Aumento 20 Coches	CASO BASE 0 Coches N-S	Aumento 10 coches	Aumento 20 coches	Diferencia entre E-O y N-S
10:05m	31.09	0.59	1.09	35.86	1.70	2.86	4.77
10:10m	31.17	0.53	0.91	35.90	1.51	3.21	4.73
10:20m	31.11	0.93	1.48	34.68	2.97	3.94	3.57
20:05m	30.88	0.45	1.41	34.59	1.33	2.34	3.71
20:10m	30.90	0.39	0.91	34.78	1.09	2.18	3.88
20:20m	30.96	0.41	0.83	34.39	1.08	2.10	3.43

Gráfica para la asociación de la variable con número de coches

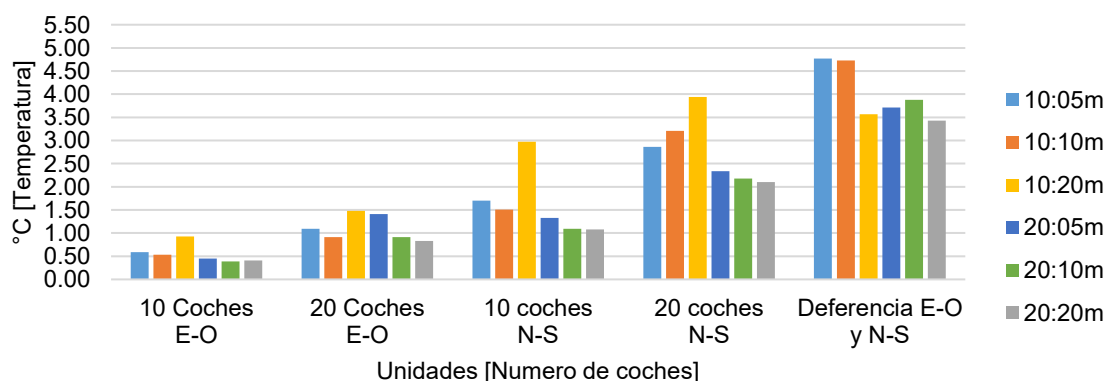


Figura 6.18 Gráfica de relación con número de autos.

Tabla 6.12 Codicionantes en las simulaciones

Variable	Orientación	Velocidad	No. Coches	RA	Longitud	Ancho
No. Variables	2	3	3	3	1	2



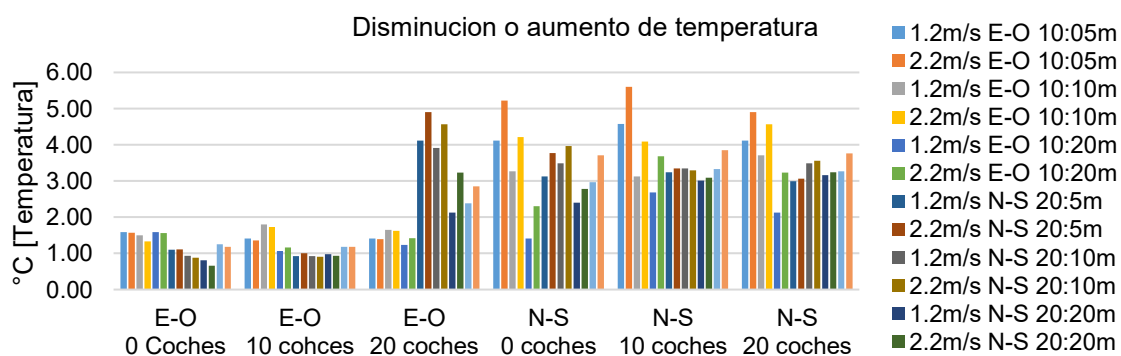
No. Casos	2	6	18	54	54	108
	E-O	0.00	0	1 : 0.5	50 mts	10 mts
	N-S	1.20	10	1 : 1		20 mts
		2.20	20	1 : 2		

6.3.2 Análisis en relación con viento

La [Tabla 6.11](#) y [Figura 6.19](#), permiten observar el comportamiento de T_w , cuando el viento tiene una velocidad de 1.2 y 2.2m/s. Los resultados son los °C que disminuye la temperatura en relación con los cañones con una velocidad de viento 0.0m/s. Por lo tanto, cañones con orientación E-O, no muestran diferencia entre ambas velocidades, en comparación con los cañones N-S, donde hay casi una diferencia de 1°C menos con una velocidad de 2.2m/s.

Tabla 6.11 Datos para la asociación con la variable de viento

Caso	E-O 0 Coches	E-O 10 Coches	E-O 20 Coches	N-S 0 Coches	N-S 10 coches	N-S 20 coches
0.0m/s E-O 10:05m	32.14	32.61	33.11	38.97	40.95	41.73
1.2m/s E-O 10:05m	-1.59	-1.41	-1.41	-4.12	-4.58	-4.12
2.2m/s E-O 10:05m	-1.57	-1.36	-1.39	-5.22	-5.60	-4.90
0.0m/s E-O 10:10m	32.12	32.88	33.18	38.39	39.82	41.87
1.2m/s E-O 10:10m	-1.50	-1.80	-1.65	-3.27	-3.13	-3.71
2.2m/s E-O 10:10m	-1.33	-1.73	-1.62	-4.21	-4.09	-4.57
0.0m/s E-O 10:20m	32.16	32.78	33.48	35.92	39.77	40.41
1.2m/s E-O 10:20m	-1.59	-1.07	-1.23	-1.41	-2.68	-2.13
2.2m/s E-O 10:20m	-1.56	-1.16	-1.42	-2.30	-3.68	-3.23
0.0m/s N-S 20:5m	31.61	31.96	41.73	36.89	38.12	38.95
1.2m/s N-S 20:5m	-1.10	-0.92	-4.12	-3.13	-3.24	-2.99
2.2m/s N-S 20:5m	-1.11	-1.00	-4.90	-3.77	-3.35	-3.06
0.0m/s N-S 20:10m	31.50	31.91	41.87	37.27	38.09	39.31
1.2m/s N-S 20:10m	-0.93	-0.92	-3.71	-3.49	-3.35	-3.49
2.2m/s N-S 20:10m	-0.88	-0.91	-4.57	-3.97	-3.29	-3.56
0.0m/s N-S 20:20m	31.45	32.01	40.41	36.12	37.51	38.63
1.2m/s N-S 20:20m	-0.81	-0.98	-2.13	-2.40	-3.01	-3.16
2.2m/s N-S 20:20m	-0.66	-0.93	-3.23	-2.78	-3.09	-3.24
Promedio 1.2m/s	-1.25	-1.18	-2.38	-2.97	-3.33	-3.27
Promedio 2.2m/s	-1.18	-1.18	-2.85	-3.71	-3.85	-3.76





6.3.3 Análisis en relación con orientación

La [Tabla 6.12](#) ejemplifica el proceder de T_w en porcentaje, comparando como base los cañones con orientación Norte-Sur con los Este-Oeste. Los mayores aumentos están en los cañones más angostos (10 metros) con un máximo de un 20%, mientras que los cañones con 20 metros de ancho, su máxima es de 15% en el aumento de la temperatura promedio.

Tabla 6.12 Datos para la asociación con la orientación

Caso	0 coches 10 m Ancho	10 coches 10 m Ancho	20 coches 10 m Ancho	0 coches 20 m Ancho	10 coches 20 m Ancho	20 coches 20 m Ancho
0.0m/s E-O 5m	32.14	32.61	33.11	31.61	31.96	32.90
0.0m/s N-S 5m	21%	26%	26%	17%	19%	18%
1.2m/s E-O 5m	30.55	31.20	31.70	30.51	31.05	32.53
1.2m/s N-S 5m	14%	17%	19%	11%	12%	11%
2.2m/s E-O 5m	30.57	31.24	31.72	30.50	30.96	31.42
2.2m/s N-S 5m	10%	13%	16%	9%	12%	14%
0.0m/s E-O 10m	32.12	32.88	33.18	31.50	31.91	32.37
0.0m/s N-S 10m	20%	21%	26%	18%	19%	21%
1.2m/s E-O 10m	30.61	31.08	31.53	30.58	30.99	31.57
1.2m/s N-S 10m	15%	18%	21%	10%	12%	13%
2.2m/s E-O 10m	30.79	31.15	31.55	30.63	31.00	31.51
2.2m/s N-S 10m	11%	15%	18%	9%	12%	13%
0.0m/s E-O 20m	32.16	32.78	33.48	31.45	32.01	32.42
0.0m/s N-S 20m	12%	21%	21%	15%	17%	19%
1.2m/s E-O 20m	30.57	31.71	32.25	30.64	31.03	31.51
1.2m/s N-S 20m	13%	17%	19%	10%	11%	13%
2.2m/s E-O 20m	30.60	31.62	32.06	30.79	31.08	31.44
2.2m/s N-S 20m	10%	14%	16%	8%	11%	13%
Promedio	14%	18%	20%	12%	14%	15%



6.3.4 Análisis en relación con ancho de la calle

Se toma como pie de comparación los cañones con un ancho de 10 metros, para calcular seis promedios representativos de la disminución en °C de T_w con los cañones más amplios (20 metros). La [Tabla 6.13](#) vislumbra que los cañones orientados E-O no disminuyen ni con la amplitud de calle, siendo su máximo -0.48°C. En contraste con los cañones N-S que progresivamente logran una disminución, -0.9°C con cero coches, -1.8°C con 10 coches y -2.0°C con 20 coches, demostrando que esta variable es de gran importancia solo en cañones encaminadas hacia el N-S.

Tabla 6.13 Datos para la asociación con el ancho de la calle

Caso	0 coches 10 m ancho	0 coches 20 m ancho	10 coches 10 m ancho	10 coches 20 m ancho	20 coches 10 m ancho	20 coches 20 m ancho
0.0m/s E-O 20:05	32.14	-0.53	32.61	-0.64	33.11	-0.58
1.2m/s E-O 20:05	30.55	-0.04	31.20	-0.15	31.70	1.21
2.2m/s E-O 20:05	30.57	-0.07	31.24	-0.28	31.72	-0.30
0.0m/s E-O 20:10	32.12	-0.61	32.88	-0.98	33.18	-0.81
1.2m/s E-O 20:10	30.61	-0.04	31.08	-0.09	31.53	0.04
2.2m/s E-O 20:10	30.79	-0.16	31.15	-0.16	31.55	-0.04
0.0m/s E-O 20:20	32.16	-0.71	32.78	-0.77	33.48	-1.05
1.2m/s E-O 20:20	30.57	0.07	31.71	-0.69	32.25	-0.73
2.2m/s E-O 20:20	30.60	0.19	31.62	-0.54	32.06	-0.61
Promedio		-0.21		-0.48		-0.32
0.0m/s N-S 20:05	38.97	-2.08	40.95	-2.83	41.73	-2.78
1.2m/s N-S 20:05	34.85	-1.09	36.37	-1.49	37.61	-1.65
2.2m/s N-S 20:05	33.76	-0.64	35.35	-0.58	36.83	-0.94
0.0m/s N-S 20:10	38.39	-1.13	39.82	-1.73	41.87	-2.55
1.2m/s N-S 20:10	35.12	-1.35	36.69	-1.95	38.15	-2.33
2.2m/s N-S 20:10	34.18	-0.88	35.73	-0.94	37.30	-1.55
0.0m/s N-S 20:20	35.92	0.20	39.77	-2.27	40.41	-1.78
1.2m/s N-S 20:20	34.51	-0.78	37.09	-2.59	38.28	-2.81
2.2m/s N-S 20:20	33.62	-0.28	36.09	-1.67	37.18	-1.79
Promedio		-0.89		-1.78		-2.02

6.3.5 Análisis en relación con la altura del edificio

Los valores de esta variable demuestran que es la que presenta menor ponderación de aumento en el valor de T_w dentro de un cañón. No se observan valores progresivos, siendo la disminución menor en cañones orientados al E-O ([Tabla 6.14](#)).



Tabla 6.14 Datos para la asociación con la altura del cañón

	E-O / 0 coches			E-O 10 coches			E-O / 20 coches		
	10:05	10:10	10:20	10:05	10:10	10:20	10:05	10:10	10:20
0.0m/s	32.14	-0.03	0.02	32.61	0.28	0.17	33.11	0.06	0.30
1.2m/s	30.55	0.06	0.02	31.20	-0.12	0.52	31.70	-0.17	0.72
2.2m/s	30.57	0.21	0.03	31.24	-0.09	0.37	31.72	-0.17	0.51
	20:05	20:10	20:20	20:05	20:10	20:20	20:05	20:10	20:20
0.0m/s	31.61	-0.11	-0.16	31.96	-0.06	0.05	32.53	-0.17	0.06
1.2m/s	30.51	0.06	0.13	31.05	-0.06	-0.02	32.90	-1.33	-0.06
2.2m/s	30.50	0.12	0.29	30.96	0.03	0.11	31.42	0.09	-0.07
		0.05	0.05		0.00	0.20		-0.28	0.24
	N-S / 0 coches			N-S 10 coches			N-S / 20 coches		
	10:05	10:10	10:20	10:05	10:10	10:20	10:05	10:10	10:20
0.0m/s	38.97	-0.58	-3.06	40.95	-1.13	-1.17	41.73	0.14	-1.46
1.2m/s	34.85	0.27	-0.34	36.37	0.32	0.72	37.61	0.55	0.13
2.2m/s	33.76	0.43	-0.14	35.35	0.38	0.74	36.83	0.47	-0.12
	20:05	20:10	20:20	20:05	20:10	20:20	20:05	20:10	20:20
0.0m/s	36.89	0.38	-0.77	38.12	-0.03	-0.61	38.95	0.37	-0.68
1.2m/s	33.76	0.01	-0.04	34.88	-0.14	-0.38	35.96	-0.13	-0.35
2.2m/s	33.12	0.18	0.22	34.77	0.02	-0.35	35.88	-0.13	-0.36
		0.11	-0.69		-0.10	-0.17		0.21	-0.47



VII. DISCUSION DE RESULTADOS

Para la realización de este apartado, se retoman las variantes analizadas en el capítulo VI. [Resultados](#), con el objetivo de abrir una discusión entre los resultados obtenidos en esta investigación y los autores del marco teórico.

7.1 Resultados de las mediciones de campo

Los asentamientos humanos costeros, tienen una intensidad más débil en la Isla de Calor Urbano que las ciudades alejadas del mar, debido a la brisa marina, que enfría el medio ambiente, además de esta aseveración, Sakakibara et al. (2005); clasifican dos tipos de aumento de temperatura en las ciudades costeras, una en invierno y la segunda en verano, asociándolo con la ubicación del observatorio donde se realizaron las mediciones, porque la primera ocurre cuando la estación está ubicada lejos del mar y la segunda cuando está cerca de la costa. En la [Figura 7.1](#) (Sakakibara & Owa, 2005), se muestra la diferencia de °C entre los datos de temperatura promedio mensual obtenidos en la estación de Tokio (No.10 ubicada cerca de la bahía) y estaciones ubicadas dentro de la ciudad y alejadas de la costa.

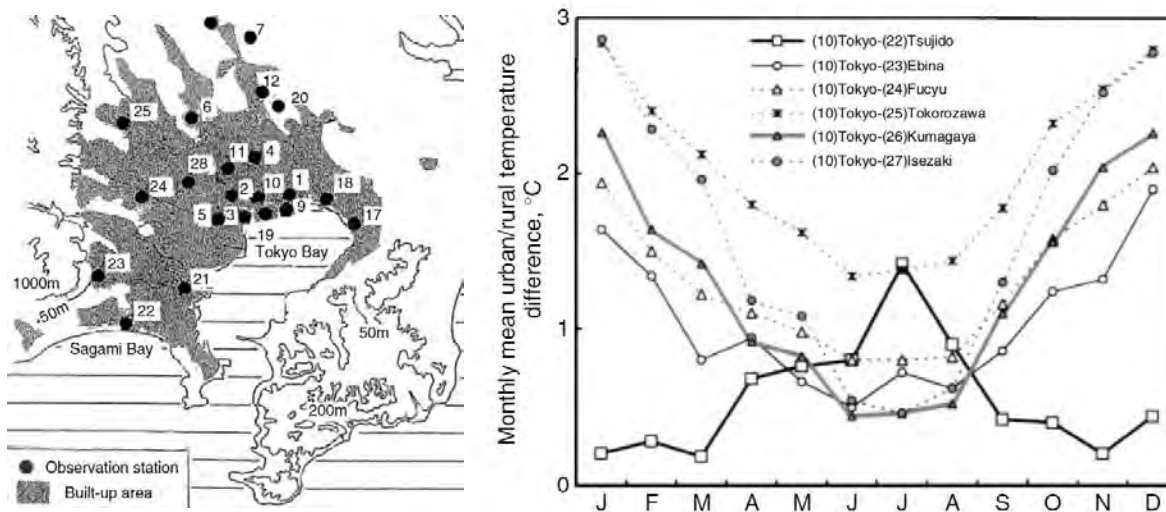


Figura 7.1. (Izquierda) Ubicación de las estaciones en Tokio. (Derecha) Grafica de Temperatura media mensual entre las estaciones. Fuente: (Sakakibara & Owa, 2005)

La [Figura 7.2](#), muestra una gráfica con los datos obtenidos de las mediciones de campo en el centro de la ciudad de Veracruz (lejos de la costa) de los periodos: cálido (19 y 20 de mayo del 2018) y semicálido (2 y 3 de febrero del 2019)



En promedio el periodo cálido demuestra un alza con respecto a la temperatura oficial (32°C) de 2 a 2.8°C , llegando alcanzar en las mediciones a la altura de 1.5m un valor de $T_{WA}=34.8^{\circ}\text{C}$ y a la altura de 3.0m de 34.06°C .

En el periodo semicálido la T_{WA} se eleva de 1 a 2.3°C con respecto a la temperatura oficial (28°C), obteniendo los valores de 30.3 y 28.8°C a la altura de 1.5 y 3.0m respectivamente.

A la altura de 1.5metros, en nuestro caso de estudio, la condición se cumple **parcialmente** porque dentro del periodo semicálido en los dos días, los valores se mantienen arriba de los 3°C y en el periodo cálido: a) el 19 de mayo (mayor cantidad de coches) es por 2°C y b) el 20 de mayo (menor cantidad de coches) se eleva los 3°C en relación con la T oficial ([Figura 7.2](#)).

A la altura de 3.0 metros esta condición **no** se cumple, porque en el periodo cálido, el 70% de los valores medidos dentro de los 630 metros de longitud del cañón, aproximadamente tiene 1°C más que el periodo semicálido ([Figura 7.2](#)).

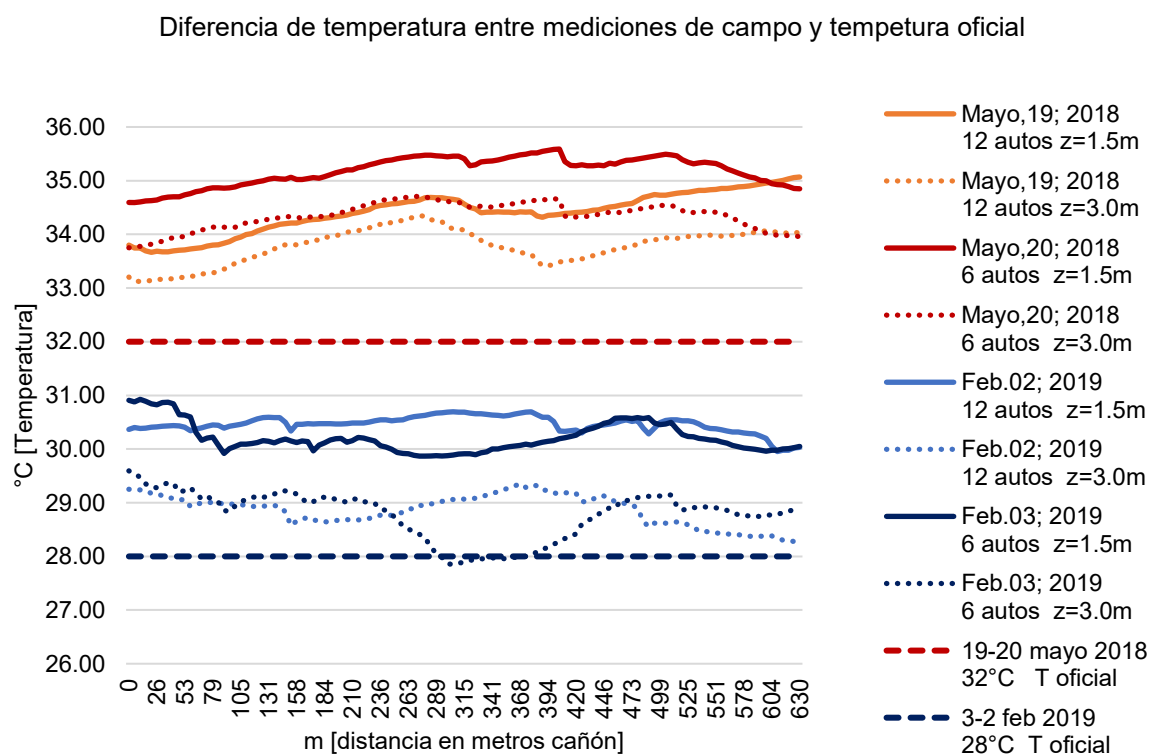


Figura 7.2 Grafica con valores de mediciones de campo en los periodos cálido y semicálido con respecto a la temperatura oficial en mayo (32°C) y en febrero (28°C)



7.2 Resultados de número de coches (Q_{FV})

Como se mencionó en el marco teórico, la inclusión de Q_F en los modelos de eficiencia energética de las edificaciones, es generalmente proporcionado por un perfil de calentamiento antropogénico de sistemas como WRF, donde los valores son 90, 50 y 20 Wm^{-2} respectivamente son para categorías comerciales, residenciales de alta densidad y residenciales de baja densidad. Aunque estos perfiles ([Figura 3.4](#)) son editables por el usuario, los datos de calor antropogénicos en cualquiera de sus componentes (industria, vehicular, edificación y metabolismo) no están disponibles para muchas ciudades, por lo que aumentan la probabilidad de que los usuarios simplemente utilicen los perfiles sin cambios. En algunos casos, la falta de datos lleva a los modeladores urbanos a desactivar las magnitudes de Q_F (por ejemplo, ([Holt & Pullen, 2007](#)), o a utilizar perfiles personalizados que descuidan algunos componentes clave de emisiones, como el sector de los vehículos (por ejemplo, ([Lin, y otros, 2008](#)).

Para comparar los resultados de esta investigación, se recurre a la utilización de la ecuación de radiación de Stefan Boltzman con los valores medidos por MeVA ([Subcapítulo 4.7](#)) y los obtenidos en las simulaciones ([Capítulo VI](#)) contra el trabajo del experto en el tema, PhD J. D. Sailor ([2015](#)), donde desarrolla una base de datos de Q_F con perfiles diurnos y estacionales para 61 ciudades americanas, divididas en invierno frío y cálido e introduciendo un método de extrapolación y estadístico del consumo de energía.

De los resultados expuestos por los autores sobre Q_F y Q_{FV} , se desarrolla la [Tabla 7.1 y 7.2](#), donde se seleccionaron solas las ciudades con invierno cálido como nuestro caso de estudio, y se introducen el porcentaje de contribución relativa del componente Q_{FV} que Sailor et al. ([2015](#)), calculan promediando todas las ciudades por mes.

Tabla 7.1 Valores de Q_F y Q_{FV} a escala urbana para ciudades americanas en periodo cálido (verano) Fuente: Modificado de Sailor et al. (2015)

Ciudad	Edo.	Q_F max	% promedio de Q_{FV} en periodo cálido					
		Verano Wm^{-2}	Abril 42%	Mayo 46%	Junio 46%	Julio 45%	Agosto 46%	Sept 45%
Atlanta	GA	11.87	5.0	5.4	5.4	5.3	5.4	5.4
Austin	TX	9.65	4.1	4.4	4.4	4.3	4.4	4.4
Bakersfield	CA	5.88	2.5	2.7	2.7	2.6	2.7	2.7
Birmingham	AL	6.45	2.7	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
Charlotte	NC	8.4	3.5	3.8	3.8	3.7	3.8	3.8
Corpus christi	TX	7.53	3.2	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4



Dallas	TX	13.99	5.9	6.4	6.4	6.2	6.4	6.4
El paso	TX	8.27	3.5	3.8	3.8	3.7	3.8	3.8
Fort worth	TX	8.67	3.6	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9
Fresno	CA	11.61	4.9	5.3	5.3	5.2	5.3	5.3
Houston	TX	13	5.5	5.9	5.9	5.8	5.9	5.9
Jacksonville	FL	3.82	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
Las Vegas	NV	15.38	6.5	7.0	7.0	6.8	7.0	7.0
Los angeles	CA	21.54	9.0	9.8	9.8	9.6	9.8	9.8
Memphis	TN	7.81	3.3	3.6	3.6	3.5	3.6	3.5
Miami	FL	34.46	14.5	15.7	15.7	15.3	15.7	15.6
Nashville	TN	5.68	2.4	2.6	2.6	2.5	2.6	2.6
Oakland	CA	17.47	7.3	7.9	7.9	7.8	7.9	7.9
Oklahoma city	OK	4.25	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
Phoenix	AZ	9.22	3.9	4.2	4.2	4.1	4.2	4.2
Raleigh	NC	10.29	4.3	4.7	4.7	4.6	4.7	4.7
Riverside	CA	10.91	4.6	5.0	5.0	4.9	5.0	5.0
Sacramento	CA	12.43	5.2	5.7	5.7	5.5	5.7	5.6
San Antonio	TX	6.11	2.6	2.8	2.8	2.7	2.8	2.8
San Diego	CA	10.84	4.6	4.9	4.9	4.8	4.9	4.9
San Francisco	CA	42.77	18.0	19.5	19.5	19.0	19.5	19.4
San Jose	CA	14.11	5.9	6.4	6.4	6.3	6.4	6.4
Seattle	WA	23.08	9.7	10.5	10.5	10.3	10.5	10.5
St. Louis	MO	20.84	8.8	9.5	9.5	9.3	9.5	9.5
Stockton	CA	12.18	5.1	5.5	5.5	5.4	5.5	5.5
Tampa	FL	9.48	4.0	4.3	4.3	4.2	4.3	4.3
Tucson	AZ	7.11	3.0	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Promedio de Wm^{-2} por mes			5.3	5.8	5.8	5.6	5.8	5.7

Tabla 7.2 Valores de Q_F y Q_{FV} a escala urbana para ciudades americanas en el periodo semicálido (invierno), Modificado de Sailor et al. (2015)

Ciudad	Edo.	Q_F max	% Q_{FV} en periodo frío					
		Invierno Wm^{-2}	Oct 44%	Nov 38%	Dic 34%	Enero 32%	Feb 32%	Marzo 37%
Atlanta	GA	13.3	5.9	5.1	4.5	4.2	4.2	5.0
Austin	TX	9.8	4.3	3.7	3.3	3.1	3.1	3.7
Bakersfield	CA	6.1	2.7	2.3	2.0	1.9	1.9	2.3
Birmingham	AL	6.7	3.0	2.5	2.2	2.1	2.1	2.5
Charlotte	NC	9.9	4.4	3.8	3.3	3.1	3.1	3.7
Corpus christi	TX	7.1	3.1	2.7	2.4	2.2	2.2	2.6
Dallas	TX	14.3	6.3	5.4	4.8	4.5	4.5	5.3
El paso	TX	9	4.0	3.4	3.0	2.8	2.8	3.4
Fort worth	TX	8.9	3.9	3.4	3.0	2.8	2.8	3.3
Fresno	CA	12.3	5.4	4.7	4.1	3.9	3.9	4.6
Houston	TX	12.6	5.6	4.8	4.2	4.0	4.0	4.7
Jacksonville	FL	3.7	1.6	1.4	1.2	1.2	1.2	1.4
Las Vegas	NV	14.2	6.3	5.4	4.8	4.5	4.5	5.3



Los ángeles	CA	22.6	10.0	8.6	7.6	7.1	7.1	8.4
Memphis	TN	8.4	3.7	3.2	2.8	2.6	2.6	3.1
Miami	FL	29.8	13.1	11.3	10.0	9.4	9.4	11.1
Nashville	TN	6.4	2.8	2.4	2.1	2.0	2.0	2.4
Oakland	CA	20	8.8	7.6	6.7	6.3	6.3	7.5
Oklahoma city	OK	5	2.2	1.9	1.7	1.6	1.6	1.9
Phoenix	AZ	7.7	3.4	2.9	2.6	2.4	2.4	2.9
Raleigh	NC	11.8	5.2	4.5	4.0	3.7	3.7	4.4
Riverside	CA	10.9	4.8	4.1	3.7	3.4	3.4	4.1
Sacramento	CA	13.9	6.1	5.3	4.7	4.4	4.4	5.2
San Antonio	TX	5.9	2.6	2.2	2.0	1.9	1.9	2.2
San Diego	CA	11.2	4.9	4.3	3.8	3.5	3.5	4.2
San Francisco	CA	48.5	21.4	18.4	16.2	15.3	15.3	18.1
San Jose	CA	15.5	6.8	5.9	5.2	4.9	4.9	5.8
Seattle	WA	28.2	12.4	10.7	9.4	8.9	8.9	10.5
St. Louis	MO	26	11.5	9.9	8.7	8.2	8.2	9.7
Stockton	CA	13.6	6.0	5.2	4.6	4.3	4.3	5.1
Tampa	FL	8.4	3.7	3.2	2.8	2.6	2.6	3.1
Tucson	AZ	6.6	2.9	2.5	2.2	2.1	2.1	2.5
Promedio de Wm^{-2} por mes			5.9	5.1	4.5	4.2	4.2	5.0

Para lograr la comparación, la [Tabla 7.3](#) muestra el procedimiento que se utiliza, para obtener el Q_{FV} en Wm^{-2} de los valores de T_{WA} obtenidos en las mediciones de campo ([Anexo F. Base de datos de mediciones de campo](#)) y de la simulación ([Tabla 6.2a y 6.2b](#)); por medio de la ecuación de radiación, utilizando una emisividad de 0.55 (promedio de los materiales de construcción y lamina de los coches), área definida de $1m^2$ y la $\sigma=5.67 \times 10^{-8}$. Los valores de T_{MENOR} , en el caso de las mediciones de campo (MC) son la T oficial y en la simulación es el valor de la T_{WA} del cañón homónimo con cero unidades.

Tabla 7.3 Calculo de Q_{FV} en Wm^{-2} , mediante la ecuación de radiación de Stefan Boltzmann

Casos	T_{MAYOR} [°C]	T_{MENOR} [°C]	T_{MAYOR} [°K]	T_{MENOR} [°K]	T_{MAYOR} T^4 [K]	T_{MENOR} T^4 [K]	Q_{FV} Wm^{-2}
MC / 19 mayo / z= 1.5 / N-S	34.41	32	307.56	305.15	9E+09	9E+09	8.64
MC / 19 mayo / z=3.0 / N-S	33.78	32	306.93	305.15	9E+09	9E+09	6.37
MC / 20 mayo / z=1.5 / N-S	35.18	32	308.33	305.15	9E+09	9E+09	11.46
MC / 20 mayo / z=3.0 / N-S	34.35	32	307.50	305.15	9E+09	9E+09	8.41
Sim. / 21 junio / 10 coches / E-O	31.6	31.01	304.72	304.16	9E+09	9E+09	1.97
Sim. / 21 junio / 20 coches / E-O	32.1	31.01	305.28	304.16	9E+09	9E+09	3.94
Sim. / 21 junio / 10 coches / N-S	36.6	35.03	309.79	308.18	9E+09	9E+09	5.92
Sim. / 21 junio / 20 coches / N-S	37.8	35.03	310.95	308.19	9E+09	9E+09	10.23
MC / 2 febrero / z= 1.5 / N-S	30.46	28	303.61	301.15	8E+09	8E+09	8.49
MC / 2 febrero / z= 3.0 / N-S	28.86	28	302.01	301.15	8E+09	8E+09	2.95
MC / 3 febrero / z= 1.5 / N-S	30.21	28	303.36	301.15	8E+09	8E+09	7.60



MC / 3 febrero / z= 3.0 / N-S	28.78	28	301.93	301.15	8E+09	8E+09	2.66
-------------------------------	-------	----	--------	--------	-------	-------	-------------

Con los datos de las [Tablas 7.1, 7.2 y 7.3](#), en la [Figura 7.3](#) se asocian los valores Q_{FV} promedios de Salir et. al. (2015) y los de esta investigación.

Grafica de comparación entre los promedio de Q_{FV} de 61 ciudades americanas por mes en clima calido de Sailor (2015) y los T_{WA} de las simulaciones y las mediciones en campo

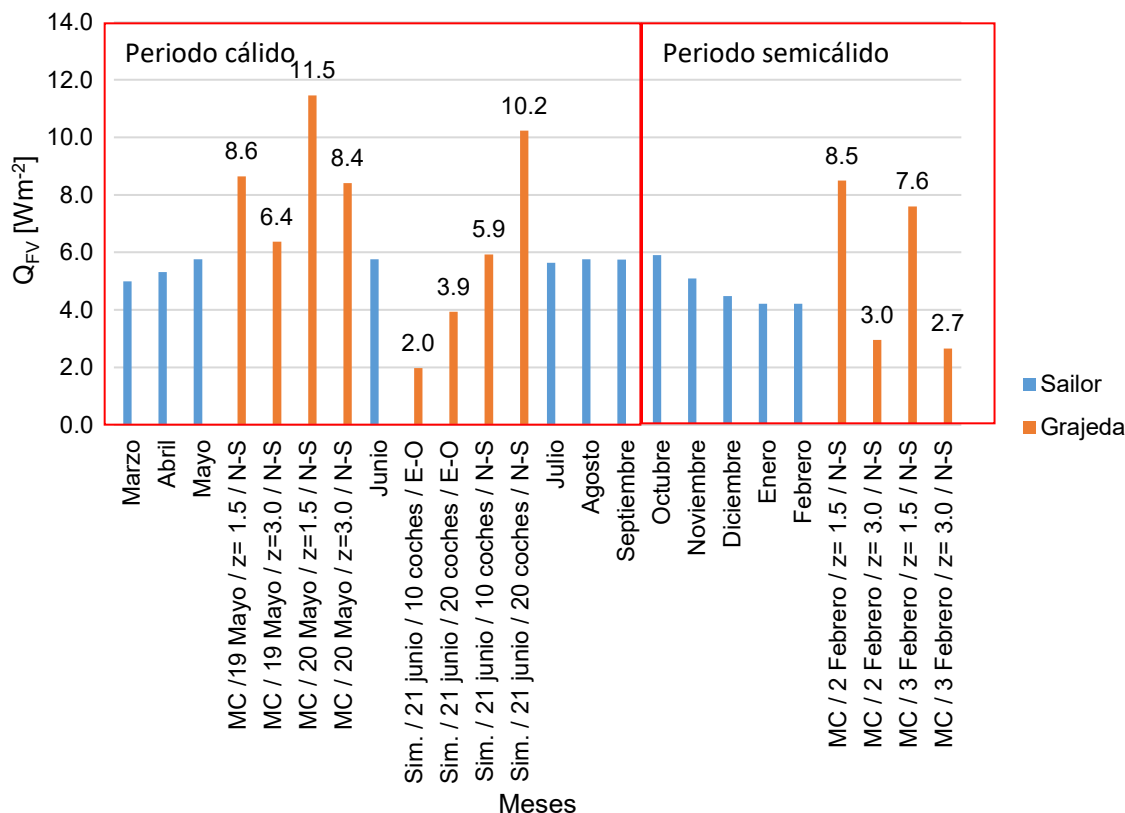


Figura 7.3 Gráfica comparativa entre los valores de Sailor (2015), mediciones en campo (MC) y simulaciones con el Ansys (Sim), dispuesta de acuerdo con meses

De la [Figura 7.3](#) se analiza que las mediciones de campo en el periodo cálido (mayo) se elevan 4 Wm^{-2} a la altura del 1.5 metros, y 2 Wm^{-2} a una altura de 3.00 metros, en relación con los datos reportados por Sailor et al. (2015).

Las simulaciones fijadas en el mes de junio, periodo cálido, con orientación E-O, están por debajo del promedio de las ciudades americanas, y con orientación N-S, el incremento de 10 unidades es igual al valor determinado para estas urbes, pero se eleva al doble (10.2 Wm^{-2}) con 20 unidades, es decir con un aforo completo para un cañón de 100metros de longitud.



Los valores en las mediciones de campo en el mes de febrero (periodo semicálido) a la altura de 1.5 metros se elevan de 8.5 a 7.6 Wm^{-2} (doble), pero se igualan a la altura de 3.0 metros con los valores de Sailor et al (2015).

Por lo que podemos concluir que a la altura de 3.00 metros los valores son semejantes, y la influencia de Q_{FV} por medio de la estimación estadística no refleja su intensidad a 1.5m, donde se desplaza el transeúnte o peatón.

Otro trabajo interesante es el Zheng y Weng (2018) donde proporciona un enfoque de modelado de Q_F híbrido, combinando el enfoque de inventarios y SIG para crear un perfil de Q_F por hora de 365 días a una resolución espacial de 120m en el condado de los Ángeles, California. La Figura 7.4 ejemplifica los resultados obtenidos de la metodología propuesta, basados en el valor promedio de todos los días, para dar perfiles de días laborables y no laborables por cada estación del año.

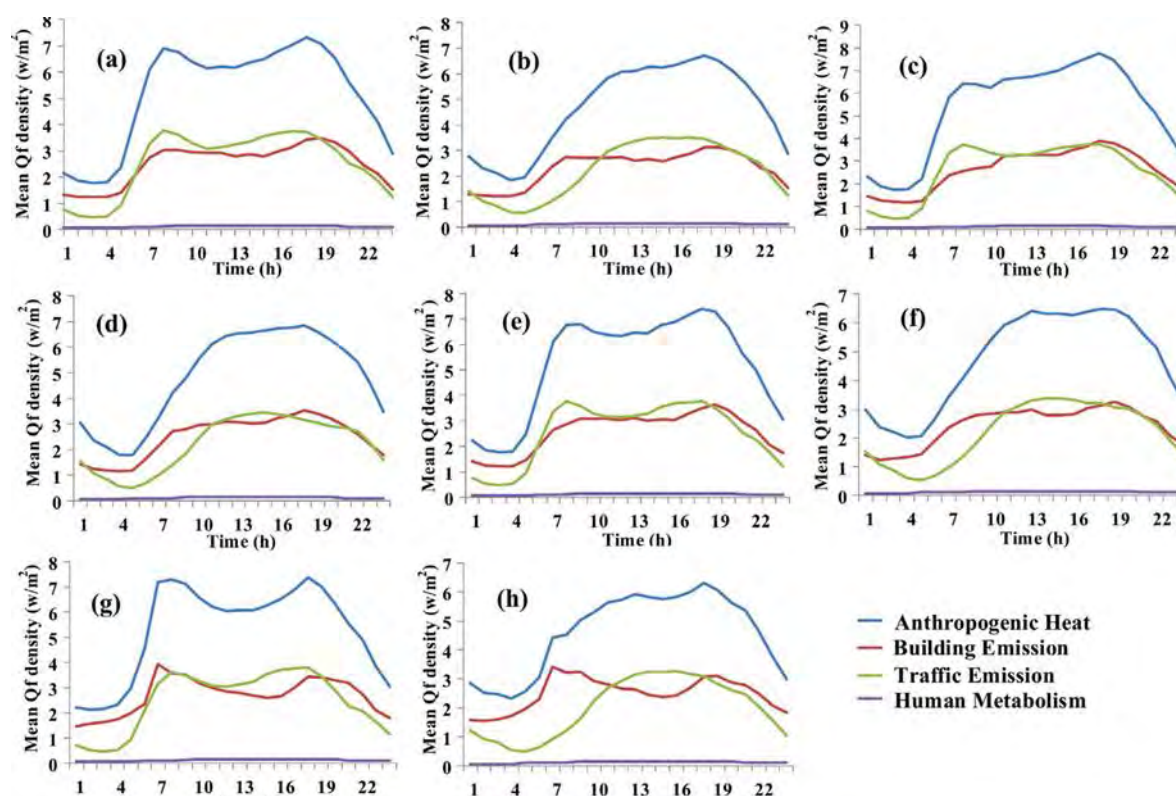


Figura 7.4 Grafica de la variación diurna de Q_F , Q_{FH} , Q_{FV} y Q_{FM} en (a) días laborables de primavera, (b) días no laborables de primavera, (c) días laborables de verano, (d) días no laborables de verano, (e) días laborables de otoño, (f) días no laborables de otoño, (g) días laborables de invierno y (h) días no laborables de invierno. Fuente: (Zheng & Weng, 2018)



En el expuesto por Zheg y Weng (2018), el Q_{FV} en ningún caso rebasa los 4 Wm^{-2} , aunque en algunos casos, como lo muestra la [Figura 7.4a, 7.4b, 7.4e y 7.4g](#), es superior al Q_{FH} (calor antropogénico de edificios e industria).

Sin embargo, el valor de Q_{FV} queda de debajo por 2 Wm^{-2} en periodo cálido y 1 Wm^{-2} en periodo semicálido con los resultados de Sailor et al (2015) y de 4 a 6 Wm^{-2} con la presente investigación.

7.3 Resultados de orientación

Los resultados sobre orientación son discutidos con cuatro autores, Ali-Touder y Mayer (2006), Andreou, E. (2014), Farhadi et al. (2019), y Abreu-Harbach et al. (2012). La [Tabla 7.4](#) es una tabla comparativa de las cinco investigaciones, incluyendo esta investigación, que ayuda a vislumbrar las características entre ellas.

Tabla 7.4. Datos comparativos de las investigaciones

Autores	Lugar	Metodología y fecha	Ubicación y clima	RA = H/W
Ali-Touder y Mayer (2006)	Ghardaia, Algeria	Simulación ENVI-met 01 de agosto	Latitud 32.40°N , 3.80°E Clima cálido seco	0.5, 1.2, 4
Andreou, E. (2014)	Isla de Tinos, Grecia	Simulaciones de sombra y mediciones de campo de T_{WA} y T_s 21 de junio	Latitud 37°N Clima con alta intensidad solar, fuertes vientos del norte	4 a 2
Farhadi et al. (2019)*	Teherán, Irán	Simulación ENVI-met y mediciones en campo 30 de Julio 2017	Latitud $35^{\circ}.51\text{N}$ Clima en verano: cálido seco Invierno: Frio semiseco	0.5 - 1
Abreu-Harbach et al. (2012)	Campinas, Brasil	Simulaciones RayMan Pro y mediciones en campo 25 junio 2003	Latitud 22°S 47°E Cima: Subtropical Cima verano: cálido húmedo Invierno: semicálido, semihúmedo	0.3, 0.6, 1.05, 1.76, 2.2
Grajeda, R. (2020)	Veracruz, México	Simulaciones Ansys y Mediciones de campo T_a Simulación 21 de junio Mediciones campo mayo 2018 y febrero 2019	Latitud 19°N Clima: cálido húmedo	0.5, 1, 2

*Farhadi et al (2019) la rotación es de 45° .

Cabe señalar que antes de iniciar con la discusión de los valores encontrados de las ganancias térmicas en los cañones urbanos entre sus dos orientaciones (N-S y E-O) en los diferentes casos, se debe hacer la acotación que en latitudes mayores a 30° , la ganancia térmica se ubica en las calles con eje E-O, y en las ciudades con latitudes menores a 30° la ganancia corresponde a los cañones N-S, como es el caso de Brasil y Veracruz.



Para las latitudes mayores a 30°N , la [Figura 7.5](#), del primer trabajo, demuestra que la diferencia entre las dos orientaciones oscila entre 2 y 4°C ; la [Figura 7.6](#), de los resultados de Andreou (2014), en promedio la T_s supera los 5°C y en el caso de Farhadi et al. (2019) en la [Figura 7.7](#), la diferencia es de 1.1° (sin perder de vista que esta rotación corresponde a 45°), todas estas ganancias registradas en los cañones con eje E-O (Fachadas N-S).

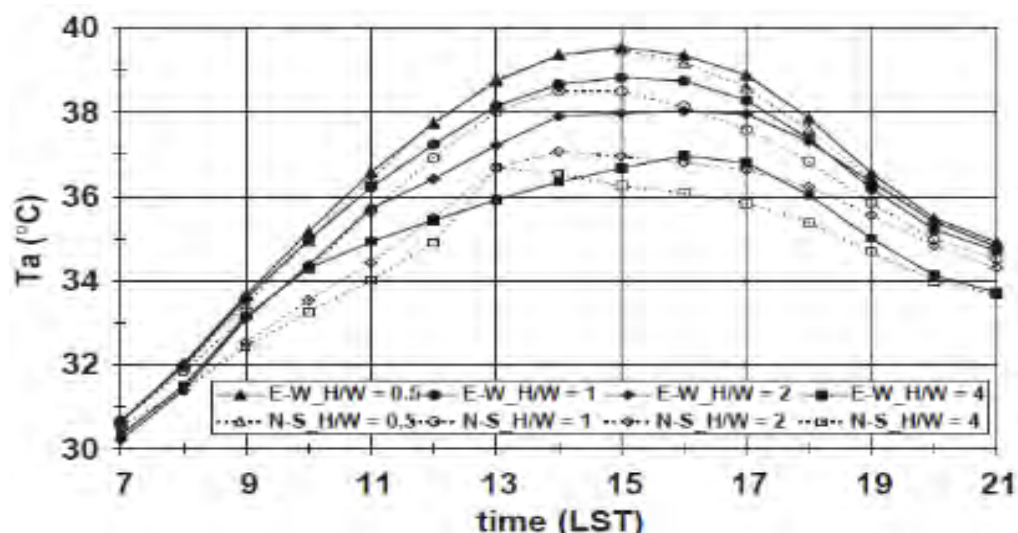


Figura 7.5 Grafica de resultados obtenidos en el trabajo de Ali-Touder y Mayer (2006)

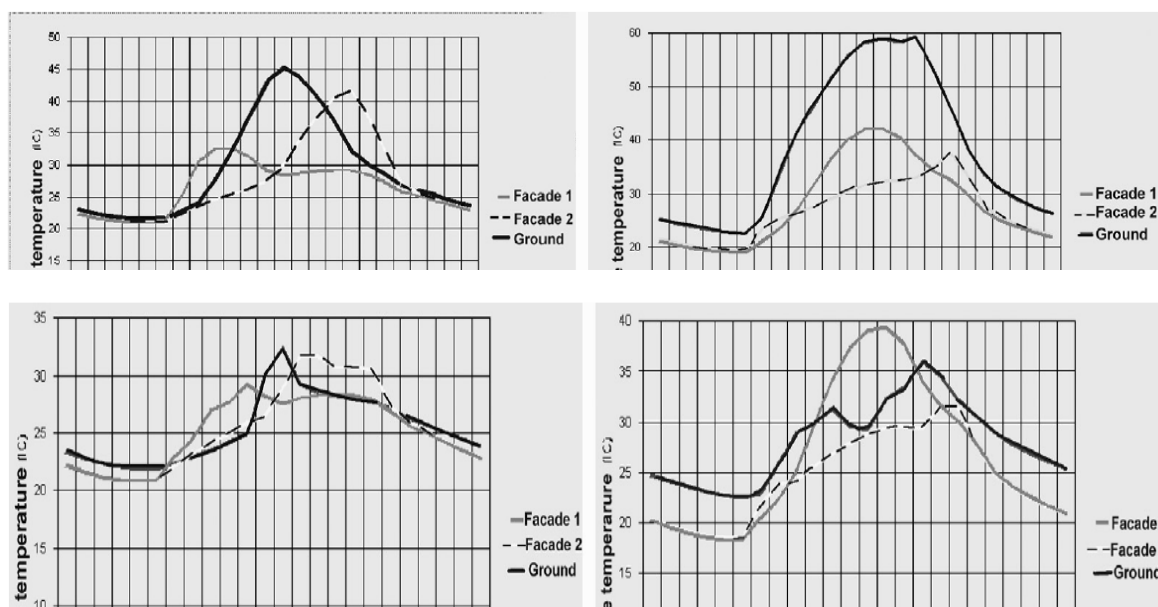


Figura 7.6 Grafica de los valores hallados en la investigación de Andreou (2014) a) Graficas superiores. Temperaturas de la superficie del suelo y la fachada para un cañón N-S (izquierda) y un cañón E-O (derecha) con $RA=H/W=0.6$. y b) Graficas inferiores. Temperaturas de la superficie del suelo y de la fachada para un cañón N-S (izquierda) y E-O (derecha) con $RA=H/W=3.0$

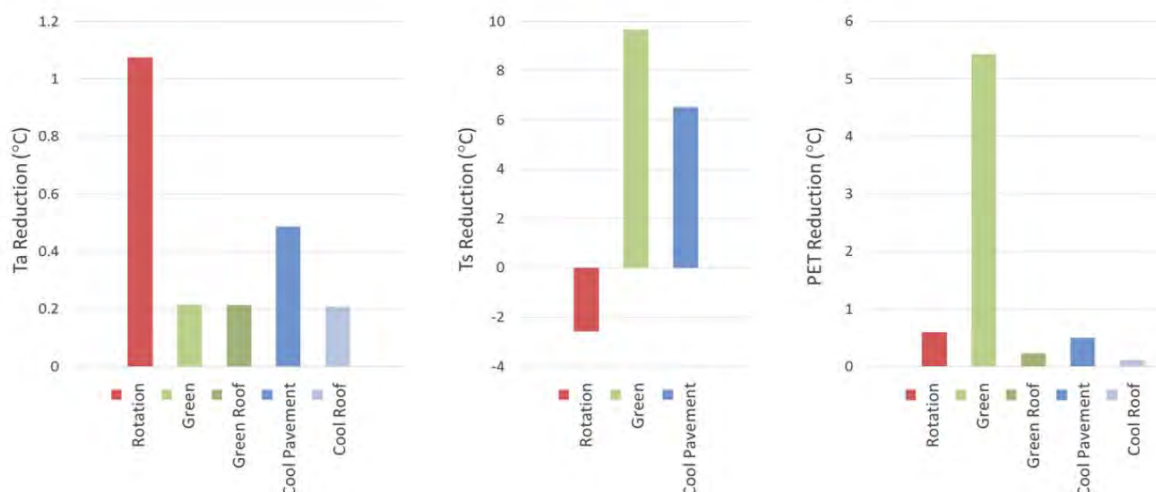


Figura 7.7 Grafica de resultados encontrados en el trabajo de Farhadi et al. (2019)
Los valores de reducción en base a su modelo originan, muestran los resultados de reducción en sus diferentes variables para T_{WA} , T_s y PET para las horas del mediodía (de 10 a.m. a 18 p.m.).

Para ciudades con latitudes menores a 30° , como en Brasil, según la [Figura 7.8](#), la diferencia oscila entre los 2 y 4°C , y en el caso de estudio ([Figura 7.9](#)), esta tiene dos variaciones: a) en cañones con un viento de 0.0m/s la T_{WA} oscila entre los 6 y 8°C , y b) con un viento de 1.2 o 2.2m/s , es de 2 a 4°C .

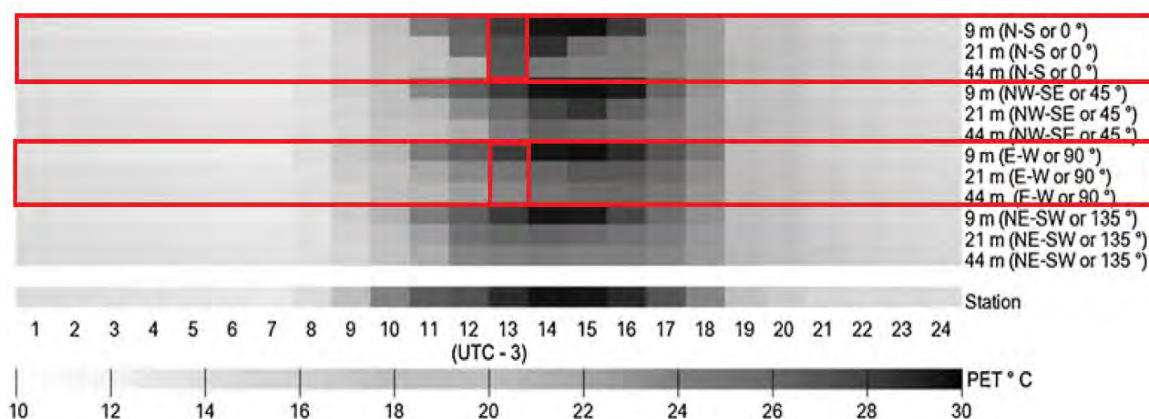


Figura 7.8 Grafica de los valores encontrados en la investigación de Abreu-Harbich et al. (2012).
Valores diurnos en PET (por sus siglas en ingles Physiologically Equivalent Temperature para el centro urbano de Brasil en un cañón de 20 m de ancho, N-S, NO-SO, E-O, NE-SE con alturas variables de 9, 21 y 44m

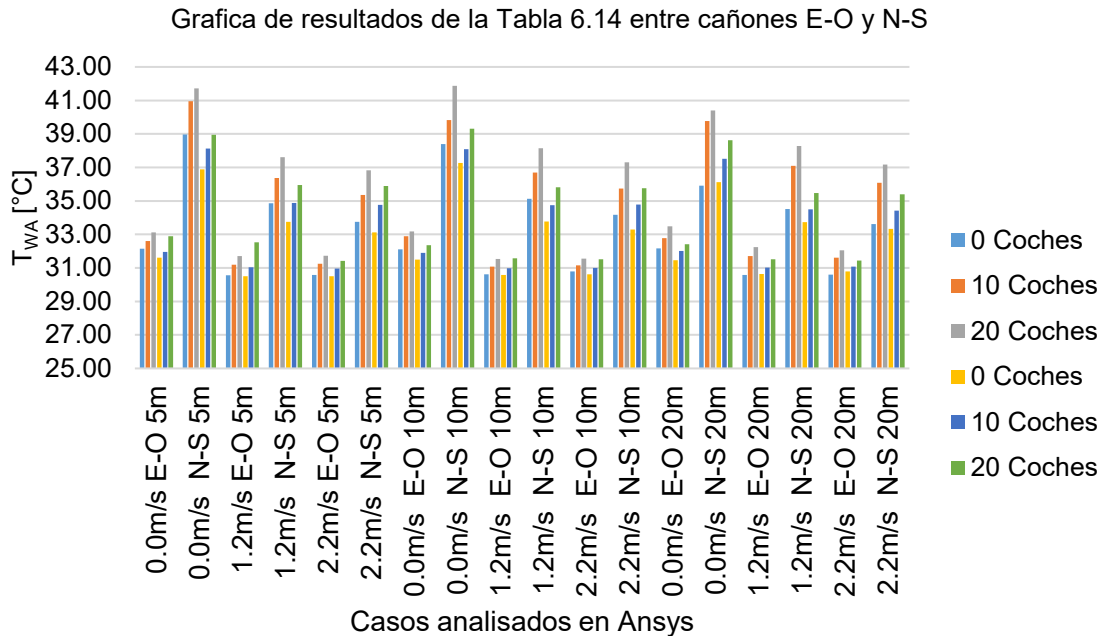


Figura 7.9 Grafica comparativa entre los valores obtenidos de los cañones E-O y N-S, en la presente investigación.

Concluyendo que aun con la diferencia de ubicación con respecto al paralelo, la discrepancia entre las dos orientaciones (N-S y E-O), en promedio oscila entre los 2 y 4°C. En todos los casos analizados, en el apartado de conclusiones de los documentos, es considerada la orientación como el máximo factor de ganancia térmica dentro de la T_{WA} y T_S de un cañón, mismo que es comprobado en el presente documento y agrega que con un aforo completo (20 coches) el valor aumenta al doble.

7.4 Resultados de relaciones de aspecto

Para cuestiones relacionadas con el confort térmico, los estudios de cañones urbanos muestran que el intercambio de radiación en la geometría del cañón (largo, ancho y alto) afecta fuertemente la magnitud de intercambio energía por radiación y convección en las superficies individuales.

La orientación de las superficies urbanas del cañón y el material de las paredes y pisos enfrentados modulan la T_{WA} y PET (Nuñez & Oke, 1977) (Santamouris, Synnefa, & Karlessi, 2011).

Según el trabajo de Abreu-Harbich et al. (2012) en Brasil, La radiación solar total en cada ubicación y latitud geográfica es afectada por la orientación de la calle y la relación H/W



durante los períodos diurnos. Los resultados para el PET diurno en los cañones urbanos de la calle mostraron en su trabajo que aumentan con la disminución de H/W, debido al efecto de la radiación solar total en las superficies.

La [Tabla 7.5](#) toma los valores de las simulaciones de la presente investigación con 1.2m/s, velocidad de viento usada en los casos de comparación del [subcapítulo 7.3](#). Mediante el patrón de colores, podemos observar que los cañones E-O con cero coches el aumento de T_{WA} no es significativo, pero con 20 coches, el mayor aumento fue de 0.67°C.

Los casos con rangos mayores de ganancia térmica están en los cañones N-S. Dos patrones encontrados en estos casos fueron:

- la primera mitad corresponden a 20 m de ancho y la segunda mitad a 10 m, tanto para 0, 10 y 20 coches;
- la segunda mitad de resultados, todas las RA tienen una secuencia de 0.5, 1 y 2 para cualquier aforo vehicular.

Tabla 7.5 Resultados en °C de la TWA en diferentes cañones y sus RA (H/W=Alto/Ancho)

	H:W [m]	RA	0 coche [°C]	Aumento en base al caso T_{MENOR} [°C]	H:W [m]	RA	10 coches [°C]	Aumento en base al caso T_{MENOR} [°C]	H:W [m]	RA	20 coches [°C]	Aumento en base al caso T_{MENOR} [°C]
Cañones [E-O] Viento [1.2m/s]	05:20	0.3	30.51		05:20	0.3	31.00		20:20	1	31.48	
	05:10	0.5	30.56	0.06	10:20	0.5	31.00	0.00	10:20	0.5	31.54	0.06
	20:10	2	30.59	0.08	20:20	1	31.05	0.05	10:10	1	31.54	0.06
	10:20	0.5	30.60	0.09	10:10	1	31.12	0.11	05:10	0.5	31.71	0.23
	10:10	1	30.70	0.19	05:10	0.5	31.22	0.21	20:10	2	32.15	0.67
	20:20	1	30.72	0.21	20:10	2	31.66	0.66	05:20	0.3	32.15	0.67
Cañones [N-S] Viento [1.2m/s]	05:20	0.3	33.44		20:20	1	34.46		20:20	1	35.43	
	20:20	1	33.53	0.09	05:20	0.3	34.82	0.36	10:20	0.5	35.79	0.36
	10:20	0.5	33.54	0.10	10:20	0.5	34.76	0.31	05:20	0.3	35.92	0.49
	05:10	0.5	34.06	0.62	05:10	0.5	35.86	1.40	05:10	0.5	37.22	1.79
	10:10	1	34.30	0.86	10:10	1	36.21	1.75	10:10	1	37.73	2.30
	20:10	2	34.65	1.21	20:10	2	36.59	2.13	20:10	2	37.74	2.31

Los resultados confirman una de las pautas urbanas sugeridas en el trabajo de Abreu-Harbich et al. (2012), la cual es que los cañones con RA (H/W) mayores a >2 no son



recomendables con orientación N-S, y se hace el hincapié que con el aforo vehicular estos valores pueden incrementar un 1°C .

Las RA en relación con Q_F , deben ser consideradas; porque se presentan variaciones grandes como el caso reportado por Ichinose (1999), donde asocia proporcionalmente Q_F con la altura de los edificios (número de pisos) obteniendo valores de 400 Wm^{-2} como promedio durante el día y ascendiendo a 1590 Wm^{-2} durante el invierno en el centro de Tokio, resultados basados en valores estadísticos del consumo de energía y datos geográficos del tipo de suelo conteniendo información de los edificios en cada cuadrícula.

Los datos reportados por Ichinose y de acuerdo con la información obtenida de la presente investigación, en el apartado 6.3.5, sobre el análisis en relación con la altura, las relaciones de aspecto utilizadas ($RA=H/W= 1:1/2, 1:1$ y $1:2$), reportan variaciones entre los rangos de 0°C a 0.50°C , representando 10 Wm^{-2} como máximo, por lo que estas RA no sustentan lo encontrado por Ichinose, y sugieren analizar RA mayores a 1:4 para determinar de manera contundente la ponderación de Q_F y Q_{FV} , en relación con la altura de los edificios.



VIII.CONCLUSIONES

8.1 Comprobación de hipótesis

Respondiendo a la hipótesis sobre si el calor antropogénico vehicular introducido al perfil térmico de un cañón en °C, es posible modificarlo a través de las relaciones de aspecto (parámetros geométricos: ancho y altura). Los resultados obtenidos de las [Tablas 6.13 y 6.14](#) permiten **comprobar** que:

- a) Las RA propuestas (1:1/2, 1:1 y 1:2), el aumento en el ancho de la calle, 10 metros más (20m) ([Tabla 6.13](#)); permite disminuir en los cañones orientados E-O de 0.21 a 0.48°C y en los cañones orientados N-S la disminución oscila entre los 0.89 a 2.02°C.
- b) La mayor disminución (2.81°C) la obtuvo el cañón orientado al N-S, con una velocidad de viento de 1.2m/s, un aforo de 20 coches y una RA=1:1 (Altura de 20metros con el ancho de 20metros) en comparación con su homónimo de 10 metros de ancho.
- c) Los datos de la [Tabla 6.14](#), analizan el parámetro geométrico de altura. Los cañones orientados E-O al aumentar la altura (10 metros), presenten un incremento en la T_{WA} de 0.05 a 0.24°C, y los N-S hay un descenso de 0.10 a 0.69°C. Concluyendo que el parámetro geométrico: ancho es el factor que mayor ponderación tiene en el perfil térmico del cañón relacionando la Q_{FV} .
- d) Las RA con cambios térmicos notorios, las tiene según [Tabla 7.5](#), los casos de los cañones N-S y ancho de 10m

8.2 Conclusiones generales

El comportamiento de las ciudades costeras es una puerta de oportunidad en la presente investigación, para determinar la ponderación de uno de los principales factores de la formación de la ICU: calor antropogénico vehicular (Q_{FV}), el cual afecta directamente las variables microclimáticas de Temperatura y Humedad Relativa, presentadas en cañones o calles, cuyos efectos son percibidos por la población a nivel dosel en su confort térmico.



Un objetivo director de la presente investigación fue el diseño, la aplicación y corrección de una técnica con sensores instalados en drones (MeVA) para obtener datos climáticos, usados posteriormente en las simulaciones de los modelos urbanos (Grajeda, Alonso, & Esparza, 2018), siendo una alternativa para el cálculo de Q_{FV} el cual requiere tener perfiles detallados de tráfico por hora; información precisa de la flota; estimación de la velocidad promedio y datos generales del combustible de la zona de estudio (Sailor & Lu, 2004). Cabe destacar que, a pesar de ser una técnica rápida en la toma de datos, todavía presentó errores en el movimiento de vuelo del dron, debido a todas las interferencias tanto físicas del medio urbano como de fallas de conexión y comunicación con la estación de manejo.

De las mediciones en campo, se concluye que la mayor temperatura es en el centro del cañón, cuando hay menor movimiento automovilístico por minuto. Pero al pasar regularmente el aforo (10 autos por minuto) a una velocidad promedio de 40km/h, ese flujo de calor se traslada hacia las banquetas aumentando en esa zona 2°C, debido a que el afluente vehicular en su traslado crea corrientes de aire disipándolo y por lo tanto afectando directamente a los transeúntes (Grajeda, Alonso, & Esparza, 2018).

En relación con las simulaciones realizadas y validadas en CFD de un ambiente urbano idealizado, en el proceso de la investigación y para generar mayor aporte, se logra correlacionar las variables de orientación, relaciones de aspecto, número de coches y velocidad de viento que transitan en una calle (Grajeda, Alonso, Esparza, & Escobar, 2019).

Se concluye del análisis de los promedios de temperatura en los cañones que:

- La orientación Norte-Sur del cañón (fachadas Este-Oeste) son las que representan mayor elevación en el perfil térmico, debido a que el recorrido solar atraviesa de forma perpendicular; ocasionando que tanto el área horizontal (calle) y la fachada orientada hacia el Este, suman el doble de área calentada por la radiación solar, incrementando, por lo tanto, el valor de afectación por los autos con la radiación difusa;
- La portación de flujo de calor de 5 y 15 autos dentro del cañón es idéntica a su inmediato superior, 10 y 20 autos respectivamente;
- La temperatura promedio del aire (T_{WA}) más alta, se presenta en el cañón con 20 autos con orientación N-S y sin viento. La T_{WA} más baja en el cañón con orientación Este-Oeste y viento de 2.2 m/s.



- La velocidad del viento es un factor determinante para la temperatura interna del cañón, porque en condiciones de 0m/s los valores de T_{WA} son mayores, pero la diferencia de T ofrecida entre las velocidades 1.2 y 2.2 m/s no es relevante para las calles con orientación Este-Oeste;
- La variante del número de automóviles, en los casos de estudio (5, 10, 15 y 20 unidades), es indistinto cuando se analiza la velocidad de viento (1.2m/s), donde la orientación E-O decrece en su mayoría 1.5°C y las de N-S disminuye dentro de un rango de 3.3 a 4.6°C;
- El efecto de ancho de la calle sobre el alza de la temperatura es más notorio en los cañones angostos y orientados al Norte-Sur;
- Los cálculos y simulaciones indican que la altura de los edificios no representa, con las relaciones de aspecto propuestas; mucha ponderación en el comportamiento de la temperatura promedio y la temperatura registrada a 3.0m; y
- El incremento de la temperatura dentro del cañón es progresivo al aumento de los autos, pero no directamente proporcional al número de los coches.

8.3 Aportaciones

Los objetivos de la presente investigación son:

- a) Acrecentar el acervo de información, sobre los datos de Q_F , en especial la Q_{FV} , para ser considerada a la hora de las simulaciones en los edificios que buscan su eficiencia energética y reflexionar tanto los pro y contras del diseño de un edificio, no solo en el interior sino en el exterior;
- b) desarrollar un modelo de simulación adecuado para calcular la Q_{FV} en espacios exteriores,
- c) obtener perfiles térmicos detallados (1.5 y 3.0 metros) en cañones con diferentes RA, orientación, viento considerando Q_{FV} y;
- d) apoyar en el desarrollo de una técnica con drones para la obtención de datos climáticos a nivel microurbano.

Los datos aquí generados permiten redireccionar y reflexionar sobre las políticas públicas para buscar estrategias que permitan disminuir la sensación térmica en exteriores para el confort de la población y la distribución del gradiente de T_{WA} en las fachadas de las



construcciones, considerando el impacto de la necesidad de planificación en las dimensiones de las calles, cambios en los permisos de construcción referidas a determinar alturas en función del arroyo vehicular, diseñar equipamiento en fachadas para expulsión del calor y adecuada movilidad urbana para regular la fluidez vehicular.

Se confirma que las técnicas pasivas deben ser consideradas, en especial para los cañones con orientación N-S en las ciudades con latitudes menores a 30° y evitar las configuraciones angostas porque tiene mayor ganancia térmica al aumentar la superficie de exposición a la radiación solar y no permite disipar el calor de Q_{FV} .

Las técnicas pasivas pueden ser; determinar un aforo vehicular; generar un flujo constante o movilidad vehicular, cierres temporales en calles, pero concientizando a los usuarios y consensando, para que la información sea horizontal y no se propicien embotellamientos que de nuevo conduzcan a los problemas que han podido identificarse, calcularse y simularse en este trabajo de investigación y elementos constructivos que ayuden en la disipación del calor y aumento de la turbulencia del viento.

Al igual que aseguran Llaguno et al. (2017), la geometría de las características arquitectónicas de los edificios puede ser beneficiosa aumentando la intensidad de la turbulencia del flujo entrante y saliente de la calle, donde los techos de formas complejas (redondos o inclinados) dan como resultado una mayor intensidad de turbulencia y mezcla del aire, en comparación con los techos planos, mientras que los elementos de fachada como los balcones producen el efecto opuesto.

La investigación abra el análisis posterior de técnicas de mitigación, como cierres temporales en calles o diseño de cubiertas. Si se consideran elementos horizontales para sombreado, es de reflexionar, que además de mitigar la radiación sobre los transeúntes, debe permitir la expulsión de calor y humedad generado por la combustión de los motores.

Como la literatura y este trabajo lo han mencionado, el calor antropogénico vehicular presenta muchas variables para su análisis y cuantiosas consideraciones para la recolección de datos en campo.



8.4 Nuevas preguntas de investigación

Como reflexión, todavía quedan algunas interrogantes derivadas de la presente investigación y podrían ser abordados posteriormente:

- a) ¿Cómo incluir en las simulaciones el efecto de turbulencia creado por los automóviles en movimiento dentro del cañón?
- b) ¿Cuál sistema de propulsión utilizado por drones (sistema de ala fija versus ala rotatoria) obtiene datos climáticos en campo con mayor precisión?
- c) ¿Es posible que las relaciones de aspecto superiores a 1:4, presenten mayor ponderación de Q_{FV} ?
- d) ¿Hasta qué altura la Q_{FV} debe ser considerada en el modelado energético de las fachadas?
- e) validar los presentes resultados con una metodología estadística, como el enfoque de inventarios descendentes, expuesto en el capítulo 3.3.3 de la presente investigación.
- f) ¿Cuánta influencia tiene la vegetación sobre Q_{FV} ?



REFERENCIAS

- Abreu-Harbich, L., Labaki, L., & Matzarakis, A. (2012). Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. *Theoretical and applied climatology*, 115(1-2), 333-340. doi:10.1007/s00704-013-0886-0
- Addepalli, B., & Pardyjak, E. (2013). Investigation of the Flow Structure in Step-Up Street Canyons—Mean Flow and Turbulence Statistics. *Boundary-Layer Meteorology*, 148, 133-155.
- Akbari, H., S., M., & A., R. (2009). Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset C02. *Climatic change*, 94(3), 275-286.
- Alchapar, N., Correa, E., & Cantón, M. (2012). Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana. *Ambiente Construido*, 12(3).
- Alexandri, E., & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and environment*, 43(4), 480-493.
- Ali, M., & Abustan, I. (2014). A new novel index for evaluating model performance. *Journal of natural resources and development*, 4, 1-9. doi:10.5027/jnrd.v4i0.01
- Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2006). Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*, 41, 94-108. doi:10.1016/j.buildenv.2005.01.013
- Allen, L., Lindberg, F., & G. C. (2011). Global to city scale urban anthropogenic heat flux; model and variability. *International Journal Climatology*, 31(13), 1990-2005. doi:http://dx.doi.org/10.1002/joc.2210
- Allwine, K. (2004). Overview of joint urban 2003-An atmospheric dispersion study in Oklahoma City. Joint Between. *The 8th Symposium on Integrated Observing and Assimilation Systems in the Atmosphere, Oceans and Land Surface and the Symposium on Planning, Nowcasting, and Forecasting in the Urban Zone*. Seattle, Washington, EEUU: American Meteorological Society.
- Allwine, K., Shinn, J. S., Clawson, K., & Brown, M. (2002). Overview of URBAN 2000: A multiscale field study of dispersion through an urban environment. *Bull American Meteorology Society*, 83, 521-536.
- Anderson, M., Allen, R., Morse, A., & Kustas, W. (2012). Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. *Remote Sensing of Environment*, 122, 50-65. doi:10.1016/j.rse.2011.08.025
- Andreou, E. (2014). The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean. *Renewable Energy*, 63, 587-596. doi:10.1016/j.renene.2013.09.051
- Annamalai, K., & Ishwar, I. (2006). Combustion Science and Engineering. . *Computational Mechanics and Applied Analysis*, 1184.
- ANSYS, Inc. (2013). *ANSYS Fluent Theory Guide*. USA: ANSYS, Inc.



- Arduino, 2. (21 de 08 de 2019). *2019 Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/>
- Arnfield, A. (2003). Two decades of urban climate research: a turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International journal of climatology*, 23, 1-26.
- Arnfield, A., & Grimmond, C. (1998). An urban canyon energy budget model and its application to urban storage heat flux modeling. *Energy and Buildings*, 27(1), 61-68.
- Autodesk. (11 de mayo de 2018). *Fusion 360*. Obtenido de <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview>
- Baca Cruz, A. (2011). Identificación y Comportamiento de la Isla de Calor en la zona conurbada de Veracruz - Boca del Río en el año 2011. Xalapa, Veracruz: Tesis de licenciatura en Ciencias Atmosféricas.
- Baca, C. A. (2011). Identificación y Comportamiento de la Isla de calor en la zona conurbada de Veracruz - Boca del Río en el año 2011. Universidad Veracruzana. Tesis licenciatura.
- Ballinas, M. (2011). Mitigación de la Isla de calor urbana: estudio de caso de la zona metropolitana de la ciudad de México. México.
- Barradas, V. (1987). Evidencia de efecto de "Isla Térmica" en Jalapa, Veracruz, México. . *Revista geofísica*, 125-135.
- Baxter, R., & Bush, D. (2014). Use of Small Unmanned Aerial Vehicles for Air Quality and Meteorological Measurements. *National Ambient Air Monitoring Conference*.
- Boehme, P., Berger, M., & Massier, T. (2015). Estimating the building based energy consumption as an anthropogenic contribution to urban heat islands. *Sustainable Cities and Society*, 19, 373-384.
- Bottillo, S., De Lletto Vollaro, A., Galli, G., & Vallati, A. (2014). Fluid dynamic and heat transfer parameters in an urban canyon. *Solar Energy*, 99, 1-10.
- Brazel, A., Selover, N., Vose, R., & Heisler, G. (2000). The tale of two climates – Baltimore and Phoenix urban LTER sites. *Climate Research*, 15, 123–135.
- Castillas, A. (2007). Evolución de la Isla Urbana de Calor en Mexicali, B.C., mediante una herramienta inteligente . *Solar Energy*.
- Cengel , Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa. Fundamentos y aplicaciones* (4ta. ed.). Barcelona: McGrawHill.
- Cervantes, J., Barradas, V., Martínez, A., Cordova, Q., Ramírez, C., & Tepach, G. (2000). Aspectos del clima urbano de Villahermosa, México. *Universidad y ciencia*, 16, 10-16.
- Cervantes, J., Sánchez, M., & Barradas, V. (2001). Clima, urbanización y uso del suelo en ciudades tropicales de México. *Ciudades RNIU*, 51.
- Chapman, L., & Thornes, J. (2004). Real-time sky-view factor calculation and approximation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 21, 730–742.
- Chapman, L., & Thornes, J. (2005). The influence of traffic on road surface temperatures: implications for thermal mapping studies. *Meteorological Applications*, 12(4), 371-380.



- Chapman, L., Thornes, J., & Bradley, A. (2002). Sky-view factor approximation using GPS receivers. *International Journal of Climatology*, 22, 615–621.
- Chen, L., Ng, E., An, X., Ren, C., Lee, M., Wang, U., & He, Z. (2010). Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. *International Journal of Climatology*, 32(1), 121-136.
- Chow, W., Salamanca, F., Georgescu, M., Mahalov, A., Milne, J., & Ruddell, B. (2014). A multi-method and multi-scale approach for estimating city-wide anthropogenic heat fluxes. *Atmospheric Environment*, 99, 64-76.
- Christen, A., & Vogt, R. (2004). Energy and radiation balance of a central European city. *International Journal of climatology*, 24(11), 1395-1421.
- Colunga, M. C., Suzana Azpiri, H., Guevara Escobar, A., & Luna Soria, H. (2015). The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Queretaro city, Mexico. *Atmósfera*, 28(3), 205-218. doi:10.20937
- Conde, C. (2007). *México y el cambio climático global*. Mexico: Semarnat, UNAM.
- Contreras, A., Mendoza, J., Angulo, G., & Urías, H. (2015). Determinación de la Isla de Calor Urbano en ciudad Juárez mediante programa de cómputo. *Culcyt Clima Urbano*, 26, 3-16.
- Correa, A., & García, G. (2000). *Análisis del comportamiento histórico de la temperatura en el Valle de México*. Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Prevención y control de la Contaminación.
- Coutts, A., Harris, R., Phan, T., Livesley, S., Williams, N., & Tapper, N. (2016). Thermal infrared remote sensing of urban heat: Hotspots, vegetation, and an assessment of techniques for use in urban planning. *Remote Sensing of Environment*, 186, 637-651. Obtenido de www.elsevier.com/locate/rse
- Cowling, E., Chameides, W., & Kiang, C. F. (2000). Introduction to special section: Southern Oxidants Study Nashville/Middle Tennessee Ozone Study. *J Geophys Res-Atmospheres*, 103, 22209–22212.
- Crawley, D., Hand, J., Kummert, M., & Griffith, B. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, 43(4), 661-673.
- Cros, B., Durand, P., Cachier, H., Drobinski, P., Fréjafon, E., Kottmeier, C., . . . Wortham, H. (2004). The ESCOMPTE program: an overview. *Atmosfera Research*, 69, 241-279.
- Dávila, S., Méndez, C., & Némiga, X. (2011). Identificación de las islas de calor de verano e invierno en la ciudad de Toluca, México. *Revista de climatología*, 11.
- de Schiller, S., Martin, J., & Katschner, L. (2001). Isla de Calor, microclima urbano y variables de diseño estudios en Buenos Aires y Rio Gallegos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5. doi:ISSN 0329-5184



- Díaz Soto, A., & Ruiz Pérez, E. (2015). Uso de percepción remota y sistemas de información geográfica para la determinación de Islas de Calor Urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Memoria SELPER XXI*.
- Dimoudia, A., A., K., Z. S., Pallas, C., & Kosmopoulos, P. (2013). Investigation of urban microclimate parameters in an urban center. *Energy and Buildings*, 64, 1-9.
- Doran, J., Abbott, S., Archuleta, J., Bian, X., Chow, J., Coulter, R., . . . Mercado, G. (1998). The IMADA-AVER boundary layer experiment in the Mexico City area. *Bull American Meteorology Society*, 79, 2497-2508.
- Doran, J., Berkowitz, C., Coulter, R., Shaw, W., & Spicer, C. (2003). The 2001 Phoenix Sunrise experiment: vertical mixing and chemistry during the morning transition in Phoenix. *Atmospheric Environmental*, 37, 2365–2377.
- Doran, J., Fast, J., & Horel, J. (2002). THE VTMX 2000 CAMPAIGN. *Bull American Meteorolgy Society*, 83, 537–551.
- Dudhia, J. (1993). A nonhydrostatic version of the penn state- NCAR Mesoscales Model: Validation test and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Mon Weather Review*, 121, 1493-1513.
- Elnahas, M., & Williamson, T. (1997). An improvement of the CTTC model for predicting urban air temperatures. *Energy and Buildings*, 25, 41-49.
- Erell, E., & Williamson, T. (2006). Simulating air temperature in an urban street canyon in all weather conditions using measured data at a reference meteorological station. *International Journal of Climatology*, 26, 1671-1694.
- Evans, J., & De Schiller, S. (2005). La isla de calor en ciudades con clima cálido-húmedo, el caso de Tampico, México. *Avances en Energías Renovables y Medio Aire*, 9, 37-42.
- Fan, H., & Sailor, D. (2005). Modelling the impacts of anthropogenic heating on the urban climate of Philadelphia: a comparison of implementations in two PBL schemes. *Atmospheric Environment*, 39, 73-84.
- Fanger, P. (1972). *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*. McGraw-Hill.
- Farhadi, H., Faizi, M., & Sanaieian, H. (2019). Mitigating the urban heat island in a residential area in Tehran: Investigating the role of vegetation, materials, and orientation of buildings. *Sustainable Cities and Society*, 46, 101448. doi:10.1016/j.scs.2019.101448
- Fast, J., Doran, J., Shaw, W., Coulter, R., & Martin, T. (2000). The evolution of the boundary layer and its effect on air chemistry in the Phoenix area. *Journal Gophys Res-Atmospheres*, 105, 22833–22848.
- Flanner, M. (2009). Integrating anthropogenic heat flux with global climate models. *Geophys Research Letters*, 36(2), 2801.



- Fuentes Pérez, C. (2015). Climatología urbana por modificación antropogénica. Alteración del balance de energía natural. *Contexto. Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, 9(11), 9(11), 10-16.
- Fuentes Pérez, C. (2015). Islas de calor urbano en Tampico, México: Impacto del microclima a la calidad del hábitat. *Nova scientia*, 7(13), 495-515.
- Gaffney, J., Marley, N., Drayton, P., Doskey, P., Kotamarthi, V., Cunningham, M., . . . Hart, H. (2002). Field observations of regional and urban impacts on NO₂, ozone, UVB, and nitrate radical production rates in the Phoenix air basin. *Atmospheric Environmental*, 36, 825-833.
- Gal, T., Rzepa, M., Gromek, B., & Unger, J. (2007). Comparison between sky view factor values computed by two different methods in an urban environment. *ACTA Climatologica Et Chorologica*, 40(41), 17-26.
- Galindo, I. (2007). Identificación y estudios de las islas urbanas de calor de las ciudades de Guadalajara y Colima, propuestas de estrategias de mitigación. Proyecto CONACYT-CONAVI:6663.
- García Alvaro, R., González, A., Bustamente, W., Bobadilla, A., & Muñoz, C. (2014). Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares. *Informes de la construcción*, 66(533). Obtenido de Informes de la construcción: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/2951/3267>
- García Cueto, O., Jáuregui Ostos, E., Toudert, D., & Tejeda Martínez, A. (2007). Detection of the urban heat island in Mexicali, B.C. Mexico and its relationship with land use. *Atmósfera*, 20(2), 111-131.
- García Cueto, O., Tejeda Martínez, A., & Bojorquez Morales, G. (2009). Urbanization effects upon the air temperature in Mexicali, BC, Mexico. *Atmósfera*, 22(4), 349-365.
- García, J., Muñoz, J., & Albares, J. (2018). *Guía de mantenimiento y reparación de drones (RPAS)*. España: Ediciones Parninfo, SA.
- Gartland, L. (2008). *Heat Islands, Understandign and mitigatin heat in urban areas*. New York: Earthscan from Routledge.
- Georgakisa, C., Zoras, S., & M., S. (2014). Studying the effect of “cool” coatings in street urban canyons and its potential as a heat island mitigation technique. *Sustainable Cities and Society*, 13, 20-30.
- Giovannini, L., & Zardi, Z. (2013). Characterization of the Thermal Structure inside an Urban Canyon: Field Measurements and Validation of a Simple Model. *Journal of applied meteorology and climatology*, 53, 64-81.
- Gorsevski, V., Taha, H., Quattrochi, D., & Luvall, J. (1998). Air pollution prevention through urban heat island mitigation: An update on the Urban Heat Island Pilot Project. (Asilomar, Ed.) *Proceedings of the ACEEE Summer Study*, 9, 23-32.



- Grajeda , R., Alonso, E., Esparza, C., & Escobar , C. (2019). Simulación del comportamiento térmico en exteriores urbanos correlacionando las variables de calor antropogénico vehicular y orientación. *ECORFAN Journal-Spain*, Aprobado para publicacion.
- Grajeda, R., Alonso, E., & Esparza, C. (2018). Vehicular Anthropogenic Heat in the Physical Parameters of An Urban Canyon for Warm Humid Climate. *34th International Conference on Passive and Low Energy Architecture*. 1, págs. 225-230. Hong Kong: PLEA.
- Grimmond, C. (1992). The suburban energy balance: methodological considerations and results for a mid-latitude west coast city under winter and spring conditions. *International Journal of Climatology*, 12, 481–497.
- Grimmond, C., & Oke, T. (1991). An evapotranspiration-interception model for urban areas. *Water resources*, 27, 1739.
- Grimmond, C., & Oke, T. (2002). Turbulent heat fluxes in urban areas: observations and a Local-scale, Urban Meteorological Parameterization Scheme LUMPS. *Journal of Applied Meteorology*, 41, 792–810.
- Grimmond, C., Cleugh, H., & Oke, T. (1991). An objective urban heat storage model and its comparison with other schemes. *Atmospheric Environment*, 25B, 311-326.
- Grimmond, S. (1994). Surface Description for Urban Climate Studies: A GIS Based Methology. *Geocarto International*, 9(1), 47-59.
- Grimmond, S. (2006). Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoric Application Climatology*, 84, 3-22. doi:10.1007/s00704-005-0140-5
- Guerrero, A., García , E., Matellán , V., & Sanchez, J. (2012). Procedimiento paralelo de los pronosticos meteorológicos del modelo WRF mediante NCL.
- Guyton , A. (1986). *Textbook of Medical Physiology*. WB. Saunders.
- Hallenbeck, M., Rice, M., Smith, B., Cornell, C., & Wilkinson, J. (1997). Vehicle Volume Distribution by Classification. No. FHWA-PL-97-025, 54.
- Havenith, G., Holmér, I., & Parsons, K. (2002). Personal factors in thermal comfort assessment: clothing properties and metabolic heat production. *Energy and Buildings*, 34(6), 581-591.
- He, X., Jiang, W., Chen, Y., & Liu, G. (2007). Numerical simulation of the impacts of anthropogenic heat on the structure of the urban boundary layer. *Chinese Journal of Geophysics*, 50, 74-82.
- Heiple, S., & Sailor, D. (2008). Using building energy simulation and geospatial modeling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles. *Energy and Buildings*, 40, 1426–1436.
- Hermida, M., Hermida, C., Cabrera, N., & Calle, C. (2015). La densidad urbana como variable de análisis de la ciudad: El caso de Cuenca, Ecuador. *EURE (Santiago)*. 124, 25-44.
- Hernández Romero, M., & Segura López, P. (2012). Determinación de la isla de calor en la ciudad de Poza Rica por efectos antropogénicos. Universidad Veracruzana. Tesis Licenciatura.



- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación. Sexta Edición*. México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S.A. DE C.V.
- Holt, T., & Pullen, J. (2007). Urban Canopy Modeling of the New York City Metropolitan Area: A Comparison and Validation of Single- and Multilayer Parameterizations. *Monthly Weather Review*, 135(5), 1906-1930. doi:10.1175/MWR3372.1
- Hsieh, C., Aramaki, T., & Hanaki, K. (2007). Estimation of heat rejection based on the air conditioner use time and its mitigation from buildings in Taipei City. *Building and Environment*, 42, 125–3137.
- Ichinose, T., Shimodozono, K., & Hanaki, K. (1999). Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. *Atmosphere Environment*, 33, 3897-3909.
- INECC, I., DGICUR, D. U., & DICA, D. I. (2012). *Estudio de emisiones y actividad vehicular en el puerto de Veracruz Ver. Reporte Final*. Ciudad de México: SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales .
- INEGI. (2005). *Guía para la interpretación cartográfica climatológica*. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. México: INEGI. doi:ISBN 970-13-4508-8
- INEGI. (2016). *Inventario Nacional de Vivienda*. Obtenido de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/INV/Default.aspx?ll=19.185135,-96.14908000000003&z=13>
- Jamei, E., Rajagopalan, P., Seyedmahmoudian, M., & Jamei, Y. (2016). Review on the impact of urban geometry and pedestrian level greening on outdoor thermal comfort. *Renewable and sustainable energy reviews*, 54, 1002-1017.
- Jáuregui, E. (1979). La isla de calor en Toluca, Méx. *Investigaciones geográficas*, 9, 27-37.
- Jáuregui, E. (1992). La isla de calor urbano de la ciudad de México a fines del siglo XIX. *Ciencias de la Atmósfera*, 31-39.
- Jáuregui, E. (1997). Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 31(22), 3821-3837.
- Jáuregui, E. (2004). Impact of land-use changes on the climate of the Mexico City Region. *Investigaciones Geográficas*,. *Boletín del Instituto de Geografía*, 55, 46-60.
- Jáuregui, E. (2005). Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities of Mexico. *Atmósfera*, 18(4), 249-252.
- Jáuregui, E., & Luyando, E. (1997). Long-term association between pan evaporation and the urban heat island in Mexico City. *Atmósfera*, 11(1).
- Johnson, G., & Watson, I. (1984). The determination of view factors in urban canyons. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 2, 329–335.
- Kastner-Klein, P., Berkowicz, R., & Britter, R. (2004). The influence of street architecture on flow and dispersion in street canyons. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 87, 121–131.
- Kato, S., & Yamaguchi, Y. (2005). Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM_p data: separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat



- flux. *Remote Sens. Environ.*, 99(1-2), 44-54. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2005.04.026>
- Kato, S., Kajii, Y., Itokazu, R., Hirokawa, J., Koda, S., & Kinjo, Y. (2004). Transport of atmospheric carbon monoxide, ozone, and hydrocarbons from Chinese coast to Okinawa island in the Western Pacific during winter. *Atmospheric Environment*, 38, 2975-2981.
- Kato, S., Yamaguchi, Y., Liu, C., & Sun, C. (2008). Surface heat balance analysis of Tainan City on March 6, 2001 using ASTER and Formosat-2 data. *Sensors*, 8(9), 6026-6044. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/s8096026>
- Katzschner, L. (1998). Designation of urban climate qualities and their implementation in the planning process. 75-78.
- Kessler, M. (24 de Junio de 2016). *DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL*. Obtenido de <http://www.esss.com.br/blog/es/2016/06/dinamica-de-fluidos-computacional-que-es/>
- Kleerekoper, L., van Esch, M., & Baldiri Salcedo, T. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*(64), 30-38.
- Kolokotroni, M., Davies, M., Croxford, B., Bhuiyan, S., & Mavrogianni, A. (2010). A validated methodology for the prediction of heating and cooling energy demand for buildings within the Urban Heat Island: Case-study of London. *Solar Energy*, 84(12), 2246-2255.
- Kondo, H., & Kikegawa, Y. (2003). Temperature variation in the urban canopy with anthropogenic energy use. *Pure and Applied Geophysics*, 160, 317-324.
- Koralegedara, S., Lin, C.-Y., Sheng, Y.-F., & Kuo, C.-H. (2016). Estimation of anthropogenic heat emissions in urban Taiwan and their spatial patterns. *Environmental Pollution*, 215, 84-95.
- Kruger, E., & Minella, F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 46(3), 621-624.
- Krüger, E., Minella, F., & Rasia, F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 46(3), 621-634.
- Kusaka, H., & Kimura, F. (2004). Thermal effects of urban canyon structure on the nocturnal heat island: Numerical experiment using a mesoscale model coupled with an urban canopy model. *Journal of applied meteorology*, 43(12), 1899-1910.
- Lamarca, C., Quense, J., & Henríquez, C. (2016). Thermal comfort and urban canyons morphology in coastal temperate climate, Concepción, Chile. *Urban climate*.
- Landsberg, H. (1981). *The Urban Climate* (Vol. 28). London: International Geophysics Series, Academic Press.
- Lara Lárraga, R. (2014). La deforestación urbana y su colaboración a la Isla de Calor en la avenida Carranza San Luis Potosí México. *Caribeña de Ciencias Sociales*, 2014-06, 1-11.
- Lawrence, D., & Balsley, B. (2013). High-Resolution Atmospheric Sensing of Multiple Atmospheric Variables Using the DataHawk Small Airborne Measurement System, *Journal of Atmospheric*



- and Oceanic Technology. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 30(10), 2352-2366.
- Lee, S., McKeen, S., & Sailor, D. (2014). A regression approach for estimation of anthropogenic heat flux based on a bottom-up air pollutant emission database. *Atmospheric Environment*, 95, 629-633. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.07.009>
- Li, H., Zhou, Y., Li, X., Meng, L., Wang, X., Wu, S., & Sodoudi, S. (2018). A new method to quantify surface urban heat island intensity. *Science of the total environment*(624), 262-272. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.11.360
- Li, X., Koh, T., Entekhabi, D., Roth, M., Panda, J., & Norford, L. (2013). A multi-resolution ensemble study of a tropical urban environment and its interactions with the background regional atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 9804-9818.
- Lien, F., Yee, E., & Cheng, Y. (2004). Simulation of mean flow and turbulence over a 2D building array using high-resolution CFD and a distributed drag force approach. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 92, 117-158.
- Lin, C., Chen, F., Huang, J., Chen, W., Liou, Y., Chen, W., & Liu, S. (2008). Urban heat island effect and its impact on boundary layer development and land-sea circulation over northern Taiwan. *Atmosphaera Environmental*, 42, 5635-5649.
- Lindberg, A., & Grimmond, C. (2011). Global to city scale urban anthropogenic heat flux; model and variability. *Int. J. Climatology*, 31(13), 1990-2005. doi:<http://dx.doi.org/10.1002/joc.2210>
- Lindberg, F., Grimmond, C., Yogeswaran, N., Kotthaus, S., & Allen, L. (2013). Impact of city changes and weather on anthropogenic heat flux in Europe 1995-2015. *Urban Climate*, 4, 1-15. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2013.03.002>
- Llaguno-Munitxa, M., Bou-Zeid, E., & Hultmark, M. (2017). The influence of building geometry on street canyon air flow: Validation of large eddy simulations against wind tunnel experiments. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 165, 115-130. doi:10.1016/j.jweia.2017.03.007
- López Espinoza, E., Zavala Hidalgo, J., & Gómez Ramos, O. (2012). Weather forecast sensitivity to changes in urban land covers using the WRF model for central Mexico. *Atmósfera*, 25(2), 127-154.
- López, C., Martínez, M., & Martínez, J. (2003). Obesidad, metabolismo energético y medida de la actividad física. *Revista Española de Obesidad*, 1(1), 29-36.
- Lucero Álvarez, J., Alarcón Herrera, M., & Martín Dominguez, I. (2014). The effect of solar reflectance, infrared emissivity, and thermal insulation of roofs on the annual thermal load of single-family households in México. . *Proccedings of the EuroSun, Aix-Les-Bains, France*, 16-9.
- Luyado, E. (2016). Efectos de las temperaturas y precipitaciones extremas en el bioclima humano de la zona metropolitana de la ciudad de México por cambio climático local y global. . *Tesis Doctoral* . Universidad Autónoma de México.



- Manley, G. (1958). On the frequency of snow in metropolitan England. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 84(359), 70-72.
- Markham, B. B. (1985). Spectral characterization of the Landsat Thematic Mapper sensors. *International Journal of Remote Sensing*, 6(5), 697-716.
- Martilli, A., Clappier, A., & Rotach, M. (2002). An urban surface exchange parameterization for mesoscale models. *Boundary-Layer Meteorology*, 104, 261-304.
- Martínez Arredondo, J., Jofre Meléndez, R., Ortega Chávez, V., & Ramos Arroyo, Y. (2015). Descripción de la variabilidad climática normal (1951-2010) en la cuenca del río Guanajuato, centro de México. *Acta Universitaria*, 25(6), 3-19.
- Martínez, J. (1999). Análisis de la isla de calor en la ciudad de Puebla (México) en el periodo diciembre 1998 abril 1999. Universidad Veracruzana. Tesis licenciatura.
- Masson, V. (2000). A physically based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Boundary-Layer Meteorology*, 94, 357-397.
- Mavrogianni, A., Davies, M., Batty, M., Belcher, S., Bohnenstengel, S., & Carruthers, D. (2011). The comfort, energy and health implications of London's urban heat island. *Building Services Engineering Research and Technology*, 32, 35-52.
- Meagher, J., Cowling, E., Fehsenfeld, F., & Parkhurst, W. (1998). Ozone formation and transport in southeastern United States: Overview of the SOS Nashville/Middle Tennessee Ozone Study. *J Geophys Res-Atmospheres*, 103, 22213–22224.
- Menut, L., Flamant, C., Pelon, J., & Flamant, P. (1999). Urban boundary-layer height determination from lidar measurements over the Paris area. *Application Opt*, 38, 945-954.
- Mercado, L., & Lovriha. (2017). Morfología de Isla de Calor Urbana en Hermosillo, Sonora y su aporte a una ciudad sostenible. *Biotechnia*, 19, 27-33.
- Mestayer, P., Durand, P., Augustin, P., Bastin, S., Bonnefond, J., Bénech, B., . . . Lagouarde. (2005). The Urban Boundary Layer Field Experiment over Marseille UBL/CLUESCOMPTE: Experimental Set-up and First Results. *Bound-Layer Meteorolgy*, 114(2), 315–365.
- Mia, M., Bromley, C., & Fujimitsu, Y. (2012). Monitoring heat flux using Landsat TM/ETM+ thermal infrared data - A case study at Karapiti ('Craters of the Moon') thermal area, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal research*, 235, 1-10.
- Mihalakakou, G., Flocas, H., Santamouris, M., & Helmis, C. (2002). Application of Neural Networks to the Simulation of the Heat Island over Athens, Greece, Using Synoptic Types as a Predictor. *American Meteorological Society*, 519-527.
- Mirzaei, P. (2015). Recent challenges in modeling of urban heat island. *Sustainable cities and sociaety*, 19, 200-206.
- MIT, M. (2012). *Urban Nature and City Desing*. Obtenido de http://web.mit.edu/nature/archive/student_projects/2009/jcalamia/Frame/03_urbastreetcanyon.html



- Mitchell, J. (1953). On the causes of instrumentally observed secular temperature trends. *American Meteorological Society*, 10, 224-261.
- Molar Orozco, M. E. (2015). Análisis térmico de superficies horizontales en espacios públicos. Plaza Manuel Acuña y de Armas en Saltillo, México. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, 18, 89-101.
- Morales, C., Madrigal, D., & Gonzalez, L. (2007). Isla de calor en Toluca, México. *Ciencia ergo-sum*, 14(3), 307-316.
- Moreno García, M. (1997). Una propuesta de terminología castellana en climatología urbana. (U. d. Geografía, Ed.) *Investigaciones geográficas*(17), 89-97.
- Moreno, M. d. (2010). *Climatología urbana*. Barcelona: Publicaciones y ediciones de la Universidad de Barcelona.
- Murakami, A., Hoyano, A., & Sasagawa, T. (2006). Study on the influences of waste heat on the surface temperatures using multi-temporal thermal images. *International geoscience & remote sensing symposium 2015*. No., 4241526, págs. 1469-1472.
- Nakamura, Y., & Oke, T. (1988). Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmospheric Environment*, 22(12), 2691-2700.
- Narumi, D., Shimoda, Y., Kondo, A., & Minoru, M. (2003). Effect of anthropogenic waste heat upon urban thermal environment using mesoscale meteorological model. *Fifth International Conference on Urban Climate*. Lodz, Polonia.
- Nazarian, N., & Kleissl, J. (2015). CFD simulation of an idealized urban environment: Thermal effects of geometrical characteristics and surface materials. *Urban climate*, 12, 141-159. doi:10.1016/j.uclim.2015.03.002
- Netdrive. (2018). [www.http://netdrive.envell.com](http://netdrive.envell.com). Obtenido de http://netdrive.envell.com/pic/ebay/SEN-000007/SEN-000007_Datasheet.pdf
- Neumann, P., Asid, A., Hernández, V., Lilienthal, A., & Barholmai, M. (2013). Monitoring of CCS Areas using Micro Unmanned Aerial Vehicles (MUAVs). *Energy Procedia*, 37, 4182 – 4190. doi:10.1016/j.egypro.2013.06.320
- Newark. (2018). [www.newark.com/sensirion](http://mexico.newark.com/sensirion). Obtenido de http://mexico.newark.com/sensirion/sht75/humidity-temperature-sensor/dp/18M2988?CMP=KNC-GUSA-GEN-KWL-DSA10M&mckv=|pcrid|263940660198|&gclid=Cj0KCQjw5qrXBRC3ARIsAJq3bwrwMI02G7UxWbHO2UGoB84OOB2xHqcutzjcBIYcvK3jmesNjBU0TN0aAkVBEALw_wcB
- Nichol, J., & Wong, M. (2005). Modeling urban environmental quality in a tropical city. *Landscape and Urban Planning*, 73(1), 49-58.
- Nikilopoulou, M., & Steemers, K. (2003). Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. *Energy and Buildings*, 35(1), 95-101.
- Núñez, M., & Oke, T. (1977). The energy balance of an urban canyon. *Journal of Applied Meteorology*, 16(1), 11-19.



- Núñez, M., & Oke, T. (1977). The Energy Balance of an Urban Canyon. *Journal of Applied Meteorology*, 16, 11-19.
- Offerle, B., Grimmond, C., & Fortuniak, K. (2005). Heat storage and anthropogenic heat flux in relation to the energy balance of a central European city centre. *International Journal Climatology*, 25(10), 1405-1419. doi:<http://dx.doi.org/10.1002/joc.1198>
- Ohashi, Y., Genchi, Y., Kondo, H., Kikegawa, Y., Hirano, Y., & Yoshikado, H. (2003). *Fifth International Conference on Urban Climate*. Lodz, Polonia.
- Oke, T. (1967). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7(8), 769-779.
- Oke, T. (1976). The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268-277.
- Oke, T. (1976). The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 14(4), 268-277.
- Oke, T. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1-24.
- Oke, T. (1987). *Boundary Layer Climate* (Vol. Segunda Edición). New York: Taylor & Francis Group: Routledge.
- Oke, T. (1987). *Boundary Layer Climates* (2da ed.). London: Methuen.
- Oke, T. (1988). The urban energy balance. *Progress in Physical Geography*, 12, 471-508.
- OMM. (1992). *The Effect of Thermometer Screen Design on the Observed Temperature* (W. R. Sparks). WMO-No. 315. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- OMM. (2011). *Guía de prácticas climatológicas OMM-No.100*. Organización Meteorológica Mundial.
- OMM. (2014). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos*. Mundial, Organización Meteorológica OMM-N°8.
- Onset. (1981). *Onset company*. Obtenido de <http://www.onsetcomp.com/>
- Onset. (2018). *Hobo Data Loggers Product Catalog*. Obtenido de <http://www.onsetcomp.com/files/catalog-lr.pdf>
- ONU. (10 de Julio de 2014). *Departamento de Asuntos Economicos y Sociales*. Obtenido de <http://www.un.org/es/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>
- ONU Habitat. (2016). *Indice básico de las Ciudades Prósperas City Prosperity Index, CPI., Informe Final Municipal*. Veracruz: Onu Habitat.
- Palme, M., Inostroza, L., Villacreses, G., Lobato, A., & Carrasco, C. (2017). From urban climate to energy consumption. Enhancing building performance simulation by including the urban heat island effect. *Energy and Buildings*, 145, 107-120.
- Parada Molina, M. (2013). Evaluación preliminar de la isla de calor en Poza Rica, Ver. . Universidad Veracruzana. Tesis licenciatura.
- Pearlmutter, D., Berliner, P., & Shaviv, E. (2007). Integrated modeling of pedestrian energy exchange and thermal comfort in urban street canyons. *Building and Environment*, 42, 2396-2409.



- Peng, F., Wong, M. S., Wan, Y., & Nichol, J. E. (2017). Modeling of urban wind ventilation using high resolution airborne LiDAR data. *Computers, Environment and Urban Systems*(64), 81-90.
- Pérez Medina, S., & López Falfán, I. (2015). Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana. *Economía, sociedad y territorio*. 15(47), 1-33.
- Pigeon, G., Legain, D., Durand, P., & Masson, V. (2007). Anthropogenic heat release in an old European agglomeration (Toulouse, France). *International Journal Climatology*, 27(14), 1969-1981. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1530>
- ProAndroid. (2018). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.proandroid.com/como-sabe-google-traffic-mas-curiosidades/>
- Quah, A., & Roth, M. (2012). Diurnal and weekly variation of anthropogenic heat emissions in a tropical city, Singapore. *Atmospheric Environmental*, 46, 92-103. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.10.015>
- Quiroz, N. (Enero de 2017). Métodos alternativos para realizar sondeos en la baja atmósfera. *Tesisna*. Xalapa, Veracruz, Mexico: Universidad Veracruzana, Facultad de instrumentación electrónica.
- Rotach, W., Vogt, R., Bernofer, C., Batchvarova, E., Christen, A., Clappier, A., . . . Voogt, J. (2005). BUBBLE – an urban boundary layer. *Theoric Application Climatology*, 81, 3-4. doi:10.1007/s00704-004-0117-9
- Ruth, M., & Baklanov, A. (2012). Urban Climate science, planning, policy and investment challenges. *Urban Climate*, 1, 1-3.
- Sailor. (2010). A review of methods for estimating anthropogenic heat and moisture emissions in the urban environment. *International Journal of Climatology*, 31, 189-199.
- Sailor. (2011). A review of methods for estimating anthropogenic heat and moisture emissions in the urban environment. *International Journal of Climatology*, 31, 189-199.
- Sailor, D., & Brooks, A. (2009). Quantifying anthropogenic moisture emissions and their potential impact on the urban climate. *8th Symposium on the Urban Environment*. Phoenix, Arizona.
- Sailor, D., & Fan, H. (2004). The importance of including anthropogenic heating in mesoscale modeling of the urban heat island. *84th annual meeting of the AMS, Symposium on Planning, Nowcasting, and Forecasting in the Urban Zone*. Seattle.
- Sailor, D., & Lu, L. (2004). A top-down methodology for developing diurnal and seasonal anthropogenic heating profiles for urban areas. *Atmospheric Environment*, 38, 2737-2748.
- Sailor, J., Georgescu, M., Milne, J., & Hart, M. (2015). Development of a national anthropogenic heating database with an extrapolation for international cities. *Antmospheric Environment*, 118, 7-18.
- Sakakibara, Y., & Owa, K. (2005). Urban-rural temperature differences in coastal cities: influence of rural sites. *Int. J. Climatology*, 25(6), 811-820.



- Salamanca, F., Martilli, A., & Yague, C. (2012). A numerical study of the urban heat island over Madrid during the DESIREX (2008) campaign with WRF and an evaluation of simple mitigation strategies. *International Journal Climatology*, 32, 2372-2386.
- Santamouris, M. (2011). The canyon effect. *Energy and Climate in the Urban Built Environment*, 102-138.
- Santamouris, M., Assimakopoulos, N., Chrisomallidou, N., Klitsikas, D., Mangold, P., & Tsangrassoulis, A. (2011). *Energy and Climate in the Urban Built Environment: The canyon effect*. (M. Santamouris, Ed.) London & New York: Routledge, Taylor & Francis Group.
- Santamouris, M., Synnefa, A., & Karlessi, T. (2011). Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*, 3085-3102.
- SEDECOP, S. d. (2017). *El Estado de Veracruz*. Obtenido de <http://www.veracruz.gob.mx/desarrolloeconomico/el-estado-de-veracruz/>
- Sobrino, J., Jimenez, J., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90, 434-440. doi:10.1016/j.rse.2004.02.003
- Srivanti, M. (28 de Noviembre de 2013). *Quantifying the Stability of Summer Temperatures for Different Thermal Climate Zones: An Application to the Bangkok Metropolitan Area*. Obtenido de Faculty of Architecture and Planning at Thammasat University: <https://www.slideshare.net/manat-srivanit/quantifying-the-stability-of-summer-temperatures-for-different-thermal-climate-zones-an-application-to-the-bangkok-metropolitan-area>
- Steemers, K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and Buildings*, 35, 3-14.
- Stewart, I. (2000). Influence of meteorological conditions on the intensity and form of the urban heat effect in Regina. *The Canadian Geographer*, 271-285.
- Stewart, I., & Oke, T. (2012). Local climate zone for urban temperature studies. *American Meteorology Society*, 93, 1879-1900.
- Steyn, D., Bottenheim, J., & Thomson, R. (1997). Overview of tropospheric ozone in the Lower Fraser Valley, and the Pacific '93 field study. *Atmospheric Environment*, 31, 2025-2035.
- Stromann-Andersen, J., & Sattrup, P. (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings*, 43(8), 2011-2020.
- Suarez, J., Llugsi, R., Lupera, P., & Chango, R. (2017). Implementación de un Sistema Aéreo de Medición y Almacenamiento de Parámetros Meteorológicos Georreferenciados para Zonas Pequeñas. *Servicios Personalizados*, 39(2), 17-26.
- Sun, R., Wang, Y., & Chen, L. (2018). A distributed model for quantifying temporal-spatial patterns of anthropogenic heat based on energy consumption. *Journal of Cleaner Production*, 170, 601-609. doi:10.1016/j.jclepro.2017.09.153
- Swaid, H., & Hoffman, M. (1990). Prediction of urban air temperature variation using the analytical CTTC model. *Energy and Buildings*, 14, 313-324.



- Taha, H. (1988). Site-specific heat island simulations: Model development and application to microclimate conditions. *Reporte 26105, Thesis*. University of California, Berkeley.
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration and antropogenic heat. *Energy and buildings*, 25(2), 99-103.
- Taha, H. (1999). Modifying a mesoscale meteorological model to better incorporate urban heat storage: a bulk-parameterization approach. *Journal of Applied Meteorology*, 38, 466-473.
- Taha, H., Akbari, H., Sailor, J., & Ritschard, R. (1992). *Causes and Effects of Heat Islands: Sensitivity to Surface Parameters and Anthropogenic Heating*. California: Lawrence Berkeley Laboratory Rep., Berkeley- Reporte 298664.
- Takahashi , K., Yoshida, H., Tanaka, Aotake, N., & Wang, F. (2004). Measurement of thermal environment in Kyoto city and its prediction by CFD simulation. *Energy y buildings*, 36(8), 771-779.
- Takebayashi, H., & Moriyama, M. (2012). Relationships between the properties of an urban street canyon and its radiant environment: Introduction of appropriate urban heat island mitigation technologies. *Solar energy*, 86, 225-2262.
- T-Bem. (2018). *Módulo GPS Serial NEO-6M*. Obtenido de <http://teslabem.com/modulo-gps-serial-neo-6m.html>
- Tejeda Martínez, A., & Acevedo Rosas, F. (1990). Alteraciones Climáticas por la urbanización en Xalapa, Ver.
- Tomlinson, C., Chapman, L., & Thornes, J. (2011). Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: a review. *Meteorological Applications*, 18(3), 296-306.
- Tornay, N., Schoetter, R., Bonhomme , M., Faraut, S., & Masson, V. (2017). GENIUS: A methodology to define a detailed description of buildings for urban climate and building energy consumption simulations. *Urban climaqte*, 20, 75-93.
- Torrance, K., & Shum, J. (1975). Time-varying energy consumption as a factor in urban climate. *Atmospheric Environment*, 10, 329-337.
- Torrence, K., & Shum, J. (1976). Time varying energy consumption as a factor in urban climate. *Atmosfera Environment*, 10, 329-337.
- UNEP. (2013). *Global environmental alert service (GEAS)*. Obtenido de <https://vdocuments.net/unep-geasmay2013>
- Vallati, A., Mauri, L., Colucci, C., & Oclon, P. (2017). Effects of radiative exchange in an urban canyon on building surfaces' loads and temperatures. *Energy and Buildings*, 149(15), 260-271.
- Vardoulakis, S., Fisher, B., Pericleous, K., & Gonzalez-Flesca , N. (2003). Modelling air quality in street canyons: a review. *Atmospheric Environment*, 37, 155-182.
- Vidal, J., & Jauregui, E. (1990). Evolución de la isla de calor de Toluca, México.
- Villa, T., Gonzalez, F., Miljievic, B., Ristovski, Z., & Morawska, L. (2016). An Overview of Small Unmanned Aerial Vehicles for Air Quality Measurements: Present Applications and Future Prospectives. *MDPI Journal: Sensors*, 16(7), 1072.



- Voogt, J. A., & Oke, T. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86, 310-384.
- Voogt, J., & Oke, T. (2002). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3), 370-384.
- Voogt, J., & Oke, T. (2003). Thermal remote sensing of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370-384.
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467-483.
- Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, 89(4), 467-483.
- Whiston, A. (1986). Air Quality at the Street-Level: Strategies for Urban Design.
- Yu X., G. X. (2014). Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. *Remote Sensing*, 6(10), 9829-9852.
- Yuan, F., & Bauer, M. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 106(3), 375-386.
- Zekidar. (2014). *Zekidar*. Obtenido de <http://www.zekidar.com/los-drones/>
- Zheng, Y., & Weng, Q. (2018). High spatial- and temporal-resolution anthropogenic heat discharge estimation in Los Angeles County, California. *Journal of Environmental Management*, 206, 1274-1286. doi:10.1016/j.jenvman.2017.07.047
- Zhou, Y., Weng, Q., Gurney, K., Shuai, Y., & Hu, X. (2012). Estimation of the relationship between remotely sensed anthropogenic heat discharge and building energy use. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 67, 65-72. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.10.007>
- Zonen, K. &. (21 de 08 de 2019). *Kipp & Zonen c*. Obtenido de www.kippzonen.es web site: <https://www.kippzonen.es/Product/210/CMP11-Piranometro#.XV3DKuhKiUk>



ANEXOS

ANEXO A. Metodología para la obtención y análisis de la temperatura de la superficie terrestre (Apartado 4.4.3)

1. Se elimina el background de las bandas en ArcGis mediante los siguientes pasos:

- ArcToolbox /Spatial Analyst Tools / MapAlgebra / Raster Calculator
- En la pantalla, aparecen los layer y variables, y la Conditional=SetNull
- ArcToolbox /Spatial Analyst Tools / MapAlgebra / Raster Calculator
- En la pantalla del programa, aparecen los layer y variables, y la Conditional=SetNull

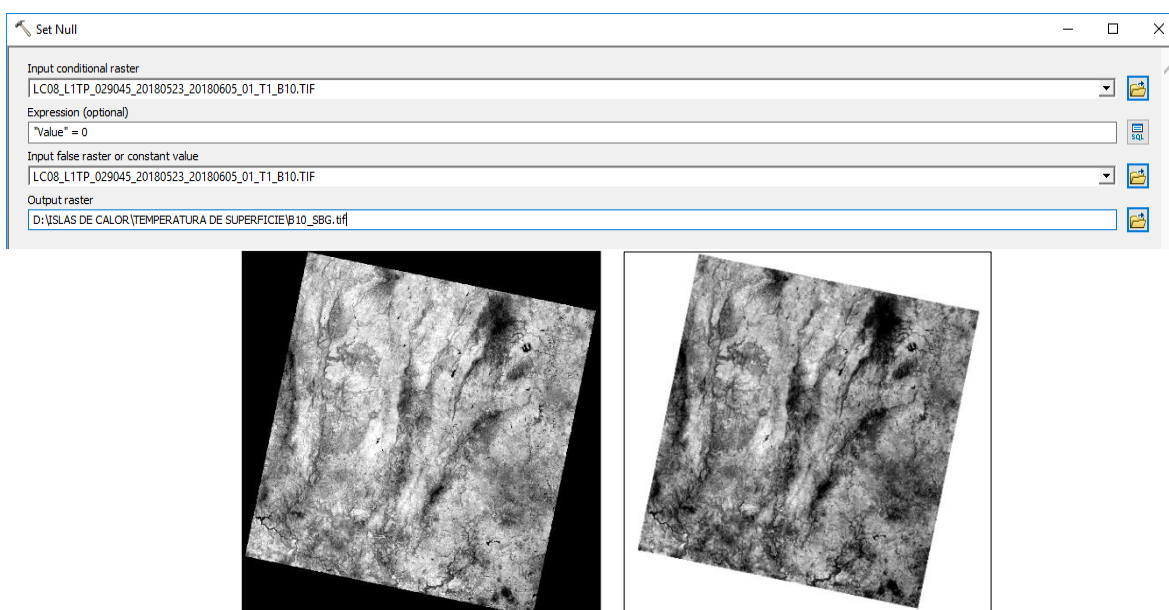


Figura A.01a Imagen superior de la herramienta raster Set Null.

Figura A.01b Imágenes inferiores demuestran como la herramienta quita la zona negra para no ser considerada en los cálculos de la temperatura superficial terrestre.

2. Conversión de las bandas térmica 10 y 11 de números digitales a unidades físicas. Se considera la ecuación:

$$L\lambda = (M_L * Q_{cal}) + A_L \dots\dots\dots \text{Ec. 19}$$

Donde:

M_L = Banda sin valores de background

Q_{cal} = Valor del metadato correspondiente a "RADIANCE_MUL_BAND_10"

A_L = Valor del metadato correspondiente a "RADIANCE_ADD_BAND_10"

3. La radiancia se convierte a Temperatura del sensor.



Los datos de la banda TIRS (BANDA 10) deben convertirse a partir de la radiación espectral a la temperatura de brillo (BT) utilizando las constantes térmicas proporcionado en el archivo de metadatos.

$$BT = \frac{K_2}{\ln[(K_1/L\lambda)+1]} - 273.15 \dots \text{Ec. 20}$$

Donde:

K_1 = representa las constantes de conversión térmica específicas de la banda de los metadatos.

K_2 = representa las constantes de conversión térmica específicas de la banda de los metadatos.

En el metadato se encuentran todas las constantes en el LanSat son las mismas, $k_1 = 774.8853$ y $k_2 = 1321.0789$

Ejemplo de la ecuación en el raster:

$$(1321.0789 / \ln((774.8853 / "B10_SBG_RADIANCE.tif") + 1)) - 273.15$$

4. Correcciones de reflectancia a las bandas 4 y 5:

$$P\lambda = \frac{(Mp * Q_{cal} + Ap)}{\sin(\theta_{se})} \dots \text{Ec. 21}$$

Donde:

$P\lambda$ = Reflectancia planetaria TOA, con corrección por ángulo solar

M_p = Factor multiplicativo de escalado específico por banda

A_p = Factor aditivo de escalado específico por banda

$\sin(\theta_{se})$ = Angulo de elevación solar del centro de la escena

Q_{cal} = Número digital o cuantificación y calibración para valores de pixel por banda

El valor del Angulo de elevación solar del centro de la escena se encuentra como Sun Elevation en los metadatos bajados. Mientras que los valores del factor multiplicativo de escalado específico por banda y el factor aditivo de escalado específico son: Banda 4 y 5 = 2×10^{-5} y para las Bandas Add 4 y 5 son = -0.10

Ecuación en raster (ejemplo):

$$((0.00002 * "B04_SBG.tif") - 0.1) / \sin(68.43579484 * (3.1415926535 / 180))$$

$$((0.00002 * "B05_SBG.tif") - 0.1) / \sin(68.43579484 * (3.1415926535 / 180))$$

Nota: el valor de seno en ArcGi es determinado en unidades de radianes por lo que se tiene que multiplicar por $\pi/180$ para hacer la conversión.

5. Se calcula el índice NDVI (Índice de vegetación) con las bandas 04 y 05

$$NDVI = \frac{NIR(banda\ 5) - R(banda\ 4)}{NIR(banda\ 5) + R(banda\ 4)} \dots \text{Ec. 22}$$

Ecuaciones en calculadora raster (ejemplo):

$$("B05_SBG_REFLECTANCE.tif" - "B04_SBG_REFLECTANCE.tif") /$$

$$("B05_SBG_REFLECTANCE.tif" + "B04_SBG_REFLECTANCE.tif")$$

6. Proporción de la vegetación:

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^2 \dots \text{Ec. 23}$$

Se sugiere utilizar los valores de NDVI para la vegetación y el suelo ($NDVI_v = 0.5$ y $NDVI_s = 0.2$) para aplicar en condiciones globales. Sin embargo, dado que los valores NDVI difieren para cada área, el valor para superficies con vegetación, 0.5, puede ser demasiado bajo. Valores globales a



partir de NDVI se puede calcular a partir de reflectividades en la superficie, pero no sería posible establecer valores globales en el caso de un NDVI computado a partir de reflectividades TOA, Dado que NDVI_v y NDVI_s dependerán de la atmósfera y sus condiciones.

En calculadora raster:

Power(("NDVI.tif" - 0.2) / (0.5 - 0.2)), 2)

7. Cálculo de la Emisividad:

$$\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon_{V\lambda}P_V + \varepsilon_{S\lambda}(1-P_V) + C_{\lambda} \dots\dots\dots \text{Ec. 24}$$

Donde:

$\varepsilon_{S\lambda} = \text{NDVI} < \text{NDVI}_s$,

$\varepsilon_{V\lambda}P_V + \varepsilon_{S\lambda}(1 - P_V) + c = \text{NDVI}_s \leq \text{NDVI} \leq \text{NDVI}_v$

$\varepsilon_{S\lambda} + c = \text{NDVI} > \text{NDVI}_v$

De acuerdo con Sobrino et. al. (2004):

- NDVI < 0.2: En este caso, el pixel es considerado como suelo desnudo (P_v=0) y la emisividad del suelo (ε_s) le corresponde un valor medio de 0.97
- NDVI > 0.5: Se considera que los pixeles están totalmente cubiertos de vegetación (P_v=1) con un valor constante para la emisividad de la vegetación (ε_v) de 0.99
- c) 0.2 ≤ NDVI ≤ 0.5: Se refiere al caso de superficies heterogéneas y rugosas. El pixel está compuesto por una mezcla de suelo desnudo y vegetación. Para este caso, la emisividad es calculada de acuerdo con la siguiente ecuación.

Para Landsat 8 TIRS las emisividades de suelo y vegetación según (Yu X., 2014) son:

- Banda 10= Suelo 0.9668 y Vegetación 0.9863
- Banda 11= Suelo 0.9747 y Vegetación 0.9896

8. Por lo tanto, para el valor de la (Es) Emisividad del suelo se aplica la ecuación en el raster de:

Con ("NDVI.tif" < 0.2, 0.97, 0.0)

9. Para Emisividad de la vegetación (Ev) se aplica la ecuación en el raster de:

Con("NDVI.tif" > 0.5, 0.99, 0.0)

10. Y para Emisividad (E) final es el promedio de ambas:

Con(("NDVI.tif" > 0.2) & ("NDVI.tif" <= 0.5), 0.004 * "PROPVEG.tif" + 0.986, 0.0)

11. Finalmente, los resultados se suman:

Emisividad= Es+Ev+E (emisividad)

"ES.tif" + "EV.tif" + "E.tif"

12. Para el cálculo de la temperatura de la Superficie Terrestre LST (Markham, 1985):

$$T_s = \frac{BT}{\{1 + [(\lambda BT / \rho) \ln \varepsilon_{\lambda}]\}} \dots\dots\dots \text{Ec. 25}$$

Donde:

$\lambda = 10.895$ (Markham, 1985):

$\rho = h \frac{c}{\sigma} = 1.438 \times 10^{-2} mK$

σ = es la constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K)



h = constante de Planck (6.626×10^{-34} J s)

c = es la velocidad de la luz (2.998×10^8 m/s) (Weng, Lu, & Schubring, 2004)

En la calculadora raster la ecuación sería la siguiente:

"B10_SBG_BT.tif" / (1 + ((10.895 * "B10_SBG_BT.tif") / 14380) * Ln("EMISIVIDAD.tif"))

Se agrega -273.15 para convertir a grados Celsius

Finalmente se corta al área requerida de trabajo con los polígonos de "Forma Urbana"



ANEXO B. Especificaciones técnicas de sensores: Datta logger U12-012, Dron Phantom 3, Arduino uno, SHT75-Sensor de Humedad, Módulo GPS Serial NEO-6M y Piranómetro CMP11 (Apartado 4.6)

Figura B.01 HOBO Temperature Relative Humidity Data Logger U12-012 para TBS y HR.
Fuente: (Onset, 2018)

	Measurement range	-20° to 70°C (-4° to 158°F)
	Accuracy	± 0.53°C from 0° to 50°C (± 0.95°F from 32° to 122°F)
	Resolution	0.14°C at 25°C (0.25°F at 77°F)
	Drift	0.1°C/year (0.2°F/year)
	Response time	10 minutes in airflow of 1 m/s (2.2 mph), typical to 90%
	Time accuracy	Approximately ± 1 minute per month at 25°C (77°F)
	Operating range	Logging: -20° to 70°C (-4° to 158°F); 0 to 95% RH (non-condensing)
	Battery life	One year typical use
	Memory	Memory 64K bytes (52,000 10-bit measurements)
	Weight	26 g (0.82 oz)
	Dimensions	45 x 60 x 20 mm (1.8 x 2.38 x 0.77 inches)
	The U-Series logger requires an Onset-supplied USB interface cable to connect to the computer. If possible, avoid connecting at temperatures below 0°C (32°F) or above 50°C (122°F).	

Figura B.02 Dron Phantom 3
Fuente: (Zekidar, 2014)

	Parámetros de operación	
	Temperatura:	-10°C a 50°C
	Peso posible de carga	500 gr
	Angulo máximo de inclinación	45°
	Velocidad máxima de ascenso / descenso	6 m/s
	Velocidad máxima de vuelo	10 m/s
	Distancia diagonal (centro del motor al centro del motor)	350 mm



	Phantom prop Guard	18.7 gramos
	Peso (individual)	
	Dimensiones	58,4 x 58,4 x 12,7 cm
	Autonomía de vuelo	19 minutos
	Radio de alcance	100 m
	Cámara:	1200 x 720 HD / 720p – 30fps / H264
Sistema de vuelo:	-Cuadricóptero: el vuelo lo consiguen a través de 4 motores con hélices, dispuestos en forma de cruz. Cuentan con giroscopios de diferentes ejes que les sirven para conseguir la estabilidad en posición horizontal.	
Método de vuelo:	Control por tablet / smartphone: Está diseñado para controlarse mediante una aplicación desde el smartphone o tablet. Logrando preprogramar una ruta, mediante waypoints (puntos intermedios en camino).	
GP:	Cuenta con sistema de geolocalización por coordenadas permitiendo localizarlo perfectamente en cada momento. Los dispositivos con este sistema permiten introducirle previamente al vuelo las coordenadas de este para que vaya de manera autónoma	
Altímetro:	Indica con exactitud la altura a con respecto al nivel del mar a la que se encuentra en todo momento.	

Figura B.03 Anemómetro, PEAKMETER PM6252A Anemómetro digital. Fuente: (GrupoC&M, 2019)

Dato general	Unidades en grados °C/ F	
Mediciones de punto de rocío, temperatura de bulbo húmedo y humedad relativa.		
Medición principal frecuencia de la conversión de la velocidad del viento.		
Valor máximo que muestra	9999	
Tiempo de muestreo	0.4s	
Peso	0.168 kg	
Tamaño	16.8 x 8.5 x 3.8 cm	
VELOCIDAD DEL VIENTO	ALCANCE	PRECISIÓN
M / s (metros por segundo)	0,40 - 30,00	± 3%
Ft / m (pies por minuto)	80 - 5900	± 3%
Km / h (kilómetros por hora)	1,4 a 108,0	± 3%
Mil / h (mph)	0,9 a 67,0	± 3%
Nudos (sección)	0,8 a 58,0	± 3%
Temperatura del aire	-10 a 60°C	(±4°C) ±1.0°C
Humedad relativa	20 a 80%	± 3,0%



Figura B.04 Arduino uno
Fuente: (Arduino, 2019)

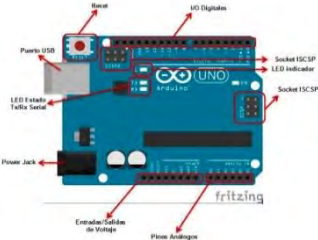
Parámetros de operación	
	Microcontrolador
	ATmega328.
	Voltaje Operativo
	5v
	Voltaje entrada (recomendado)
	7 -12 v
	Pines de Entrada/Salidas digital
	14 (De los cuales 6 son salidas PWM digital)
	Pines de entradas análogas
	Memoria Flash
	32 KB (ATmega328) de los cuales 0.5 KB es usado por bootloader
	SRAM
	2 KB (ATmega328)
	EEPROM
	1 KB (ATmega328)
	Velocidad del reloj
	16 MHZ
	Arduino es una plataforma de hardware libre, por lo que es posible obtener su esquemático y su diseño, con el fin de hacerlo individualmente. A continuación, encontrara lo necesario para montar nuestro propio Arduino: - Archivos para EAGLE 6.0 o versiones recientes: Arduino UNO RV 3.0 para Eagle - Esquemático: Arduino UNO Rev. 3.0 Esquemático Nota del Diseñador: Para el diseño se puede usar un ATmega8, ATmega168 o ATmega328, el esquemático es igual para cualquier de estos microprocesadores. Para mas información sobre esta board visitar la página : Arduino UNO Rev. 3.0
	Placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas.
	Incluye un resonador cerámico de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteado.
	La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, basta conectarla a un ordenador con un cable USB o a la corriente eléctrica a través de un transformador



Figura B.05 SHT75 - Sensor de Humedad, 1.8 %, 3.3 V, 0% a 100% de Humedad Relativa, SIP, 4 Pines, 8 Sensores de humedad montados en placa de arduino.

Fuente: (Newark, 2018)

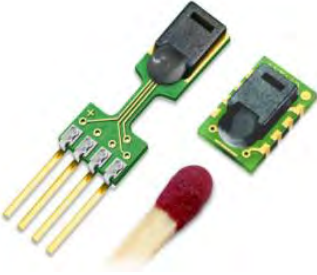
Parámetros de operación		
	Precisión de humedad relativa	±1.8% de HR
	Consumo de energía	Bajo consumo de energía y una excelente estabilidad a largo plazo
	Resolución de humedad relativa	0.05% RH (12 bits)
	Resolución de temperatura	0.01 °C (14 bits)
	Precisión de temperatura	± 0.3 °C
	Humedad relativa de funcionamiento	0% RH hasta 100% RH
	Tiempo de respuesta a humedad relativa	8 segundos
	Temperatura de funcionamiento	-40 °C hasta 123.8 °C
	Tiempo de respuesta de temperatura	5 seg hasta 30 seg
	Voltaje de alimentación	desde 2.4V hasta 5.5V
El SHT75 es un circuito de sensor digital de humedad relativa y temperatura de alta gama en un encapsulado SIP de 4 pines.		
Este sensor integra elementos sensores y procesamiento de señal en formato compacto. Proporciona salida digital totalmente calibrada. Un elemento sensor capacitivo único que se emplea para la medición de humedad relativa al tiempo que se mide la temperatura mediante sensor de banda prohibida		
La tecnología CMOSens aplicada garantiza una excelente fiabilidad y estabilidad a largo plazo. El SHT75 está perfectamente acoplado a un convertidor analógico-digital de 14 bits y un circuito de interfaz serie para las aplicaciones más exigentes.		
El resultado es una calidad de señal superior, rápido tiempo de respuesta e inmunidad a interferencias externas (EMC). La interfaz serie de dos hilos y la regulación de tensión interna permiten una integración en sistema sencilla y rápida. Su tamaño compacto y su bajo consumo de energía hacen del SHT75 la mejor solución.		

Figura B.06 Módulo GPS Serial NEO-6M. GY-GPS6MV2

Fuente: (T-Bem, 2018)

Parámetros de operación		
	Receptor GPS	Independiente
	Módulo GPS	U-blox NEO-6M
	Tiempo de lanzamiento a primera solución para arranques en caliente	1 segundo
	SuperSense ® GPS interior:	



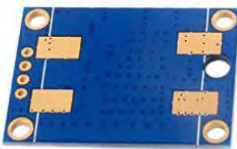
	Tasa de actualización de la posición	5 Hz
	Temperatura de funcionamiento	-40 a 85 ° C
	Construir en antena GPS	18x18mm
	Compatible	Con RoHS
	Dimensión	22mmX30mm
	Altura	13 mm
	Diámetro del agujero	3mm
	Peso	12gramos
Se trata de un módulo GPS actualizado que puede utilizarse con mega-v2 ArduPilot. Este módulo GPS utiliza la última tecnología para dar la mejor información de posición posible, permitiendo un mejor rendimiento con el ArduPilot u otra plataforma de control Multitrotor. Es posible que necesite configurar este módulo para su uso con el controlador de vuelo (tarjeta MultiWii Copter I2C GPS requiere 115.200 baudios).		
Necesidad de un USB a la tarjeta del adaptador FTDI para hacer esto.		
162 dBm de sensibilidad de seguimiento		
La tecnología anti-jamming		
Soporte SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN)		
U-blox motor de posicionamiento 6 50 canales con más de 2 millones correladores eficaces		
Timepulse		
UART TTL zócalo		
EEPROM para guardar los ajustes		
Batería recargable de copia de seguridad		

Figura B.07 Piranómetro CMP11 Kipp & zonen
Fuente: (Zonen, 2019)

	Parámetros de operación	
	Rango espectral (total)	285 a 2800 nm
	Sensibilidad	7 a 14 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$
	Tiempo de respuesta	< 5 s
	Offset cero A	< 7 W/m^2
	Offset cero B	< 2 W/m^2
	Error direccional (hasta 80 ° a 1000 W/m^2)	< 10 W/m^2
	Sensibilidad de dependencia a la temperatura (-10 °C a +40 °C)	< 1 %
	Rango de temperatura de operación	-40 °C to +80 °C
	Irradiancia solar máxima	4000 W/m^2
Clasificación ISO 9060:2018		Espectralmente Plana Clase A
ISO 9060:2018 Espectralmente Plana Clase A, CMP11 aprovecha la tecnología de detección con compensación de temperatura, originariamente desarrollada para el CMP22, y tiene un mejor rendimiento que el CMP6. Es particularmente adecuado para las redes meteorológicas, y		



su tiempo de respuesta muy reducido de 1.66 segundos (63%) cumple con los requisitos para las aplicaciones en instalaciones de energía solar.

Un enchufe impermeable está instalado para acomodar el distintivo cable de señal amarillo, que está disponible en varias longitudes y pre-conectado.

El nivel de burbuja integrado está montado encima de la carcasa y puede ser observado sin tener que quitar la visera solar acoplada, que cubre también el conector. El conector de contactos chapados en oro facilita la sustitución y calibración. El cartucho de secado enroscado es fácil de quitar y el desecante de repuesto está suministrado en paquetes cómodos y prácticos.

El Piranómetro no requiere alimentación en absoluto, ya que él mismo genera una señal de 0-20 mV en relación a la cantidad de radiación entrante. Cuando se requiere un nivel de voltaje más alto o una señal de 4-20mA, el AMPBOX es la perfecta solución



ANEXO C. Programación de los sensores en vuelo autónomo.

(Apartado 4.6)

La descripción del diseño, programación y soporte del equipo fue realizada en colaboración con la Facultad de Electrónica y Comunicaciones y el Centro de Investigaciones en Micro y Nanotecnología (Microna) de la Universidad Veracruzana, Región Veracruz.

Para la programación del MeVa, se utilizó el software **Arduino** el cual es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles, logrando que el microcontrolador de la placa se programe usando el Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Arduino Development Environment (basado en Processing). Otro software fue el **Fritzing**, programa libre de automatización de diseño electrónico que busca ayudar a diseñadores y artistas para que puedan pasar de prototipos a productos finales.

El primer software usado es el Fritzing, con el cual se determinan las conexiones con el Arduino y los demás componentes antes mencionados.

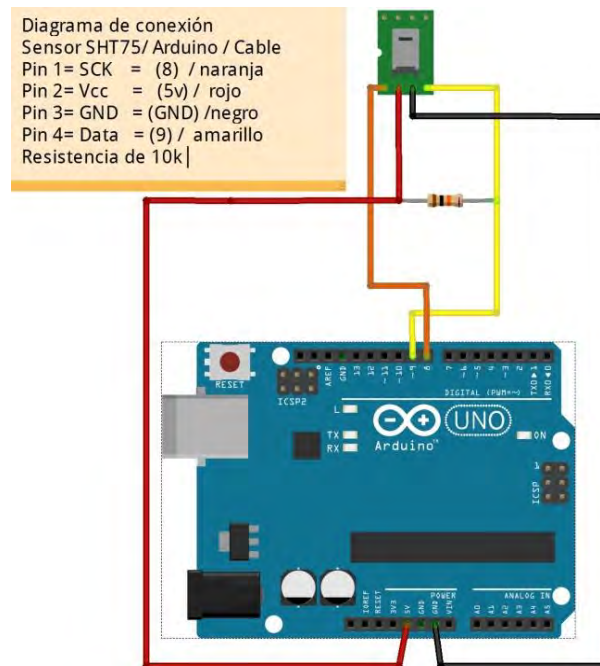


Figura C.01 Diagrama de conexión de SHT75. Fuente: Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.

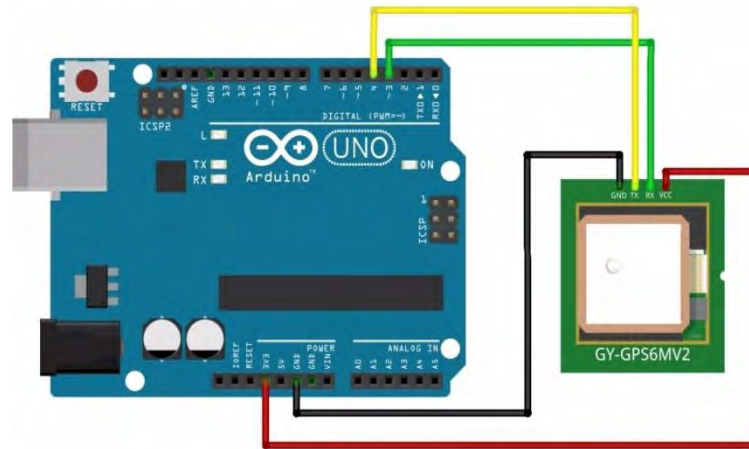


Figura C.02 Diagrama de conexión de GPS. Fuente: Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.

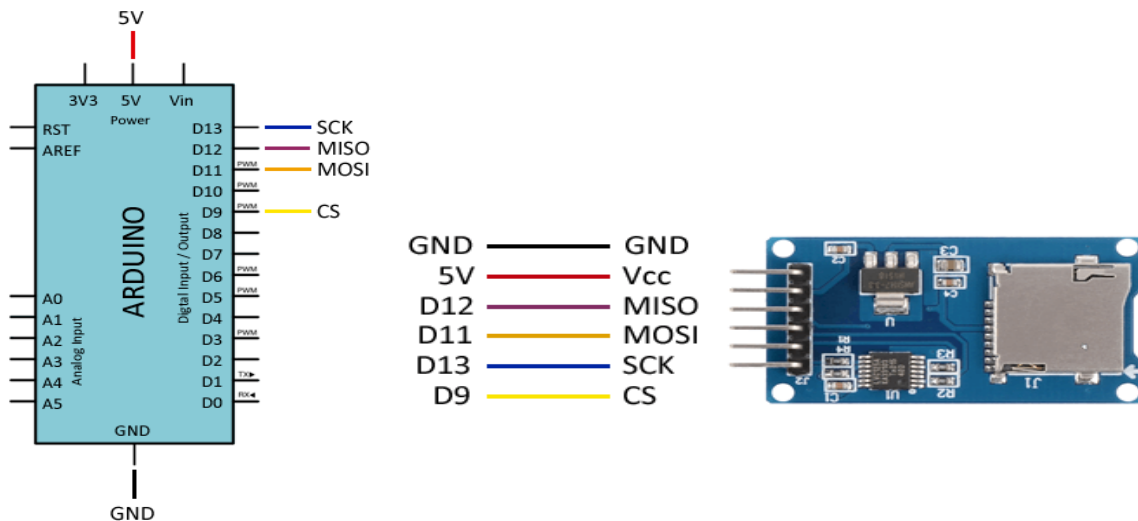


Figura C.03 Diagrama de conexión del módulo SD. Fuente: Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.

Una vez diseñado, se ensambló en el protoboard los componentes, el cual permite proseguir la programación en Arduino, abriendo el software de Arduino. Los comandos por incluir son:

Programación en Arduino.

Se incluye las librerías para el los módulos funcionen correctamente:

```
#include <SoftwareSerial.h>//incluimos SoftwareSerial;
#include <TinyGPS.h>//incluimos TinyGPS; y
#include <Sensorion.h>.
```

Para la programación del Módulo GPS:

En la Librería TinyGPS:

```
-TinyGPS gps;//Declaramos el objeto gps; y
-SoftwareSerial serialgps (4,3);//Declaramos el pin 4 Tx y 3 Rx.
```



Los siguientes pasos son compilar y subir a la placa como se muestra en la Figura 4.42.

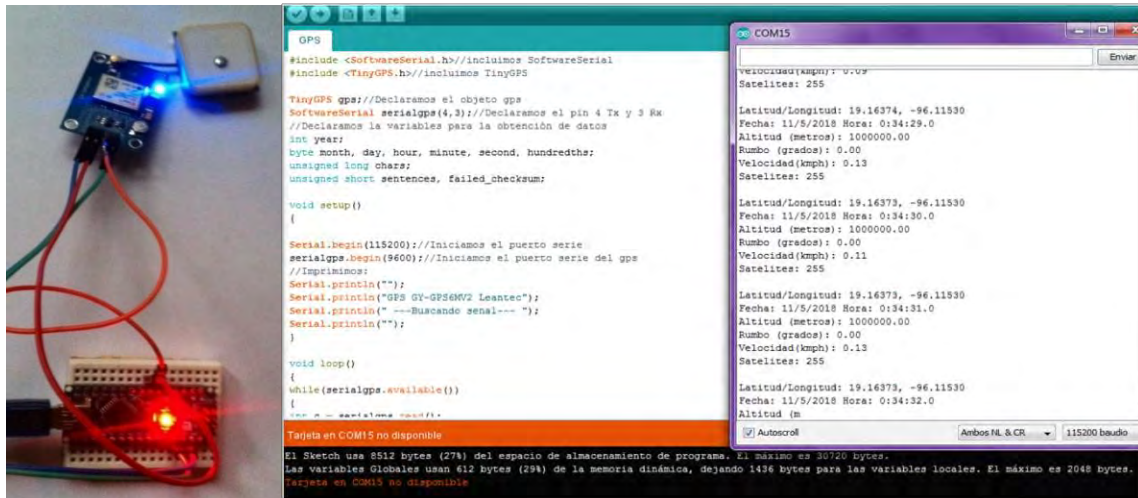


Figura C.04 Programación del Módulo GPS. Fuente: Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.

Para la programación del sensor de Temperatura y Humedad Relativa.

- Es importante la librería `#include <Sensirion.h>111;`
- Declaramos los pines a utilizar del arduino uno;
- const uint8_t dataPin = 9; // SHT sirviendo para la obtención de los datos; y
- const uint8_t sclPin = 8; // SHT es para la entrada de reloj o el tiempo de captación.

Los siguientes pasos son compilar y subir a la placa como se muestra en la Figura A.05

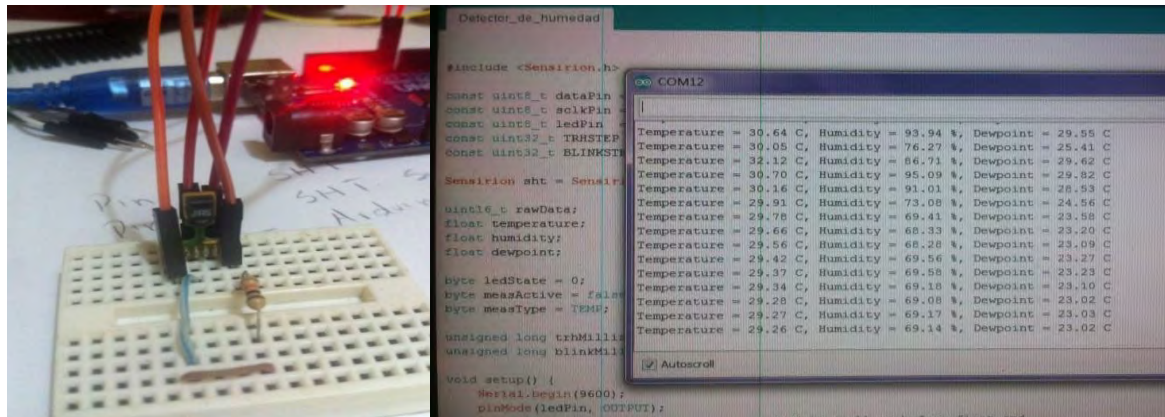


Figura C.05 Programación del sensor de Temperatura y Humedad Relativa. Fuente: Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.

Cada programación en cada módulo fue para la comprobación, se tomó en cuenta cada diseño de cada diagrama. Los programas fueron unidos en un solo, a excepción del módulo GPS que ira en otra placa Arduino independientemente, ya que los datos de registro son grandes y no se ven al ejecutar el visualizar de datos.

Cada programación en cada módulo fue para la realización de la comprobación, tomando en cuenta cada diseño de cada diagrama. Logrando que los programas se unieran en un solo, a excepción del



módulo GPS que fue soportado en otra placa Arduino, debido a que los datos de registro son largos y no se observan en el visualizador de datos.

Al ejecutarse de esta manera se obtienen los datos y se conjunta el prototipo con toda la conexión antes vista y mencionada (Figura A.06).

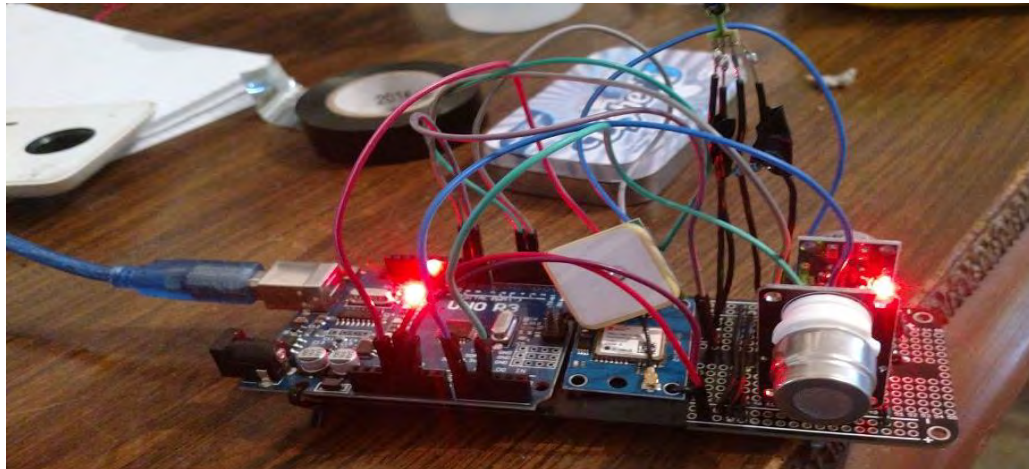


Figura C.06 Programación del conjunto de datos. Figura superior aspecto físico del prototipo, inferior imagen de pantalla de la programación. Fuente: Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.

Programación del módulo SD

Requerida para guardar el registro de los módulos anteriores (Figura 4.47)

-Aplicación del uso de la librería:

-#include <SD.h>; y

Copilar código y subir a la placa Arduino.

```

SD_modulo Arduino 1.8.3 Hourly Build 2017/03/23 09:33
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

SD_modulo

#include <SD.h>

File dataFile;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.print(F("Iniciando SD ..."));
  if (!SD.begin(9))
  {
    Serial.println(F("Error al iniciar"));
    return;
  }
  Serial.println(F("Iniciado correctamente"));

  // Abrir fichero y mostrar el resultado
  dataFile = SD.open("dataLog.txt");
  if (!dataFile)
  {
    string dataLine;
    while (dataFile.available())
    {
      dataLine = dataFile.read();
      Serial.write(dataLine); // En un caso real se realizarían las acciones oportunas
    }
    dataFile.close();
  }
}

Compilando programa.
El nombre del proyecto debe ser modificado. El nombre del proyecto debe consistir solo de caracteres ASCII y números (pero no puede comenzar con
Ademas debe contener menos de 64 caracteres.
  
```

Figura C.07 Programación del módulo SD. Fuente: Universidad Veracruzana de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones.



ANEXO Tabla D. Base de datos de Temperatura de Bulbo Seco para la calibración de MeVA (Apartado 4.6.2)

	Clave equipo	9910 013	2015 751	2015 743	2015 750	2015 742	2015 749	9910 012	9910 016	1300 807
	Numero datos	541	541	541	541	541	541	541	541	541
	Promedi o	30.045	30.154	30.142	30.310	30.285	30.797	30.741	30.812	30.702
	σ	0.050	0.103	0.131	0.129	0.136	0.208	0.187	0.115	0.180
	SE		0.042	0.051	0.050	0.050	0.085	0.079	0.051	0.066
	SE U12			0.011	0.013	0.013	0.010	0.012	0.013	0.014
1	12:22:00	29.941	29.966	29.89	30.041	30.016	30.419	30.444	30.571	30.293
2	12:22:01	29.966	29.966	29.89	30.041	30.016	30.419	30.419	30.571	30.318
3	12:22:02	29.941	29.966	29.89	30.041	30.016	30.419	30.419	30.571	30.318
4	12:22:03	29.966	29.966	29.89	30.041	30.016	30.419	30.444	30.571	30.318
5	12:22:04	29.966	29.966	29.89	30.041	30.016	30.419	30.444	30.571	30.318
6	12:22:05	29.966	29.966	29.89	30.066	30.016	30.419	30.419	30.571	30.318
7	12:22:06	29.966	29.966	29.89	30.041	30.016	30.419	30.419	30.596	30.318
8	12:22:07	29.966	29.966	29.89	30.066	30.016	30.419	30.444	30.596	30.318
9	12:22:08	29.966	29.966	29.89	30.066	30.016	30.419	30.444	30.596	30.318
10	12:22:09	29.966	29.966	29.89	30.066	30.016	30.419	30.444	30.596	30.343
11	12:22:10	29.966	29.966	29.89	30.066	30.016	30.419	30.444	30.596	30.343
12	12:22:11	29.966	29.966	29.89	30.066	30.016	30.419	30.444	30.596	30.343
13	12:22:12	29.966	29.966	29.89	30.066	30.016	30.419	30.444	30.596	30.343
14	12:22:13	29.966	29.966	29.89	30.066	30.016	30.444	30.444	30.596	30.343
15	12:22:14	29.966	29.966	29.89	30.066	30.016	30.444	30.444	30.596	30.343
16	12:22:15	29.966	29.966	29.89	30.066	30.016	30.444	30.444	30.596	30.343
17	12:22:16	29.966	29.966	29.89	30.066	30.016	30.444	30.444	30.596	30.343
18	12:22:17	29.966	29.966	29.89	30.066	30.041	30.444	30.444	30.596	30.343
19	12:22:18	29.966	29.966	29.89	30.066	30.041	30.444	30.444	30.596	30.343
20	12:22:19	29.966	29.966	29.916	30.066	30.041	30.444	30.444	30.596	30.369
21	12:22:20	29.966	29.966	29.916	30.066	30.041	30.444	30.444	30.596	30.369
22	12:22:21	29.966	29.966	29.916	30.066	30.041	30.444	30.444	30.596	30.369
23	12:22:22	29.966	29.991	29.89	30.066	30.041	30.444	30.444	30.596	30.369
24	12:22:23	29.966	29.966	29.916	30.066	30.041	30.444	30.469	30.621	30.369
25	12:22:24	29.966	29.991	29.916	30.091	30.041	30.469	30.444	30.621	30.369
26	12:22:25	29.966	29.991	29.916	30.091	30.041	30.469	30.469	30.621	30.369
27	12:22:26	29.941	29.991	29.916	30.091	30.041	30.469	30.469	30.621	30.369
28	12:22:27	29.941	29.991	29.916	30.091	30.041	30.469	30.469	30.621	30.369
29	12:22:28	29.941	29.991	29.916	30.091	30.041	30.469	30.469	30.621	30.369
30	12:22:29	29.941	29.991	29.916	30.091	30.041	30.469	30.469	30.621	30.369
31	12:22:30	29.941	29.991	29.916	30.091	30.041	30.469	30.444	30.621	30.394
32	12:22:31	29.941	29.991	29.916	30.091	30.041	30.469	30.469	30.621	30.394
33	12:22:32	29.941	29.991	29.916	30.091	30.066	30.469	30.469	30.621	30.394
34	12:22:33	29.941	29.991	29.941	30.091	30.066	30.469	30.469	30.621	30.394
35	12:22:34	29.941	29.991	29.941	30.091	30.066	30.469	30.469	30.621	30.394
36	12:22:35	29.941	29.991	29.941	30.091	30.066	30.469	30.469	30.621	30.394
37	12:22:36	29.941	29.991	29.941	30.091	30.066	30.469	30.469	30.621	30.394
38	12:22:37	29.941	29.991	29.941	30.091	30.066	30.469	30.469	30.621	30.394
39	12:22:38	29.941	29.991	29.941	30.091	30.066	30.469	30.469	30.646	30.394
40	12:22:39	29.941	29.991	29.941	30.091	30.066	30.469	30.469	30.646	30.394
41	12:22:40	29.941	29.991	29.941	30.091	30.066	30.495	30.469	30.646	30.394
42	12:22:41	29.941	29.991	29.941	30.091	30.066	30.495	30.469	30.646	30.394
43	12:22:42	29.941	29.991	29.941	30.091	30.066	30.495	30.469	30.646	30.394



44	12:22:43	29.941	29.991	29.941	30.091	30.066	30.495	30.469	30.646	30.394
45	12:22:44	29.941	29.991	29.941	30.091	30.066	30.469	30.469	30.646	30.394
46	12:22:45	29.941	29.991	29.941	30.117	30.066	30.495	30.469	30.646	30.419
47	12:22:46	29.941	29.991	29.941	30.117	30.066	30.495	30.469	30.646	30.419
48	12:22:47	29.966	29.991	29.941	30.091	30.066	30.495	30.469	30.646	30.419
49	12:22:48	29.966	30.016	29.941	30.117	30.066	30.495	30.469	30.646	30.419
50	12:22:49	29.966	30.016	29.941	30.117	30.066	30.495	30.469	30.646	30.419
51	12:22:50	29.966	29.991	29.941	30.117	30.066	30.495	30.469	30.646	30.419
52	12:22:51	29.966	30.016	29.941	30.117	30.066	30.495	30.469	30.646	30.419
53	12:22:52	29.966	29.991	29.941	30.117	30.066	30.495	30.469	30.646	30.419
54	12:22:53	29.966	30.016	29.941	30.117	30.066	30.495	30.469	30.646	30.419
55	12:22:54	29.966	30.016	29.966	30.117	30.091	30.495	30.469	30.646	30.419
56	12:22:55	29.966	30.016	29.941	30.117	30.091	30.495	30.469	30.646	30.444
57	12:22:56	29.966	30.016	29.941	30.117	30.091	30.495	30.469	30.672	30.444
58	12:22:57	29.991	30.016	29.966	30.117	30.091	30.495	30.469	30.672	30.444
59	12:22:58	29.991	30.016	29.966	30.117	30.091	30.495	30.469	30.646	30.444
60	12:22:59	29.991	30.016	29.966	30.117	30.091	30.495	30.469	30.646	30.444
61	12:23:00	29.966	30.016	29.966	30.117	30.091	30.495	30.469	30.672	30.444
62	12:23:01	29.966	30.016	29.966	30.142	30.091	30.495	30.469	30.672	30.444
63	12:23:02	29.966	30.016	29.966	30.117	30.091	30.495	30.469	30.672	30.444
64	12:23:03	29.966	30.016	29.966	30.142	30.091	30.495	30.469	30.672	30.444
65	12:23:04	29.991	30.016	29.966	30.142	30.091	30.495	30.469	30.672	30.444
66	12:23:05	29.991	30.016	29.966	30.142	30.091	30.52	30.469	30.672	30.444
67	12:23:06	29.991	30.016	29.966	30.142	30.091	30.52	30.469	30.672	30.444
68	12:23:07	29.991	30.016	29.966	30.142	30.091	30.52	30.469	30.672	30.444
69	12:23:08	29.966	30.016	29.966	30.142	30.117	30.52	30.495	30.672	30.469
70	12:23:09	29.966	30.016	29.966	30.142	30.117	30.52	30.495	30.672	30.469
71	12:23:10	29.991	30.016	29.966	30.142	30.117	30.52	30.495	30.672	30.469
72	12:23:11	29.991	30.016	29.966	30.142	30.117	30.52	30.495	30.672	30.469
73	12:23:12	29.966	30.041	29.966	30.142	30.117	30.52	30.495	30.672	30.469
74	12:23:13	29.991	30.016	29.991	30.142	30.117	30.52	30.495	30.672	30.469
75	12:23:14	29.966	30.016	29.991	30.142	30.117	30.52	30.495	30.672	30.469
76	12:23:15	29.991	30.016	29.991	30.142	30.117	30.52	30.495	30.672	30.469
77	12:23:16	29.966	30.016	29.966	30.142	30.117	30.545	30.495	30.672	30.469
78	12:23:17	29.991	30.041	29.991	30.142	30.117	30.545	30.495	30.697	30.469
79	12:23:18	29.966	30.041	29.991	30.142	30.117	30.545	30.495	30.697	30.495
80	12:23:19	29.966	30.041	29.991	30.142	30.117	30.545	30.495	30.697	30.495
81	12:23:20	29.991	30.041	29.991	30.142	30.117	30.545	30.495	30.697	30.495
82	12:23:21	29.991	30.041	29.991	30.142	30.117	30.545	30.495	30.697	30.495
83	12:23:22	29.991	30.041	29.991	30.167	30.117	30.545	30.495	30.697	30.495
84	12:23:23	29.991	30.041	29.991	30.142	30.117	30.545	30.495	30.697	30.495
85	12:23:24	29.991	30.041	29.991	30.142	30.117	30.545	30.495	30.697	30.495
86	12:23:25	29.991	30.041	29.991	30.142	30.117	30.545	30.495	30.697	30.495
87	12:23:26	29.991	30.041	29.991	30.142	30.117	30.545	30.52	30.697	30.495
88	12:23:27	29.991	30.041	29.991	30.167	30.117	30.545	30.52	30.697	30.495
89	12:23:28	29.991	30.041	29.991	30.167	30.117	30.571	30.52	30.697	30.495
90	12:23:29	29.966	30.041	29.991	30.167	30.117	30.545	30.52	30.697	30.495
91	12:23:30	29.991	30.041	29.991	30.167	30.117	30.545	30.52	30.697	30.495
92	12:23:31	29.991	30.041	29.991	30.167	30.117	30.545	30.52	30.697	30.495
93	12:23:32	29.991	30.041	29.991	30.167	30.117	30.571	30.52	30.697	30.495
94	12:23:33	29.991	30.041	29.991	30.167	30.142	30.545	30.52	30.697	30.495
95	12:23:34	29.991	30.041	29.991	30.167	30.142	30.571	30.52	30.697	30.495
96	12:23:35	29.991	30.041	29.991	30.167	30.142	30.571	30.52	30.697	30.495
97	12:23:36	29.991	30.041	29.991	30.167	30.142	30.571	30.52	30.697	30.495
98	12:23:37	29.991	30.041	29.991	30.167	30.142	30.571	30.52	30.697	30.495



99	12:23:38	29.991	30.041	29.991	30.167	30.142	30.571	30.52	30.697	30.495
100	12:23:39	29.991	30.041	29.991	30.167	30.142	30.571	30.52	30.697	30.495
101	12:23:40	29.991	30.041	30.016	30.167	30.142	30.571	30.52	30.697	30.52
102	12:23:41	29.991	30.041	29.991	30.167	30.142	30.571	30.52	30.697	30.52
103	12:23:42	29.991	30.041	29.991	30.192	30.142	30.571	30.52	30.697	30.52
104	12:23:43	29.991	30.041	30.016	30.167	30.142	30.571	30.52	30.697	30.52
105	12:23:44	29.991	30.041	30.016	30.167	30.142	30.571	30.52	30.697	30.52
106	12:23:45	29.991	30.041	29.991	30.167	30.142	30.571	30.545	30.697	30.52
107	12:23:46	29.991	30.041	30.016	30.192	30.142	30.596	30.52	30.697	30.52
108	12:23:47	29.991	30.041	30.016	30.192	30.142	30.571	30.545	30.697	30.52
109	12:23:48	29.991	30.066	30.016	30.192	30.142	30.571	30.52	30.697	30.52
110	12:23:49	29.991	30.066	30.016	30.192	30.142	30.596	30.545	30.697	30.52
111	12:23:50	29.991	30.066	30.016	30.192	30.142	30.596	30.545	30.697	30.52
112	12:23:51	29.991	30.066	30.016	30.192	30.142	30.596	30.545	30.697	30.52
113	12:23:52	29.991	30.066	30.016	30.192	30.142	30.596	30.545	30.722	30.52
114	12:23:53	29.991	30.041	30.016	30.192	30.167	30.596	30.545	30.722	30.52
115	12:23:54	29.991	30.066	30.016	30.192	30.167	30.596	30.545	30.697	30.545
116	12:23:55	29.991	30.066	30.016	30.192	30.167	30.596	30.545	30.697	30.545
117	12:23:56	29.991	30.066	30.016	30.192	30.167	30.596	30.545	30.722	30.545
118	12:23:57	29.991	30.066	30.016	30.192	30.167	30.596	30.545	30.722	30.545
119	12:23:58	29.991	30.066	30.016	30.192	30.167	30.596	30.545	30.722	30.545
120	12:23:59	29.991	30.066	30.016	30.192	30.167	30.596	30.545	30.722	30.545
121	12:24:00	29.991	30.066	30.016	30.192	30.167	30.596	30.545	30.722	30.545
122	12:24:01	30.016	30.066	30.016	30.192	30.167	30.596	30.571	30.722	30.545
123	12:24:02	29.991	30.066	30.041	30.192	30.167	30.596	30.545	30.722	30.545
124	12:24:03	29.991	30.066	30.041	30.192	30.167	30.596	30.545	30.722	30.545
125	12:24:04	29.991	30.066	30.016	30.192	30.167	30.621	30.545	30.722	30.545
126	12:24:05	29.991	30.066	30.041	30.192	30.167	30.596	30.571	30.722	30.545
127	12:24:06	29.991	30.066	30.041	30.192	30.167	30.596	30.571	30.722	30.571
128	12:24:07	29.991	30.066	30.041	30.192	30.167	30.596	30.545	30.722	30.571
129	12:24:08	30.016	30.066	30.041	30.192	30.167	30.621	30.571	30.722	30.571
130	12:24:09	29.991	30.066	30.041	30.192	30.167	30.621	30.571	30.722	30.571
131	12:24:10	30.016	30.066	30.041	30.192	30.167	30.621	30.571	30.722	30.571
132	12:24:11	30.016	30.066	30.041	30.192	30.167	30.621	30.571	30.722	30.571
133	12:24:12	30.016	30.066	30.041	30.192	30.167	30.621	30.571	30.722	30.571
134	12:24:13	30.016	30.066	30.041	30.192	30.192	30.621	30.571	30.722	30.571
135	12:24:14	29.991	30.066	30.041	30.217	30.167	30.621	30.571	30.722	30.571
136	12:24:15	29.991	30.066	30.041	30.217	30.167	30.621	30.571	30.722	30.571
137	12:24:16	29.991	30.066	30.041	30.217	30.167	30.621	30.571	30.722	30.571
138	12:24:17	29.991	30.066	30.041	30.217	30.192	30.621	30.571	30.722	30.571
139	12:24:18	30.016	30.066	30.041	30.192	30.192	30.621	30.571	30.722	30.571
140	12:24:19	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.621	30.596	30.722	30.571
141	12:24:20	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.621	30.596	30.722	30.571
142	12:24:21	30.016	30.066	30.041	30.217	30.192	30.621	30.571	30.722	30.571
143	12:24:22	30.016	30.066	30.041	30.217	30.192	30.621	30.571	30.722	30.571
144	12:24:23	30.016	30.066	30.041	30.217	30.192	30.621	30.571	30.722	30.571
145	12:24:24	30.016	30.066	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.722	30.596
146	12:24:25	30.016	30.066	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.722	30.596
147	12:24:26	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.748	30.596
148	12:24:27	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.722	30.596
149	12:24:28	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.748	30.596
150	12:24:29	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.722	30.596
151	12:24:30	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.748	30.596
152	12:24:31	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.748	30.596
153	12:24:32	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.722	30.596



154	12:24:33	30.016	30.066	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.748	30.596
155	12:24:34	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.722	30.596
156	12:24:35	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.748	30.596
157	12:24:36	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.748	30.596
158	12:24:37	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.748	30.596
159	12:24:38	30.016	30.091	30.041	30.217	30.192	30.646	30.596	30.748	30.596
160	12:24:39	30.016	30.091	30.066	30.217	30.217	30.646	30.621	30.748	30.596
161	12:24:40	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.646	30.621	30.748	30.596
162	12:24:41	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.596	30.748	30.596
163	12:24:42	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.596
164	12:24:43	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.621
165	12:24:44	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.596
166	12:24:45	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.596
167	12:24:46	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.621
168	12:24:47	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.596
169	12:24:48	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.621
170	12:24:49	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.621
171	12:24:50	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.621
172	12:24:51	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.621
173	12:24:52	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.621
174	12:24:53	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.621
175	12:24:54	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.621
176	12:24:55	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.621
177	12:24:56	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.621
178	12:24:57	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.672	30.621	30.748	30.621
179	12:24:58	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.697	30.646	30.748	30.621
180	12:24:59	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.697	30.621	30.748	30.621
181	12:25:00	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.697	30.646	30.748	30.621
182	12:25:01	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.697	30.646	30.773	30.646
183	12:25:02	30.016	30.091	30.066	30.243	30.217	30.697	30.621	30.748	30.621
184	12:25:03	30.016	30.091	30.091	30.243	30.217	30.697	30.646	30.748	30.646
185	12:25:04	30.016	30.091	30.091	30.243	30.217	30.697	30.646	30.748	30.646
186	12:25:05	30.016	30.091	30.091	30.243	30.217	30.697	30.646	30.748	30.646
187	12:25:06	30.016	30.091	30.091	30.243	30.217	30.697	30.646	30.773	30.646
188	12:25:07	30.041	30.091	30.091	30.243	30.217	30.697	30.646	30.773	30.646
189	12:25:08	30.041	30.091	30.091	30.243	30.217	30.697	30.646	30.773	30.646
190	12:25:09	30.016	30.091	30.091	30.243	30.217	30.697	30.646	30.773	30.646
191	12:25:10	30.016	30.091	30.091	30.268	30.243	30.697	30.646	30.773	30.646
192	12:25:11	30.016	30.091	30.091	30.268	30.217	30.697	30.646	30.773	30.646
193	12:25:12	30.016	30.091	30.091	30.268	30.243	30.697	30.646	30.773	30.646
194	12:25:13	30.041	30.091	30.091	30.268	30.243	30.697	30.646	30.773	30.646
195	12:25:14	30.041	30.091	30.091	30.268	30.243	30.697	30.672	30.773	30.646
196	12:25:15	30.041	30.091	30.091	30.268	30.243	30.697	30.646	30.773	30.646
197	12:25:16	30.041	30.091	30.091	30.268	30.243	30.697	30.646	30.773	30.646
198	12:25:17	30.041	30.091	30.091	30.268	30.243	30.722	30.672	30.773	30.646
199	12:25:18	30.041	30.091	30.091	30.268	30.243	30.697	30.672	30.773	30.646
200	12:25:19	30.041	30.117	30.091	30.268	30.243	30.722	30.672	30.773	30.646
201	12:25:20	30.041	30.091	30.091	30.268	30.243	30.697	30.672	30.773	30.646
202	12:25:21	30.041	30.117	30.091	30.268	30.243	30.722	30.672	30.773	30.646
203	12:25:22	30.041	30.117	30.091	30.268	30.243	30.722	30.672	30.773	30.646
204	12:25:23	30.041	30.117	30.091	30.268	30.243	30.722	30.672	30.773	30.646
205	12:25:24	30.041	30.117	30.091	30.268	30.243	30.722	30.672	30.773	30.646
206	12:25:25	30.041	30.117	30.091	30.268	30.243	30.722	30.672	30.773	30.672
207	12:25:26	30.041	30.117	30.091	30.268	30.243	30.722	30.672	30.773	30.646
208	12:25:27	30.041	30.117	30.091	30.268	30.243	30.722	30.672	30.773	30.646



209	12:25:28	30.041	30.117	30.091	30.268	30.243	30.722	30.672	30.773	30.672
210	12:25:29	30.041	30.117	30.091	30.293	30.243	30.722	30.672	30.773	30.672
211	12:25:30	30.041	30.117	30.091	30.268	30.243	30.722	30.672	30.773	30.672
212	12:25:31	30.041	30.117	30.091	30.268	30.243	30.722	30.672	30.773	30.672
213	12:25:32	30.041	30.117	30.091	30.268	30.268	30.722	30.672	30.773	30.672
214	12:25:33	30.041	30.117	30.091	30.293	30.268	30.722	30.672	30.773	30.672
215	12:25:34	30.041	30.117	30.091	30.268	30.268	30.722	30.672	30.773	30.672
216	12:25:35	30.041	30.117	30.091	30.293	30.268	30.748	30.672	30.798	30.672
217	12:25:36	30.066	30.117	30.091	30.293	30.243	30.748	30.672	30.773	30.672
218	12:25:37	30.041	30.117	30.091	30.293	30.268	30.748	30.672	30.773	30.672
219	12:25:38	30.041	30.117	30.091	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.672
220	12:25:39	30.041	30.117	30.117	30.293	30.268	30.748	30.672	30.773	30.672
221	12:25:40	30.041	30.117	30.091	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.672
222	12:25:41	30.041	30.117	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.672
223	12:25:42	30.041	30.117	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.672
224	12:25:43	30.041	30.117	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.672
225	12:25:44	30.041	30.117	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.672
226	12:25:45	30.041	30.142	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.697
227	12:25:46	30.041	30.142	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.672
228	12:25:47	30.041	30.117	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.672
229	12:25:48	30.041	30.142	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.697
230	12:25:49	30.041	30.142	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.697
231	12:25:50	30.041	30.142	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.697
232	12:25:51	30.041	30.142	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.697
233	12:25:52	30.041	30.142	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.697
234	12:25:53	30.041	30.142	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.697
235	12:25:54	30.066	30.142	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.697
236	12:25:55	30.041	30.142	30.117	30.293	30.268	30.748	30.697	30.773	30.697
237	12:25:56	30.066	30.142	30.117	30.293	30.268	30.773	30.697	30.773	30.697
238	12:25:57	30.066	30.142	30.117	30.293	30.268	30.773	30.722	30.773	30.697
239	12:25:58	30.066	30.142	30.117	30.293	30.268	30.773	30.722	30.773	30.697
240	12:25:59	30.066	30.142	30.117	30.293	30.268	30.773	30.722	30.773	30.697
241	12:26:00	30.066	30.142	30.117	30.293	30.268	30.773	30.697	30.773	30.697
242	12:26:01	30.066	30.142	30.117	30.293	30.268	30.773	30.722	30.773	30.697
243	12:26:02	30.066	30.142	30.142	30.293	30.268	30.773	30.722	30.773	30.697
244	12:26:03	30.066	30.142	30.142	30.293	30.293	30.773	30.722	30.773	30.697
245	12:26:04	30.066	30.142	30.142	30.293	30.293	30.773	30.722	30.773	30.697
246	12:26:05	30.066	30.142	30.142	30.293	30.293	30.773	30.722	30.773	30.697
247	12:26:06	30.066	30.142	30.142	30.293	30.293	30.773	30.722	30.773	30.697
248	12:26:07	30.066	30.142	30.142	30.293	30.293	30.773	30.722	30.798	30.697
249	12:26:08	30.066	30.142	30.142	30.293	30.293	30.773	30.722	30.773	30.697
250	12:26:09	30.066	30.142	30.142	30.293	30.293	30.773	30.722	30.798	30.697
251	12:26:10	30.041	30.142	30.142	30.318	30.293	30.773	30.722	30.798	30.697
252	12:26:11	30.041	30.142	30.142	30.293	30.293	30.773	30.722	30.798	30.697
253	12:26:12	30.066	30.142	30.142	30.293	30.293	30.773	30.722	30.798	30.697
254	12:26:13	30.041	30.142	30.142	30.318	30.293	30.773	30.722	30.798	30.697
255	12:26:14	30.066	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.722	30.798	30.697
256	12:26:15	30.066	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.722	30.798	30.697
257	12:26:16	30.041	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.722	30.798	30.697
258	12:26:17	30.041	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.722	30.798	30.697
259	12:26:18	30.066	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.722	30.798	30.722
260	12:26:19	30.066	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.722	30.798	30.722
261	12:26:20	30.066	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.722	30.798	30.722
262	12:26:21	30.066	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.748	30.798	30.722
263	12:26:22	30.066	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.748	30.798	30.722



264	12:26:23	30.066	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.748	30.798	30.722
265	12:26:24	30.066	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.748	30.798	30.722
266	12:26:25	30.066	30.167	30.142	30.318	30.293	30.798	30.748	30.798	30.722
267	12:26:26	30.091	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.748	30.798	30.722
268	12:26:27	30.066	30.167	30.142	30.318	30.293	30.798	30.748	30.798	30.722
269	12:26:28	30.066	30.167	30.142	30.318	30.318	30.798	30.748	30.798	30.722
270	12:26:29	30.066	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.748	30.824	30.722
271	12:26:30	30.066	30.142	30.142	30.318	30.293	30.798	30.748	30.798	30.722
272	12:26:31	30.066	30.167	30.142	30.318	30.293	30.824	30.748	30.798	30.722
273	12:26:32	30.066	30.142	30.142	30.318	30.318	30.798	30.748	30.824	30.722
274	12:26:33	30.066	30.167	30.142	30.343	30.318	30.798	30.748	30.798	30.722
275	12:26:34	30.066	30.167	30.142	30.343	30.318	30.798	30.748	30.798	30.722
276	12:26:35	30.066	30.167	30.142	30.343	30.318	30.824	30.748	30.824	30.722
277	12:26:36	30.066	30.167	30.142	30.343	30.318	30.824	30.748	30.824	30.748
278	12:26:37	30.091	30.167	30.142	30.343	30.318	30.824	30.748	30.824	30.748
279	12:26:38	30.066	30.167	30.142	30.343	30.318	30.824	30.748	30.824	30.748
280	12:26:39	30.091	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.748	30.824	30.722
281	12:26:40	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.748	30.824	30.748
282	12:26:41	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.748	30.824	30.748
283	12:26:42	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.773	30.824	30.748
284	12:26:43	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.748	30.824	30.748
285	12:26:44	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.748	30.824	30.748
286	12:26:45	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.773	30.824	30.748
287	12:26:46	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.773	30.824	30.748
288	12:26:47	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.773	30.824	30.748
289	12:26:48	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.773	30.824	30.748
290	12:26:49	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.773	30.824	30.748
291	12:26:50	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.773	30.824	30.748
292	12:26:51	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.773	30.824	30.748
293	12:26:52	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.773	30.824	30.748
294	12:26:53	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.824	30.773	30.824	30.748
295	12:26:54	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.849	30.773	30.824	30.748
296	12:26:55	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.849	30.773	30.824	30.748
297	12:26:56	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.849	30.773	30.824	30.748
298	12:26:57	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.849	30.773	30.824	30.748
299	12:26:58	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.849	30.773	30.824	30.748
300	12:26:59	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.849	30.773	30.824	30.748
301	12:27:00	30.066	30.167	30.167	30.343	30.318	30.849	30.773	30.824	30.748
302	12:27:01	30.066	30.192	30.192	30.343	30.318	30.849	30.798	30.849	30.748
303	12:27:02	30.066	30.192	30.167	30.343	30.318	30.849	30.773	30.824	30.748
304	12:27:03	30.066	30.192	30.192	30.343	30.318	30.849	30.798	30.824	30.773
305	12:27:04	30.066	30.192	30.192	30.343	30.318	30.849	30.798	30.849	30.773
306	12:27:05	30.066	30.192	30.192	30.343	30.318	30.849	30.798	30.849	30.773
307	12:27:06	30.066	30.192	30.192	30.343	30.318	30.849	30.798	30.849	30.748
308	12:27:07	30.066	30.192	30.192	30.369	30.318	30.849	30.798	30.849	30.773
309	12:27:08	30.066	30.192	30.192	30.343	30.318	30.849	30.798	30.849	30.773
310	12:27:09	30.066	30.192	30.192	30.343	30.318	30.849	30.798	30.849	30.748
311	12:27:10	30.066	30.192	30.192	30.369	30.318	30.849	30.798	30.849	30.773
312	12:27:11	30.066	30.192	30.192	30.369	30.318	30.874	30.798	30.849	30.773
313	12:27:12	30.066	30.192	30.192	30.343	30.318	30.874	30.798	30.849	30.773
314	12:27:13	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.798	30.849	30.773
315	12:27:14	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.798	30.849	30.773
316	12:27:15	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.798	30.849	30.773
317	12:27:16	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.798	30.849	30.773
318	12:27:17	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.798	30.849	30.773



319	12:27:18	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.798	30.849	30.773
320	12:27:19	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.798	30.849	30.773
321	12:27:20	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.824	30.849	30.773
322	12:27:21	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.824	30.849	30.773
323	12:27:22	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.824	30.849	30.773
324	12:27:23	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.824	30.849	30.773
325	12:27:24	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.824	30.849	30.773
326	12:27:25	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.824	30.849	30.773
327	12:27:26	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.824	30.849	30.773
328	12:27:27	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.824	30.849	30.773
329	12:27:28	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.824	30.849	30.798
330	12:27:29	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.824	30.849	30.773
331	12:27:30	30.091	30.192	30.192	30.369	30.343	30.9	30.824	30.849	30.798
332	12:27:31	30.091	30.192	30.192	30.369	30.343	30.874	30.824	30.849	30.798
333	12:27:32	30.091	30.192	30.192	30.369	30.343	30.9	30.824	30.849	30.798
334	12:27:33	30.066	30.192	30.192	30.369	30.343	30.9	30.824	30.849	30.798
335	12:27:34	30.091	30.192	30.192	30.369	30.343	30.9	30.824	30.849	30.798
336	12:27:35	30.091	30.192	30.192	30.369	30.343	30.9	30.824	30.849	30.798
337	12:27:36	30.091	30.192	30.192	30.369	30.343	30.9	30.824	30.849	30.798
338	12:27:37	30.091	30.217	30.192	30.369	30.369	30.9	30.824	30.849	30.798
339	12:27:38	30.091	30.192	30.192	30.369	30.369	30.9	30.849	30.849	30.798
340	12:27:39	30.091	30.192	30.217	30.369	30.369	30.9	30.849	30.849	30.798
341	12:27:40	30.091	30.192	30.217	30.394	30.369	30.9	30.849	30.849	30.798
342	12:27:41	30.091	30.192	30.192	30.394	30.369	30.9	30.849	30.849	30.798
343	12:27:42	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.9	30.849	30.849	30.798
344	12:27:43	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.9	30.849	30.849	30.798
345	12:27:44	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.9	30.849	30.849	30.798
346	12:27:45	30.091	30.192	30.217	30.394	30.369	30.9	30.849	30.849	30.798
347	12:27:46	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.9	30.849	30.849	30.798
348	12:27:47	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.9	30.849	30.849	30.798
349	12:27:48	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.9	30.849	30.849	30.798
350	12:27:49	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.9	30.849	30.849	30.798
351	12:27:50	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.9	30.849	30.874	30.798
352	12:27:51	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.925	30.849	30.849	30.798
353	12:27:52	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.9	30.849	30.849	30.798
354	12:27:53	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.925	30.849	30.849	30.798
355	12:27:54	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.925	30.849	30.874	30.798
356	12:27:55	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.925	30.849	30.874	30.798
357	12:27:56	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.925	30.874	30.874	30.798
358	12:27:57	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.925	30.849	30.874	30.824
359	12:27:58	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.925	30.849	30.874	30.824
360	12:27:59	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.925	30.849	30.874	30.798
361	12:28:00	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.925	30.849	30.874	30.824
362	12:28:01	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.925	30.849	30.874	30.824
363	12:28:02	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.925	30.849	30.874	30.824
364	12:28:03	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.925	30.874	30.874	30.824
365	12:28:04	30.091	30.217	30.217	30.394	30.369	30.925	30.874	30.874	30.824
366	12:28:05	30.091	30.217	30.243	30.394	30.369	30.925	30.874	30.874	30.824
367	12:28:06	30.091	30.217	30.243	30.394	30.369	30.925	30.874	30.874	30.824
368	12:28:07	30.091	30.217	30.243	30.394	30.369	30.925	30.874	30.874	30.824
369	12:28:08	30.091	30.217	30.243	30.394	30.369	30.925	30.874	30.874	30.824
370	12:28:09	30.091	30.217	30.243	30.394	30.369	30.925	30.874	30.874	30.824
371	12:28:10	30.091	30.217	30.243	30.394	30.369	30.925	30.874	30.874	30.824
372	12:28:11	30.091	30.217	30.243	30.394	30.369	30.925	30.874	30.874	30.824
373	12:28:12	30.091	30.217	30.243	30.394	30.369	30.925	30.874	30.874	30.824



374	12:28:13	30.091	30.217	30.243	30.394	30.369	30.95	30.874	30.874	30.824
375	12:28:14	30.091	30.243	30.243	30.394	30.394	30.95	30.874	30.9	30.824
376	12:28:15	30.091	30.217	30.243	30.394	30.394	30.95	30.874	30.874	30.824
377	12:28:16	30.091	30.243	30.243	30.394	30.394	30.95	30.874	30.874	30.824
378	12:28:17	30.091	30.243	30.243	30.394	30.394	30.95	30.874	30.874	30.824
379	12:28:18	30.091	30.243	30.243	30.394	30.394	30.95	30.874	30.9	30.824
380	12:28:19	30.091	30.243	30.243	30.394	30.394	30.95	30.874	30.874	30.849
381	12:28:20	30.091	30.243	30.243	30.394	30.394	30.95	30.874	30.9	30.824
382	12:28:21	30.091	30.243	30.243	30.394	30.394	30.95	30.874	30.9	30.824
383	12:28:22	30.091	30.243	30.243	30.394	30.394	30.95	30.9	30.9	30.849
384	12:28:23	30.117	30.243	30.243	30.394	30.394	30.95	30.874	30.9	30.849
385	12:28:24	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.95	30.874	30.9	30.849
386	12:28:25	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.95	30.874	30.9	30.849
387	12:28:26	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.95	30.9	30.9	30.849
388	12:28:27	30.091	30.243	30.243	30.394	30.394	30.95	30.9	30.9	30.849
389	12:28:28	30.117	30.243	30.243	30.394	30.394	30.95	30.9	30.9	30.849
390	12:28:29	30.091	30.243	30.243	30.394	30.394	30.95	30.9	30.9	30.849
391	12:28:30	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.95	30.9	30.9	30.849
392	12:28:31	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.95	30.9	30.9	30.849
393	12:28:32	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.976	30.9	30.9	30.849
394	12:28:33	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.976	30.9	30.9	30.849
395	12:28:34	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.976	30.9	30.9	30.849
396	12:28:35	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.976	30.9	30.9	30.849
397	12:28:36	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.976	30.9	30.9	30.849
398	12:28:37	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.976	30.9	30.9	30.849
399	12:28:38	30.091	30.243	30.268	30.419	30.394	30.976	30.9	30.9	30.849
400	12:28:39	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.976	30.9	30.9	30.849
401	12:28:40	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.976	30.9	30.9	30.849
402	12:28:41	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.976	30.9	30.9	30.849
403	12:28:42	30.091	30.243	30.243	30.419	30.394	30.976	30.9	30.9	30.849
404	12:28:43	30.091	30.243	30.268	30.419	30.394	30.976	30.9	30.9	30.849
405	12:28:44	30.117	30.243	30.268	30.419	30.394	30.976	30.925	30.925	30.849
406	12:28:45	30.117	30.243	30.268	30.419	30.394	30.976	30.9	30.9	30.849
407	12:28:46	30.117	30.243	30.268	30.419	30.394	30.976	30.925	30.925	30.849
408	12:28:47	30.117	30.243	30.268	30.419	30.394	30.976	30.925	30.9	30.849
409	12:28:48	30.117	30.243	30.268	30.419	30.394	30.976	30.925	30.9	30.849
410	12:28:49	30.117	30.243	30.268	30.419	30.394	30.976	30.925	30.925	30.849
411	12:28:50	30.091	30.243	30.268	30.419	30.419	30.976	30.925	30.925	30.874
412	12:28:51	30.091	30.243	30.268	30.419	30.394	31.001	30.925	30.925	30.849
413	12:28:52	30.091	30.243	30.268	30.419	30.419	30.976	30.925	30.925	30.849
414	12:28:53	30.117	30.243	30.268	30.419	30.419	31.001	30.925	30.925	30.849
415	12:28:54	30.091	30.243	30.268	30.419	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
416	12:28:55	30.117	30.243	30.268	30.419	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
417	12:28:56	30.117	30.243	30.268	30.419	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
418	12:28:57	30.117	30.243	30.268	30.444	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
419	12:28:58	30.117	30.243	30.268	30.419	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
420	12:28:59	30.117	30.243	30.268	30.444	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
421	12:29:00	30.117	30.243	30.268	30.444	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
422	12:29:01	30.117	30.268	30.268	30.444	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
423	12:29:02	30.117	30.243	30.268	30.419	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
424	12:29:03	30.117	30.243	30.268	30.444	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
425	12:29:04	30.091	30.243	30.268	30.444	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
426	12:29:05	30.091	30.243	30.268	30.444	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
427	12:29:06	30.066	30.243	30.268	30.444	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
428	12:29:07	30.066	30.243	30.268	30.444	30.419	31.001	30.95	30.925	30.874



429	12:29:08	30.066	30.243	30.268	30.444	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
430	12:29:09	30.066	30.268	30.268	30.444	30.419	31.001	30.95	30.925	30.874
431	12:29:10	30.066	30.268	30.268	30.444	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
432	12:29:11	30.066	30.243	30.268	30.444	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
433	12:29:12	30.066	30.268	30.268	30.444	30.419	31.001	30.95	30.925	30.874
434	12:29:13	30.066	30.268	30.268	30.444	30.419	31.001	30.925	30.925	30.874
435	12:29:14	30.091	30.268	30.268	30.444	30.419	31.001	30.95	30.925	30.874
436	12:29:15	30.091	30.268	30.268	30.444	30.419	31.026	30.95	30.925	30.874
437	12:29:16	30.091	30.268	30.268	30.444	30.419	31.026	30.95	30.925	30.874
438	12:29:17	30.091	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.95	30.925	30.9
439	12:29:18	30.091	30.268	30.268	30.444	30.419	31.026	30.95	30.925	30.9
440	12:29:19	30.066	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.95	30.925	30.9
441	12:29:20	30.066	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.95	30.925	30.874
442	12:29:21	30.066	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.95	30.925	30.9
443	12:29:22	30.091	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.95	30.95	30.9
444	12:29:23	30.091	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.95	30.925	30.9
445	12:29:24	30.066	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.95	30.925	30.9
446	12:29:25	30.091	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.95	30.95	30.9
447	12:29:26	30.091	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.95	30.925	30.9
448	12:29:27	30.091	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.95	30.925	30.9
449	12:29:28	30.091	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.95	30.95	30.9
450	12:29:29	30.091	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.976	30.95	30.9
451	12:29:30	30.091	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.95	30.95	30.9
452	12:29:31	30.091	30.268	30.293	30.444	30.419	31.026	30.976	30.95	30.9
453	12:29:32	30.091	30.268	30.293	30.444	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
454	12:29:33	30.091	30.268	30.293	30.444	30.419	31.052	30.976	30.95	30.9
455	12:29:34	30.091	30.268	30.293	30.444	30.419	31.052	30.976	30.95	30.9
456	12:29:35	30.091	30.268	30.293	30.469	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
457	12:29:36	30.091	30.268	30.293	30.469	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
458	12:29:37	30.091	30.268	30.293	30.444	30.419	31.052	30.976	30.95	30.9
459	12:29:38	30.066	30.268	30.293	30.444	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
460	12:29:39	30.066	30.268	30.293	30.469	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
461	12:29:40	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
462	12:29:41	30.066	30.268	30.293	30.444	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
463	12:29:42	30.066	30.268	30.293	30.469	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
464	12:29:43	30.066	30.268	30.293	30.469	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
465	12:29:44	30.066	30.268	30.293	30.469	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
466	12:29:45	30.066	30.293	30.293	30.444	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
467	12:29:46	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
468	12:29:47	30.066	30.293	30.293	30.444	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
469	12:29:48	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.052	31.001	30.95	30.9
470	12:29:49	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
471	12:29:50	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.052	31.001	30.95	30.925
472	12:29:51	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.052	31.001	30.95	30.9
473	12:29:52	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.052	30.976	30.95	30.9
474	12:29:53	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.052	31.001	30.95	30.925
475	12:29:54	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.052	31.001	30.976	30.9
476	12:29:55	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.077	31.001	30.976	30.9
477	12:29:56	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.052	31.001	30.976	30.9
478	12:29:57	30.091	30.293	30.293	30.469	30.469	31.077	31.001	30.95	30.9
479	12:29:58	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.077	31.001	30.976	30.925
480	12:29:59	30.066	30.293	30.318	30.469	30.444	31.077	31.001	30.976	30.925
481	12:30:00	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.077	31.001	30.976	30.9
482	12:30:01	30.066	30.293	30.293	30.469	30.444	31.077	31.001	30.976	30.925
483	12:30:02	30.066	30.293	30.318	30.469	30.444	31.077	31.001	30.976	30.9



484	12:30:03	30.066	30.293	30.318	30.469	30.444	31.077	31.001	30.976	30.925
485	12:30:04	30.066	30.293	30.318	30.469	30.444	31.077	31.001	30.976	30.9
486	12:30:05	30.066	30.293	30.318	30.469	30.444	31.077	31.001	30.976	30.925
487	12:30:06	30.091	30.293	30.293	30.469	30.444	31.077	31.001	30.976	30.925
488	12:30:07	30.091	30.293	30.318	30.469	30.469	31.077	31.001	30.976	30.925
489	12:30:08	30.091	30.293	30.318	30.469	30.444	31.077	31.001	30.976	30.925
490	12:30:09	30.091	30.293	30.318	30.469	30.444	31.077	31.001	30.976	30.925
491	12:30:10	30.091	30.293	30.318	30.469	30.444	31.077	31.026	30.976	30.925
492	12:30:11	30.091	30.293	30.318	30.469	30.444	31.077	31.001	30.976	30.925
493	12:30:12	30.066	30.293	30.318	30.469	30.469	31.077	31.026	30.976	30.925
494	12:30:13	30.066	30.293	30.318	30.469	30.469	31.077	31.026	30.976	30.925
495	12:30:14	30.066	30.293	30.318	30.469	30.469	31.077	31.026	30.976	30.925
496	12:30:15	30.066	30.293	30.318	30.469	30.469	31.103	31.026	30.976	30.925
497	12:30:16	30.066	30.293	30.318	30.469	30.469	31.103	31.026	30.976	30.925
498	12:30:17	30.066	30.293	30.318	30.469	30.469	31.103	31.026	30.976	30.925
499	12:30:18	30.066	30.293	30.318	30.469	30.469	31.103	31.001	30.976	30.925
500	12:30:19	30.041	30.293	30.318	30.469	30.469	31.103	31.001	30.976	30.925
501	12:30:20	30.066	30.293	30.318	30.495	30.469	31.103	31.001	30.976	30.925
502	12:30:21	30.066	30.293	30.318	30.495	30.469	31.103	31.001	30.976	30.95
503	12:30:22	30.066	30.293	30.318	30.495	30.469	31.103	31.001	30.976	30.95
504	12:30:23	30.041	30.293	30.318	30.495	30.469	31.103	31.001	30.976	30.95
505	12:30:24	30.041	30.293	30.318	30.495	30.469	31.103	31.001	30.976	30.95
506	12:30:25	30.041	30.293	30.318	30.495	30.469	31.103	31.001	30.976	30.925
507	12:30:26	30.041	30.293	30.318	30.495	30.469	31.103	31.001	30.976	30.95
508	12:30:27	30.066	30.293	30.318	30.495	30.469	31.103	31.001	30.976	30.95
509	12:30:28	30.066	30.293	30.318	30.495	30.469	31.103	31.001	30.976	30.95
510	12:30:29	30.066	30.318	30.318	30.495	30.469	31.103	31.001	31.001	30.95
511	12:30:30	30.066	30.293	30.318	30.495	30.469	31.103	31.001	30.976	30.95
512	12:30:31	30.091	30.293	30.318	30.495	30.469	31.103	31.001	31.001	30.95
513	12:30:32	30.091	30.318	30.343	30.495	30.469	31.103	31.001	31.001	30.95
514	12:30:33	30.091	30.293	30.343	30.495	30.469	31.103	31.001	31.001	30.95
515	12:30:34	30.091	30.318	30.318	30.495	30.469	31.103	31.001	31.001	30.95
516	12:30:35	30.117	30.318	30.343	30.495	30.469	31.103	31.001	31.001	30.95
517	12:30:36	30.117	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.95
518	12:30:37	30.117	30.293	30.343	30.495	30.469	31.103	31.001	31.001	30.95
519	12:30:38	30.117	30.293	30.343	30.495	30.469	31.103	31.001	31.001	30.95
520	12:30:39	30.117	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.95
521	12:30:40	30.117	30.318	30.343	30.495	30.469	31.103	31.001	31.001	30.95
522	12:30:41	30.117	30.318	30.343	30.495	30.469	31.103	31.001	31.001	30.95
523	12:30:42	30.117	30.293	30.343	30.495	30.469	31.103	31.001	31.001	30.95
524	12:30:43	30.117	30.318	30.343	30.495	30.469	31.103	31.001	31.001	30.95
525	12:30:44	30.117	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.95
526	12:30:45	30.117	30.293	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.95
527	12:30:46	30.142	30.318	30.343	30.495	30.469	31.103	31.001	31.001	30.95
528	12:30:47	30.117	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.95
529	12:30:48	30.117	30.293	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.95
530	12:30:49	30.142	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.95
531	12:30:50	30.142	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.95
532	12:30:51	30.142	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.95
533	12:30:52	30.142	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.95
534	12:30:53	30.142	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.95
535	12:30:54	30.142	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.976
536	12:30:55	30.142	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.026	31.001	30.976
537	12:30:56	30.142	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.976
538	12:30:57	30.142	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.026	31.001	30.95



539	12:30:58	30.117	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.026	31.026	30.976
540	12:30:59	30.117	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.001	31.001	30.976
541	12:31:00	30.117	30.318	30.343	30.495	30.495	31.103	31.026	31.026	30.976



ANEXO Tabla E. Base de datos de Humedad Relativa para la calibración de MeVA (Apartado 4.6.2)

	Clave equipo	9910 013	2015 751	2015 743	2015 750	2015 742	2015 749	9910 012	9910 016	1300 807
	Numero datos	541	541	541	541	541	541	541	541	541
	Promedio	73.841	72.065	72.598	73.152	72.351	71.715	73.863	72.567	71.113
	σ	0.182	0.264	0.326	0.253	0.266	0.431	0.551	0.381	0.359
	SE		0.137	0.165	0.155	0.164	0.238	0.330	0.332	0.245
	SE U12			0.019	0.118	0.116	0.072	0.094	0.207	0.140
1	12:22:00	74.316	72.672	73.397	73.71	72.938	72.613	74.979	72.909	71.701
2	12:22:01	74.35	72.643	73.369	73.71	72.909	72.613	75.004	72.909	71.734
3	12:22:02	74.316	72.643	73.341	73.681	72.909	72.613	75.004	72.879	71.705
4	12:22:03	74.291	72.614	73.312	73.681	72.909	72.585	75.009	72.879	71.705
5	12:22:04	74.261	72.614	73.284	73.681	72.909	72.585	74.979	72.849	71.705
6	12:22:05	74.291	72.614	73.284	73.686	72.909	72.556	74.944	72.879	71.734
7	12:22:06	74.291	72.614	73.284	73.653	72.909	72.527	74.944	72.854	71.734
8	12:22:07	74.291	72.586	73.255	73.658	72.881	72.499	74.92	72.884	71.734
9	12:22:08	74.291	72.586	73.255	73.658	72.881	72.499	74.89	72.884	71.734
10	12:22:09	74.261	72.586	73.255	73.686	72.881	72.499	74.89	72.884	71.71
11	12:22:10	74.201	72.586	73.227	73.686	72.909	72.499	74.89	72.884	71.71
12	12:22:11	74.231	72.557	73.227	73.686	72.909	72.499	74.86	72.914	71.71
13	12:22:12	74.201	72.557	73.227	73.686	72.909	72.47	74.83	72.944	71.71
14	12:22:13	74.201	72.586	73.227	73.686	72.909	72.475	74.8	72.944	71.71
15	12:22:14	74.171	72.614	73.255	73.714	72.909	72.475	74.83	72.914	71.71
16	12:22:15	74.261	72.614	73.255	73.714	72.909	72.475	74.8	72.914	71.71
17	12:22:16	74.261	72.586	73.255	73.686	72.909	72.475	74.8	72.884	71.681
18	12:22:17	74.261	72.586	73.227	73.686	72.914	72.475	74.83	72.914	71.681
19	12:22:18	74.261	72.586	73.227	73.686	72.914	72.503	74.83	72.914	71.681
20	12:22:19	74.261	72.557	73.232	73.686	72.914	72.532	74.92	72.944	71.686
21	12:22:20	74.231	72.586	73.232	73.658	72.914	72.532	75.009	72.914	71.657
22	12:22:21	74.261	72.586	73.232	73.658	72.885	72.532	75.069	72.914	71.657
23	12:22:22	74.231	72.591	73.227	73.658	72.885	72.532	75.128	72.914	71.657
24	12:22:23	74.201	72.586	73.232	73.658	72.885	72.561	75.163	72.919	71.657
25	12:22:24	74.201	72.591	73.232	73.662	72.857	72.565	75.158	72.889	71.657
26	12:22:25	74.201	72.591	73.232	73.662	72.857	72.565	75.163	72.919	71.628
27	12:22:26	74.196	72.562	73.203	73.634	72.828	72.537	75.133	72.919	71.628
28	12:22:27	74.196	72.562	73.203	73.634	72.828	72.565	75.103	72.919	71.628
29	12:22:28	74.166	72.562	73.203	73.634	72.828	72.537	75.073	72.919	71.628
30	12:22:29	74.166	72.533	73.175	73.606	72.8	72.508	75.014	72.919	71.628
31	12:22:30	74.196	72.505	73.146	73.606	72.8	72.451	74.979	72.889	71.604
32	12:22:31	74.196	72.505	73.146	73.606	72.8	72.451	74.924	72.859	71.575
33	12:22:32	74.196	72.476	73.118	73.606	72.804	72.451	74.895	72.829	71.604
34	12:22:33	74.166	72.476	73.151	73.606	72.804	72.394	74.865	72.829	71.604
35	12:22:34	74.196	72.505	73.151	73.606	72.804	72.336	74.835	72.829	71.604
36	12:22:35	74.166	72.505	73.151	73.577	72.804	72.308	74.775	72.799	71.604
37	12:22:36	74.137	72.505	73.151	73.577	72.776	72.308	74.716	72.799	71.575
38	12:22:37	74.196	72.505	73.151	73.577	72.776	72.336	74.686	72.769	71.575
39	12:22:38	74.196	72.505	73.151	73.549	72.776	72.336	74.656	72.743	71.546
40	12:22:39	74.196	72.476	73.151	73.549	72.776	72.336	74.656	72.713	71.546
41	12:22:40	74.226	72.476	73.151	73.549	72.747	72.341	74.656	72.713	71.546
42	12:22:41	74.226	72.476	73.123	73.549	72.747	72.37	74.656	72.743	71.546



43	12:22:42	74.196	72.476	73.123	73.521	72.747	72.37	74.656	72.743	71.518
44	12:22:43	74.256	72.448	73.123	73.521	72.747	72.37	74.626	72.773	71.518
45	12:22:44	74.226	72.448	73.123	73.521	72.747	72.365	74.626	72.713	71.518
46	12:22:45	74.226	72.448	73.094	73.525	72.747	72.37	74.596	72.773	71.522
47	12:22:46	74.196	72.448	73.094	73.525	72.719	72.37	74.567	72.743	71.522
48	12:22:47	74.231	72.448	73.094	73.492	72.719	72.37	74.567	72.713	71.493
49	12:22:48	74.201	72.481	73.123	73.497	72.719	72.341	74.507	72.743	71.493
50	12:22:49	74.201	72.481	73.123	73.525	72.719	72.341	74.537	72.713	71.465
51	12:22:50	74.171	72.476	73.123	73.497	72.719	72.341	74.477	72.713	71.465
52	12:22:51	74.171	72.481	73.123	73.497	72.719	72.341	74.477	72.713	71.436
53	12:22:52	74.141	72.476	73.123	73.497	72.719	72.341	74.447	72.713	71.436
54	12:22:53	74.141	72.481	73.123	73.497	72.69	72.312	74.447	72.683	71.436
55	12:22:54	74.141	72.481	73.127	73.497	72.695	72.312	74.417	72.683	71.436
56	12:22:55	74.141	72.51	73.123	73.497	72.695	72.284	74.447	72.653	71.44
57	12:22:56	74.141	72.481	73.123	73.497	72.695	72.312	74.417	72.688	71.412
58	12:22:57	74.116	72.51	73.127	73.468	72.695	72.312	74.417	72.628	71.412
59	12:22:58	74.116	72.51	73.156	73.468	72.695	72.284	74.417	72.653	71.412
60	12:22:59	74.116	72.538	73.156	73.468	72.695	72.284	74.447	72.593	71.412
61	12:23:00	74.112	72.538	73.156	73.468	72.695	72.284	74.417	72.598	71.383
62	12:23:01	74.112	72.538	73.156	73.473	72.666	72.312	74.417	72.598	71.383
63	12:23:02	74.141	72.538	73.156	73.468	72.666	72.284	74.447	72.598	71.383
64	12:23:03	74.141	72.538	73.156	73.473	72.666	72.284	74.447	72.568	71.383
65	12:23:04	74.116	72.538	73.156	73.473	72.666	72.284	74.447	72.568	71.383
66	12:23:05	74.116	72.538	73.127	73.473	72.666	72.288	74.447	72.568	71.383
67	12:23:06	74.087	72.51	73.127	73.473	72.666	72.288	74.477	72.538	71.383
68	12:23:07	74.087	72.51	73.156	73.473	72.666	72.288	74.477	72.568	71.383
69	12:23:08	74.082	72.538	73.156	73.473	72.671	72.288	74.482	72.538	71.387
70	12:23:09	74.052	72.51	73.127	73.473	72.671	72.288	74.512	72.538	71.387
71	12:23:10	74.087	72.51	73.127	73.473	72.671	72.288	74.482	72.568	71.445
72	12:23:11	74.087	72.51	73.099	73.445	72.671	72.288	74.482	72.688	71.503
73	12:23:12	74.082	72.486	73.071	73.445	72.643	72.288	74.482	72.838	71.647
74	12:23:13	74.057	72.481	73.075	73.445	72.643	72.288	74.482	72.989	71.791
75	12:23:14	74.052	72.452	73.075	73.445	72.643	72.288	74.512	73.169	71.848
76	12:23:15	74.027	72.424	73.047	73.445	72.643	72.288	74.542	73.319	71.819
77	12:23:16	74.022	72.424	73.042	73.445	72.643	72.293	74.542	73.379	71.819
78	12:23:17	73.997	72.428	73.047	73.473	72.643	72.293	74.542	73.413	71.791
79	12:23:18	74.052	72.428	73.047	73.445	72.643	72.264	74.542	73.473	71.795
80	12:23:19	74.022	72.4	73.018	73.445	72.643	72.293	74.512	73.533	71.766
81	12:23:20	74.027	72.4	73.018	73.445	72.643	72.264	74.542	73.563	71.738
82	12:23:21	74.057	72.4	73.018	73.445	72.643	72.264	74.542	73.503	71.709
83	12:23:22	74.027	72.428	73.047	73.45	72.643	72.264	74.542	73.503	71.68
84	12:23:23	74.027	72.428	73.047	73.445	72.643	72.264	74.512	73.413	71.68
85	12:23:24	74.027	72.428	73.047	73.416	72.643	72.264	74.512	73.353	71.651
86	12:23:25	73.997	72.428	73.047	73.445	72.643	72.264	74.512	73.263	71.594
87	12:23:26	73.997	72.428	73.047	73.416	72.643	72.264	74.487	73.113	71.507
88	12:23:27	73.997	72.428	73.018	73.421	72.643	72.236	74.487	73.023	71.45
89	12:23:28	73.997	72.4	73.018	73.421	72.643	72.24	74.487	72.933	71.392
90	12:23:29	73.992	72.4	72.99	73.421	72.643	72.236	74.517	72.843	71.363
91	12:23:30	74.027	72.4	72.99	73.421	72.614	72.236	74.487	72.783	71.363
92	12:23:31	73.997	72.4	72.99	73.421	72.614	72.236	74.457	72.753	71.363
93	12:23:32	74.027	72.4	72.99	73.421	72.614	72.24	74.487	72.723	71.363
94	12:23:33	74.027	72.371	72.99	73.393	72.619	72.236	74.457	72.693	71.363
95	12:23:34	74.027	72.371	72.961	73.393	72.619	72.24	74.487	72.723	71.421
96	12:23:35	74.027	72.371	72.961	73.421	72.619	72.212	74.487	72.723	71.478
97	12:23:36	73.997	72.343	72.961	73.393	72.619	72.212	74.457	72.723	71.478



98	12:23:37	74.027	72.343	72.961	73.393	72.59	72.212	74.457	72.753	71.478
99	12:23:38	74.027	72.371	72.961	73.393	72.59	72.183	74.457	72.753	71.507
100	12:23:39	73.967	72.371	72.99	73.393	72.59	72.154	74.427	72.813	71.507
101	12:23:40	73.997	72.4	73.023	73.393	72.59	72.154	74.427	72.873	71.512
102	12:23:41	73.967	72.428	73.047	73.364	72.59	72.154	74.397	72.873	71.512
103	12:23:42	73.967	72.428	73.047	73.369	72.562	72.154	74.397	72.843	71.483
104	12:23:43	73.997	72.428	73.023	73.364	72.562	72.154	74.397	72.813	71.483
105	12:23:44	73.937	72.4	73.023	73.364	72.562	72.154	74.397	72.843	71.454
106	12:23:45	73.967	72.371	72.99	73.364	72.562	72.154	74.372	72.783	71.425
107	12:23:46	73.937	72.371	72.966	73.341	72.562	72.159	74.337	72.753	71.397
108	12:23:47	73.937	72.371	72.966	73.341	72.562	72.154	74.342	72.723	71.368
109	12:23:48	73.967	72.376	72.966	73.341	72.562	72.125	74.337	72.663	71.339
110	12:23:49	73.937	72.347	72.966	73.341	72.533	72.13	74.342	72.633	71.339
111	12:23:50	73.937	72.347	72.966	73.341	72.533	72.159	74.342	72.633	71.31
112	12:23:51	73.907	72.347	72.938	73.341	72.533	72.13	74.372	72.573	71.31
113	12:23:52	73.907	72.319	72.909	73.312	72.533	72.13	74.372	72.547	71.31
114	12:23:53	73.937	72.285	72.881	73.312	72.538	72.13	74.372	72.577	71.31
115	12:23:54	73.937	72.261	72.881	73.312	72.538	72.13	74.372	72.573	71.286
116	12:23:55	73.967	72.261	72.852	73.312	72.538	72.13	74.372	72.542	71.315
117	12:23:56	73.937	72.261	72.852	73.312	72.538	72.159	74.342	72.547	71.315
118	12:23:57	73.967	72.261	72.824	73.312	72.509	72.159	74.372	72.607	71.459
119	12:23:58	73.937	72.261	72.852	73.284	72.509	72.159	74.372	72.818	71.747
120	12:23:59	73.967	72.204	72.795	73.312	72.509	72.159	74.372	73.058	71.92
121	12:24:00	73.967	72.147	72.738	73.312	72.509	72.13	74.342	73.238	71.948
122	12:24:01	73.972	72.118	72.709	73.284	72.509	72.13	74.347	73.358	71.948
123	12:24:02	73.967	72.147	72.743	73.284	72.509	72.13	74.342	73.478	71.92
124	12:24:03	73.967	72.147	72.743	73.284	72.509	72.101	74.372	73.508	71.92
125	12:24:04	73.967	72.118	72.709	73.284	72.48	72.106	74.342	73.568	71.862
126	12:24:05	73.997	72.09	72.686	73.284	72.48	72.101	74.317	73.568	71.805
127	12:24:06	73.997	72.09	72.657	73.284	72.48	72.101	74.317	73.538	71.752
128	12:24:07	74.027	72.061	72.657	73.284	72.48	72.101	74.312	73.478	71.723
129	12:24:08	74.002	72.09	72.657	73.284	72.48	72.106	74.287	73.418	71.665
130	12:24:09	74.027	72.09	72.686	73.284	72.48	72.106	74.287	73.388	71.665
131	12:24:10	74.002	72.09	72.714	73.284	72.48	72.106	74.287	73.358	71.608
132	12:24:11	74.032	72.09	72.714	73.255	72.48	72.106	74.287	73.298	71.579
133	12:24:12	74.002	72.118	72.714	73.255	72.48	72.077	74.258	73.178	71.55
134	12:24:13	74.032	72.147	72.743	73.255	72.485	72.049	74.258	73.058	71.492
135	12:24:14	74.027	72.147	72.743	73.26	72.452	72.049	74.287	72.938	71.463
136	12:24:15	74.027	72.176	72.743	73.26	72.452	72.02	74.258	72.878	71.435
137	12:24:16	73.997	72.204	72.771	73.26	72.452	72.049	74.258	72.818	71.406
138	12:24:17	73.997	72.204	72.771	73.26	72.457	72.049	74.258	72.758	71.406
139	12:24:18	74.032	72.204	72.8	73.227	72.457	72.049	74.258	72.728	71.406
140	12:24:19	74.002	72.209	72.771	73.232	72.457	72.077	74.292	72.788	71.435
141	12:24:20	74.002	72.209	72.771	73.232	72.457	72.077	74.262	72.788	71.463
142	12:24:21	74.002	72.176	72.771	73.232	72.485	72.077	74.287	72.818	71.463
143	12:24:22	73.972	72.176	72.771	73.232	72.485	72.077	74.287	72.848	71.463
144	12:24:23	73.972	72.176	72.771	73.232	72.485	72.077	74.258	72.848	71.435
145	12:24:24	73.972	72.204	72.771	73.232	72.485	72.053	74.262	72.878	71.439
146	12:24:25	73.972	72.204	72.771	73.232	72.485	72.053	74.262	72.908	71.439
147	12:24:26	73.942	72.209	72.8	73.232	72.485	72.053	74.262	72.913	71.41
148	12:24:27	73.972	72.209	72.8	73.26	72.485	72.053	74.232	72.908	71.41
149	12:24:28	73.972	72.238	72.8	73.26	72.485	72.024	74.232	72.883	71.41
150	12:24:29	73.942	72.238	72.828	73.26	72.485	72.053	74.262	72.878	71.382
151	12:24:30	73.912	72.266	72.828	73.26	72.485	72.053	74.232	72.853	71.382
152	12:24:31	73.882	72.266	72.828	73.26	72.485	72.053	74.232	72.823	71.353



153	12:24:32	73.882	72.238	72.8	73.26	72.485	72.024	74.232	72.818	71.353
154	12:24:33	73.882	72.261	72.828	73.26	72.485	72.024	74.203	72.853	71.353
155	12:24:34	73.882	72.266	72.828	73.26	72.485	72.024	74.232	72.818	71.353
156	12:24:35	73.882	72.238	72.8	73.232	72.485	72.024	74.232	72.853	71.324
157	12:24:36	73.912	72.209	72.771	73.232	72.485	72.024	74.232	72.823	71.324
158	12:24:37	73.912	72.209	72.771	73.232	72.457	71.996	74.203	72.823	71.324
159	12:24:38	73.882	72.209	72.771	73.232	72.457	71.996	74.203	72.762	71.295
160	12:24:39	73.882	72.209	72.776	73.232	72.461	71.996	74.207	72.702	71.295
161	12:24:40	73.852	72.18	72.747	73.236	72.461	71.996	74.207	72.672	71.295
162	12:24:41	73.852	72.18	72.747	73.236	72.461	71.972	74.173	72.642	71.295
163	12:24:42	73.852	72.152	72.719	73.236	72.461	71.972	74.207	72.612	71.266
164	12:24:43	73.823	72.152	72.719	73.236	72.461	71.972	74.207	72.612	71.271
165	12:24:44	73.793	72.094	72.662	73.236	72.461	71.972	74.178	72.612	71.237
166	12:24:45	73.823	72.066	72.633	73.208	72.433	71.943	74.178	72.582	71.237
167	12:24:46	73.823	72.066	72.633	73.236	72.433	71.943	74.178	72.582	71.242
168	12:24:47	73.793	72.066	72.633	73.208	72.433	71.943	74.178	72.582	71.237
169	12:24:48	73.763	72.066	72.633	73.208	72.433	71.943	74.148	72.612	71.242
170	12:24:49	73.763	72.066	72.633	73.208	72.433	71.943	74.148	72.612	71.242
171	12:24:50	73.793	72.094	72.633	73.208	72.433	71.943	74.148	72.642	71.242
172	12:24:51	73.823	72.123	72.662	73.208	72.433	71.943	74.148	72.672	71.3
173	12:24:52	73.793	72.123	72.662	73.208	72.433	71.943	74.118	72.762	71.386
174	12:24:53	73.793	72.094	72.662	73.208	72.433	71.943	74.118	72.823	71.415
175	12:24:54	73.793	72.094	72.662	73.208	72.404	71.943	74.118	72.853	71.415
176	12:24:55	73.823	72.123	72.662	73.179	72.404	71.943	74.118	72.883	71.386
177	12:24:56	73.852	72.152	72.69	73.179	72.404	71.943	74.118	72.853	71.386
178	12:24:57	73.882	72.18	72.719	73.208	72.404	71.943	74.118	72.853	71.357
179	12:24:58	73.882	72.18	72.747	73.179	72.404	71.948	74.123	72.853	71.328
180	12:24:59	73.882	72.209	72.747	73.179	72.404	71.919	74.088	72.823	71.3
181	12:25:00	73.882	72.209	72.747	73.179	72.404	71.919	74.093	72.793	71.3
182	12:25:01	73.882	72.209	72.747	73.179	72.404	71.919	74.093	72.797	71.304
183	12:25:02	73.882	72.209	72.747	73.179	72.404	71.919	74.088	72.793	71.3
184	12:25:03	73.882	72.209	72.752	73.179	72.404	71.919	74.093	72.793	71.275
185	12:25:04	73.912	72.209	72.752	73.179	72.375	71.919	74.063	72.793	71.275
186	12:25:05	73.912	72.209	72.752	73.179	72.375	71.919	74.093	72.732	71.246
187	12:25:06	73.882	72.209	72.752	73.179	72.375	71.919	74.093	72.737	71.217
188	12:25:07	73.887	72.209	72.752	73.179	72.375	71.89	74.093	72.707	71.16
189	12:25:08	73.887	72.209	72.752	73.179	72.375	71.89	74.063	72.647	71.131
190	12:25:09	73.882	72.18	72.752	73.179	72.375	71.89	74.063	72.617	71.131
191	12:25:10	73.912	72.209	72.752	73.184	72.38	71.89	74.033	72.587	71.131
192	12:25:11	73.882	72.209	72.752	73.184	72.375	71.89	74.063	72.587	71.131
193	12:25:12	73.882	72.18	72.752	73.184	72.38	71.89	74.063	72.557	71.131
194	12:25:13	73.917	72.18	72.752	73.184	72.38	71.89	74.033	72.557	71.131
195	12:25:14	73.917	72.18	72.724	73.184	72.38	71.861	74.068	72.527	71.102
196	12:25:15	73.887	72.152	72.695	73.184	72.38	71.861	74.063	72.527	71.102
197	12:25:16	73.917	72.123	72.666	73.184	72.38	71.861	74.033	72.496	71.102
198	12:25:17	73.917	72.123	72.638	73.184	72.38	71.837	74.038	72.557	71.131
199	12:25:18	73.857	72.123	72.638	73.184	72.38	71.832	74.038	72.557	71.131
200	12:25:19	73.827	72.128	72.666	73.184	72.38	71.837	74.008	72.617	71.131
201	12:25:20	73.798	72.123	72.666	73.184	72.38	71.832	74.038	72.647	71.16
202	12:25:21	73.798	72.128	72.666	73.184	72.38	71.837	74.008	72.677	71.16
203	12:25:22	73.768	72.128	72.666	73.184	72.38	71.837	73.978	72.677	71.16
204	12:25:23	73.738	72.128	72.666	73.184	72.38	71.837	74.008	72.677	71.189
205	12:25:24	73.708	72.128	72.666	73.184	72.38	71.837	74.008	72.677	71.189
206	12:25:25	73.738	72.128	72.666	73.184	72.38	71.808	74.008	72.617	71.164
207	12:25:26	73.708	72.128	72.666	73.184	72.38	71.808	74.008	72.587	71.16



208	12:25:27	73.708	72.128	72.666	73.184	72.38	71.808	74.038	72.587	71.16
209	12:25:28	73.738	72.128	72.638	73.184	72.38	71.779	73.978	72.557	71.164
210	12:25:29	73.738	72.099	72.638	73.189	72.38	71.779	73.978	72.557	71.135
211	12:25:30	73.708	72.099	72.638	73.184	72.38	71.779	73.978	72.557	71.135
212	12:25:31	73.708	72.099	72.638	73.184	72.38	71.779	73.978	72.527	71.135
213	12:25:32	73.738	72.128	72.666	73.184	72.385	71.779	73.978	72.557	71.135
214	12:25:33	73.738	72.128	72.666	73.189	72.385	71.779	73.948	72.557	71.135
215	12:25:34	73.708	72.128	72.638	73.184	72.385	71.779	73.978	72.496	71.106
216	12:25:35	73.678	72.099	72.638	73.189	72.385	71.784	73.948	72.531	71.106
217	12:25:36	73.713	72.099	72.638	73.16	72.38	71.755	73.948	72.527	71.106
218	12:25:37	73.708	72.128	72.638	73.16	72.356	71.755	73.918	72.557	71.135
219	12:25:38	73.708	72.128	72.638	73.16	72.356	71.755	73.923	72.617	71.222
220	12:25:39	73.738	72.128	72.671	73.16	72.356	71.784	73.918	72.677	71.222
221	12:25:40	73.738	72.128	72.638	73.16	72.356	71.784	73.923	72.737	71.222
222	12:25:41	73.768	72.128	72.643	73.132	72.356	71.755	73.923	72.737	71.193
223	12:25:42	73.768	72.128	72.643	73.132	72.356	71.755	73.893	72.767	71.222
224	12:25:43	73.768	72.099	72.643	73.132	72.356	71.755	73.923	72.767	71.251
225	12:25:44	73.798	72.099	72.643	73.16	72.327	71.755	73.923	72.797	71.28
226	12:25:45	73.798	72.104	72.643	73.132	72.356	71.755	73.893	72.797	71.342
227	12:25:46	73.827	72.104	72.643	73.16	72.327	71.755	73.893	72.857	71.338
228	12:25:47	73.827	72.099	72.643	73.132	72.327	71.755	73.893	72.887	71.338
229	12:25:48	73.827	72.104	72.643	73.132	72.327	71.727	73.863	72.917	71.313
230	12:25:49	73.798	72.104	72.643	73.132	72.327	71.727	73.893	72.917	71.313
231	12:25:50	73.798	72.075	72.614	73.132	72.327	71.727	73.893	72.917	71.313
232	12:25:51	73.768	72.075	72.614	73.132	72.327	71.727	73.893	72.917	71.256
233	12:25:52	73.768	72.075	72.614	73.132	72.327	71.727	73.893	72.917	71.256
234	12:25:53	73.768	72.075	72.614	73.132	72.327	71.727	73.893	72.917	71.227
235	12:25:54	73.772	72.075	72.614	73.132	72.327	71.727	73.893	72.887	71.227
236	12:25:55	73.738	72.075	72.614	73.132	72.327	71.727	73.893	72.917	71.227
237	12:25:56	73.713	72.075	72.585	73.132	72.327	71.731	73.893	72.917	71.198
238	12:25:57	73.713	72.046	72.585	73.132	72.327	71.702	73.868	72.917	71.169
239	12:25:58	73.683	72.046	72.557	73.132	72.327	71.702	73.898	72.887	71.169
240	12:25:59	73.683	72.046	72.557	73.132	72.327	71.702	73.868	72.887	71.14
241	12:26:00	73.653	72.046	72.557	73.103	72.327	71.702	73.893	72.857	71.14
242	12:26:01	73.653	72.018	72.557	73.132	72.327	71.702	73.868	72.827	71.14
243	12:26:02	73.683	72.046	72.562	73.132	72.327	71.702	73.868	72.827	71.14
244	12:26:03	73.683	72.046	72.562	73.132	72.332	71.702	73.868	72.797	71.14
245	12:26:04	73.683	72.046	72.59	73.132	72.332	71.702	73.868	72.797	71.111
246	12:26:05	73.683	72.046	72.59	73.132	72.303	71.702	73.868	72.797	71.111
247	12:26:06	73.683	72.046	72.59	73.103	72.332	71.702	73.898	72.797	71.111
248	12:26:07	73.713	72.046	72.59	73.132	72.475	71.702	73.868	72.802	71.082
249	12:26:08	73.683	72.046	72.59	73.217	72.618	71.702	73.898	72.767	71.111
250	12:26:09	73.713	72.046	72.59	73.274	72.647	71.702	73.898	72.802	71.111
251	12:26:10	73.768	72.075	72.59	73.251	72.618	71.702	73.898	72.802	71.111
252	12:26:11	73.768	72.075	72.59	73.217	72.618	71.702	73.898	72.802	71.111
253	12:26:12	73.772	72.075	72.59	73.274	72.647	71.702	73.898	72.802	71.111
254	12:26:13	73.738	72.075	72.59	73.393	72.675	71.702	73.898	72.802	71.082
255	12:26:14	73.713	72.075	72.59	73.421	72.675	71.707	73.898	72.772	71.082
256	12:26:15	73.713	72.075	72.59	73.421	72.675	71.707	73.898	72.742	71.082
257	12:26:16	73.708	72.046	72.59	73.393	72.647	71.707	73.868	72.742	71.082
258	12:26:17	73.708	72.046	72.59	73.364	72.618	71.707	73.868	72.772	71.082
259	12:26:18	73.743	72.046	72.59	73.336	72.561	71.707	73.868	72.742	71.087
260	12:26:19	73.802	72.046	72.59	73.279	72.532	71.707	73.868	72.712	71.087
261	12:26:20	73.862	72.046	72.562	73.251	72.504	71.707	73.898	72.712	71.087
262	12:26:21	73.892	72.046	72.562	73.251	72.447	71.707	73.873	72.712	71.087



263	12:26:22	73.892	72.046	72.562	73.222	72.447	71.707	73.903	72.712	71.087
264	12:26:23	73.922	72.046	72.562	73.222	72.418	71.707	73.873	72.712	71.116
265	12:26:24	73.952	72.046	72.562	73.222	72.418	71.707	73.873	72.742	71.087
266	12:26:25	73.982	72.051	72.562	73.222	72.418	71.678	73.843	72.742	71.058
267	12:26:26	73.957	72.046	72.533	73.222	72.418	71.678	73.873	72.712	71.058
268	12:26:27	73.952	72.022	72.533	73.222	72.389	71.678	73.873	72.712	71.029
269	12:26:28	73.922	72.022	72.533	73.222	72.394	71.678	73.843	72.682	71
270	12:26:29	73.922	72.018	72.562	73.194	72.389	71.678	73.843	72.656	70.971
271	12:26:30	73.892	72.018	72.562	73.194	72.389	71.678	73.813	72.592	70.942
272	12:26:31	73.892	72.022	72.533	73.194	72.361	71.654	73.843	72.531	70.913
273	12:26:32	73.892	72.018	72.533	73.194	72.365	71.678	73.813	72.506	70.884
274	12:26:33	73.862	72.022	72.533	73.198	72.365	71.678	73.843	72.471	70.884
275	12:26:34	73.862	72.022	72.533	73.198	72.394	71.649	73.843	72.411	70.884
276	12:26:35	73.832	72.022	72.533	73.227	72.394	71.654	73.843	72.386	70.884
277	12:26:36	73.832	72.022	72.533	73.227	72.394	71.654	73.813	72.386	70.889
278	12:26:37	73.837	72.022	72.533	73.198	72.394	71.654	73.813	72.325	70.889
279	12:26:38	73.832	72.022	72.533	73.198	72.394	71.654	73.783	72.325	70.889
280	12:26:39	73.807	72.022	72.538	73.17	72.365	71.625	73.783	72.325	70.884
281	12:26:40	73.862	71.993	72.538	73.141	72.365	71.625	73.783	72.325	70.918
282	12:26:41	73.802	72.022	72.509	73.141	72.337	71.625	73.783	72.355	70.947
283	12:26:42	73.802	72.022	72.509	73.113	72.337	71.625	73.788	72.386	70.975
284	12:26:43	73.743	72.022	72.509	73.113	72.337	71.625	73.783	72.416	70.975
285	12:26:44	73.683	72.022	72.509	73.084	72.308	71.625	73.783	72.446	71.004
286	12:26:45	73.653	72.022	72.509	73.084	72.308	71.625	73.788	72.506	71.033
287	12:26:46	73.653	71.993	72.509	73.084	72.308	71.625	73.758	72.536	71.062
288	12:26:47	73.623	71.965	72.48	73.084	72.308	71.625	73.758	72.626	71.091
289	12:26:48	73.593	71.965	72.509	73.084	72.279	71.625	73.758	72.626	71.12
290	12:26:49	73.593	71.993	72.538	73.084	72.279	71.625	73.758	72.626	71.091
291	12:26:50	73.593	72.022	72.538	73.056	72.279	71.625	73.758	72.656	71.062
292	12:26:51	73.593	72.022	72.538	73.084	72.279	71.625	73.758	72.656	71.033
293	12:26:52	73.593	71.993	72.509	73.084	72.308	71.625	73.758	72.626	71.033
294	12:26:53	73.623	72.022	72.509	73.056	72.279	71.625	73.758	72.596	71.004
295	12:26:54	73.683	72.022	72.509	73.056	72.279	71.63	73.758	72.566	70.975
296	12:26:55	73.743	72.022	72.538	73.056	72.279	71.63	73.728	72.596	71.004
297	12:26:56	73.802	72.022	72.538	73.056	72.279	71.63	73.758	72.566	71.004
298	12:26:57	73.802	72.022	72.509	73.056	72.279	71.601	73.728	72.566	70.975
299	12:26:58	73.802	72.022	72.538	73.056	72.251	71.601	73.728	72.536	70.975
300	12:26:59	73.802	72.022	72.509	73.056	72.251	71.601	73.698	72.536	70.975
301	12:27:00	73.832	71.993	72.509	73.056	72.251	71.601	73.668	72.536	70.975
302	12:27:01	73.802	71.998	72.485	73.056	72.251	71.572	73.673	72.481	70.975
303	12:27:02	73.832	71.998	72.48	73.056	72.251	71.572	73.638	72.506	71.004
304	12:27:03	73.802	71.969	72.485	73.056	72.251	71.572	73.643	72.506	70.98
305	12:27:04	73.802	71.998	72.485	73.056	72.251	71.543	73.643	72.511	71.009
306	12:27:05	73.802	71.998	72.514	73.056	72.251	71.572	73.613	72.511	71.009
307	12:27:06	73.802	72.027	72.542	73.027	72.251	71.572	73.613	72.541	71.004
308	12:27:07	73.802	72.055	72.542	73.061	72.251	71.572	73.643	72.511	71.009
309	12:27:08	73.802	72.055	72.571	73.027	72.251	71.572	73.643	72.541	70.98
310	12:27:09	73.743	72.055	72.542	73.027	72.222	71.572	73.673	72.511	70.975
311	12:27:10	73.772	72.055	72.542	73.032	72.222	71.572	73.673	72.511	70.98
312	12:27:11	73.772	72.055	72.542	73.032	72.222	71.577	73.643	72.511	70.98
313	12:27:12	73.743	72.055	72.542	73.027	72.222	71.577	73.673	72.481	70.951
314	12:27:13	73.743	72.055	72.542	73.032	72.227	71.577	73.643	72.511	70.951
315	12:27:14	73.743	72.055	72.571	73.032	72.227	71.577	73.673	72.481	70.951
316	12:27:15	73.743	72.055	72.571	73.004	72.227	71.577	73.673	72.481	70.951
317	12:27:16	73.743	72.084	72.6	73.032	72.227	71.577	73.643	72.451	70.951



318	12:27:17	73.743	72.084	72.6	73.004	72.198	71.577	73.643	72.451	70.951
319	12:27:18	73.713	72.113	72.628	72.975	72.198	71.577	73.643	72.42	70.922
320	12:27:19	73.683	72.113	72.628	73.004	72.198	71.548	73.673	72.39	70.922
321	12:27:20	73.653	72.113	72.628	73.004	72.198	71.577	73.647	72.33	70.922
322	12:27:21	73.683	72.113	72.6	72.975	72.198	71.548	73.647	72.3	70.864
323	12:27:22	73.653	72.084	72.6	73.004	72.198	71.548	73.647	72.24	70.864
324	12:27:23	73.653	72.055	72.571	72.975	72.198	71.519	73.647	72.21	70.864
325	12:27:24	73.623	72.027	72.542	72.975	72.198	71.548	73.647	72.179	70.864
326	12:27:25	73.623	72.027	72.514	72.975	72.198	71.519	73.647	72.179	70.864
327	12:27:26	73.623	71.998	72.485	72.975	72.198	71.519	73.617	72.21	70.864
328	12:27:27	73.623	71.941	72.457	72.975	72.169	71.519	73.617	72.21	70.864
329	12:27:28	73.593	71.912	72.399	72.975	72.169	71.519	73.587	72.21	70.869
330	12:27:29	73.593	71.883	72.399	72.975	72.169	71.49	73.587	72.24	70.864
331	12:27:30	73.598	71.883	72.399	72.975	72.169	71.466	73.557	72.33	70.985
332	12:27:31	73.628	71.883	72.371	72.975	72.169	71.461	73.527	72.511	71.216
333	12:27:32	73.628	71.883	72.399	72.975	72.169	71.466	73.557	72.721	71.303
334	12:27:33	73.623	71.883	72.371	72.975	72.169	71.466	73.527	72.842	71.332
335	12:27:34	73.628	71.855	72.371	72.975	72.169	71.495	73.527	72.932	71.361
336	12:27:35	73.628	71.855	72.342	72.975	72.169	71.495	73.527	73.022	71.418
337	12:27:36	73.747	71.855	72.342	73.061	72.284	71.495	73.497	73.082	71.476
338	12:27:37	73.837	71.83	72.342	73.175	72.375	71.495	73.497	73.172	71.476
339	12:27:38	73.837	71.826	72.342	73.232	72.432	71.495	73.502	73.172	71.39
340	12:27:39	73.837	71.855	72.375	73.26	72.518	71.495	73.502	73.112	71.39
341	12:27:40	73.807	71.883	72.375	73.322	72.575	71.495	73.532	73.112	71.332
342	12:27:41	73.777	71.883	72.371	73.236	72.518	71.495	73.502	73.082	71.303
343	12:27:42	73.777	71.888	72.375	73.208	72.489	71.466	73.532	73.052	71.303
344	12:27:43	73.747	71.888	72.347	73.236	72.518	71.466	73.562	73.082	71.274
345	12:27:44	73.717	71.859	72.347	73.236	72.518	71.495	73.532	73.082	71.274
346	12:27:45	73.688	71.855	72.347	73.208	72.547	71.466	73.532	73.052	71.216
347	12:27:46	73.688	71.83	72.347	73.208	72.547	71.466	73.532	72.962	71.187
348	12:27:47	73.688	71.83	72.318	73.236	72.518	71.437	73.562	72.902	71.158
349	12:27:48	73.688	71.83	72.318	73.265	72.518	71.437	73.532	72.812	71.129
350	12:27:49	73.688	71.83	72.318	73.265	72.518	71.466	73.532	72.781	71.072
351	12:27:50	73.688	71.83	72.318	73.293	72.489	71.466	73.592	72.756	71.043
352	12:27:51	73.688	71.83	72.318	73.293	72.489	71.499	73.622	72.691	71.014
353	12:27:52	73.658	71.83	72.318	73.322	72.461	71.495	73.682	72.661	70.985
354	12:27:53	73.628	71.802	72.289	73.322	72.432	71.499	73.712	72.631	70.956
355	12:27:54	73.628	71.802	72.289	73.293	72.432	71.499	73.742	72.606	70.927
356	12:27:55	73.628	71.802	72.261	73.293	72.403	71.528	73.772	72.546	70.927
357	12:27:56	73.628	71.773	72.261	73.293	72.375	71.528	73.747	72.546	70.956
358	12:27:57	73.658	71.773	72.261	73.293	72.375	71.528	73.772	72.515	70.96
359	12:27:58	73.658	71.773	72.289	73.265	72.375	71.528	73.772	72.546	70.96
360	12:27:59	73.688	71.773	72.289	73.265	72.375	71.528	73.742	72.546	70.956
361	12:28:00	73.688	71.802	72.289	73.265	72.346	71.528	73.742	72.546	70.989
362	12:28:01	73.688	71.802	72.289	73.265	72.346	71.499	73.742	72.546	70.96
363	12:28:02	73.688	71.802	72.289	73.236	72.346	71.499	73.742	72.546	70.96
364	12:28:03	73.747	71.802	72.289	73.236	72.346	71.499	73.717	72.576	70.931
365	12:28:04	73.688	71.802	72.318	73.236	72.317	71.499	73.717	72.546	70.931
366	12:28:05	73.688	71.83	72.323	73.208	72.317	71.499	73.687	72.576	70.96
367	12:28:06	73.658	71.83	72.323	73.208	72.317	71.471	73.687	72.576	70.989
368	12:28:07	73.658	71.859	72.351	73.179	72.317	71.471	73.657	72.606	70.989
369	12:28:08	73.628	71.859	72.351	73.179	72.317	71.471	73.657	72.636	70.989
370	12:28:09	73.658	71.859	72.351	73.151	72.289	71.471	73.657	72.606	70.96
371	12:28:10	73.628	71.859	72.351	73.151	72.289	71.471	73.657	72.576	70.96
372	12:28:11	73.688	71.859	72.351	73.151	72.289	71.471	73.627	72.576	70.96



373	12:28:12	73.747	71.859	72.351	73.151	72.289	71.471	73.627	72.576	70.96
374	12:28:13	73.717	71.83	72.323	73.122	72.289	71.475	73.627	72.576	70.96
375	12:28:14	73.717	71.864	72.323	73.122	72.265	71.475	73.597	72.55	70.96
376	12:28:15	73.747	71.859	72.323	73.094	72.265	71.475	73.567	72.546	70.931
377	12:28:16	73.807	71.835	72.323	73.094	72.265	71.475	73.567	72.546	70.931
378	12:28:17	73.807	71.835	72.323	73.094	72.265	71.475	73.567	72.515	70.931
379	12:28:18	73.807	71.864	72.323	73.065	72.265	71.475	73.597	72.52	70.931
380	12:28:19	73.807	71.835	72.323	73.065	72.236	71.475	73.597	72.546	70.936
381	12:28:20	73.807	71.864	72.323	73.065	72.236	71.475	73.537	72.55	70.931
382	12:28:21	73.777	71.864	72.351	73.065	72.236	71.475	73.567	72.52	70.931
383	12:28:22	73.747	71.835	72.323	73.065	72.236	71.446	73.602	72.52	70.907
384	12:28:23	73.752	71.835	72.323	73.065	72.236	71.446	73.597	72.52	70.907
385	12:28:24	73.747	71.835	72.323	73.07	72.236	71.446	73.597	72.49	70.878
386	12:28:25	73.747	71.835	72.323	73.07	72.236	71.446	73.597	72.46	70.849
387	12:28:26	73.747	71.835	72.323	73.042	72.236	71.446	73.572	72.46	70.849
388	12:28:27	73.717	71.835	72.323	73.037	72.208	71.417	73.572	72.4	70.849
389	12:28:28	73.752	71.835	72.323	73.037	72.208	71.417	73.572	72.4	70.849
390	12:28:29	73.717	71.835	72.323	73.037	72.208	71.417	73.542	72.34	70.82
391	12:28:30	73.747	71.835	72.323	73.042	72.208	71.446	73.572	72.279	70.791
392	12:28:31	73.688	71.835	72.294	73.013	72.179	71.417	73.542	72.219	70.791
393	12:28:32	73.658	71.806	72.294	73.013	72.179	71.422	73.542	72.159	70.791
394	12:28:33	73.628	71.806	72.294	73.013	72.179	71.422	73.542	72.159	70.762
395	12:28:34	73.628	71.806	72.294	72.985	72.15	71.422	73.542	72.129	70.762
396	12:28:35	73.568	71.806	72.294	72.985	72.15	71.422	73.542	72.098	70.762
397	12:28:36	73.658	71.806	72.294	72.956	72.121	71.422	73.512	72.098	70.791
398	12:28:37	73.658	71.806	72.294	72.956	72.121	71.393	73.512	72.129	70.82
399	12:28:38	73.658	71.806	72.299	72.956	72.121	71.393	73.482	72.219	70.907
400	12:28:39	73.628	71.806	72.294	72.927	72.121	71.393	73.452	72.309	70.965
401	12:28:40	73.628	71.835	72.323	72.927	72.121	71.393	73.422	72.34	70.965
402	12:28:41	73.688	71.835	72.323	72.927	72.093	71.393	73.422	72.37	70.965
403	12:28:42	73.747	71.835	72.323	72.927	72.121	71.393	73.422	72.37	70.965
404	12:28:43	73.747	71.835	72.327	72.927	72.121	71.393	73.422	72.37	70.936
405	12:28:44	73.752	71.835	72.299	72.927	72.093	71.393	73.457	72.405	70.936
406	12:28:45	73.752	71.806	72.299	72.927	72.093	71.393	73.452	72.4	70.965
407	12:28:46	73.782	71.806	72.299	72.927	72.093	71.364	73.457	72.435	70.965
408	12:28:47	73.752	71.806	72.299	72.927	72.093	71.393	73.457	72.46	70.965
409	12:28:48	73.692	71.806	72.27	72.927	72.093	71.364	73.457	72.49	70.994
410	12:28:49	73.692	71.806	72.27	72.899	72.093	71.364	73.457	72.495	70.994
411	12:28:50	73.628	71.806	72.27	72.899	72.097	71.364	73.457	72.555	70.998
412	12:28:51	73.658	71.806	72.27	72.927	72.093	71.369	73.427	72.615	70.994
413	12:28:52	73.628	71.806	72.27	72.899	72.097	71.364	73.427	72.645	70.965
414	12:28:53	73.603	71.806	72.27	72.899	72.097	71.369	73.397	72.645	70.965
415	12:28:54	73.628	71.806	72.27	72.899	72.097	71.369	73.397	72.645	70.969
416	12:28:55	73.603	71.778	72.27	72.899	72.097	71.369	73.397	72.645	70.941
417	12:28:56	73.603	71.778	72.27	72.899	72.097	71.369	73.427	72.615	70.941
418	12:28:57	73.633	71.778	72.27	72.904	72.097	71.34	73.427	72.645	70.969
419	12:28:58	73.692	71.778	72.242	72.899	72.097	71.34	73.427	72.615	70.969
420	12:28:59	73.692	71.778	72.242	72.904	72.097	71.34	73.427	72.585	70.969
421	12:29:00	73.692	71.778	72.242	72.904	72.097	71.34	73.397	72.615	70.969
422	12:29:01	73.692	71.782	72.242	72.904	72.097	71.34	73.367	72.555	70.941
423	12:29:02	73.692	71.778	72.27	72.899	72.069	71.311	73.367	72.555	70.941
424	12:29:03	73.662	71.778	72.27	72.904	72.069	71.282	73.307	72.555	70.941
425	12:29:04	73.628	71.778	72.27	72.904	72.069	71.253	73.277	72.525	70.941
426	12:29:05	73.628	71.778	72.27	72.875	72.069	71.253	73.247	72.525	70.941
427	12:29:06	73.593	71.778	72.242	72.904	72.069	71.253	73.247	72.525	70.941



428	12:29:07	73.623	71.778	72.242	72.904	72.069	71.253	73.251	72.525	70.912
429	12:29:08	73.683	71.778	72.27	72.904	72.069	71.253	73.247	72.495	70.912
430	12:29:09	73.653	71.782	72.27	72.904	72.069	71.253	73.221	72.465	70.883
431	12:29:10	73.683	71.811	72.27	72.904	72.069	71.253	73.247	72.495	70.883
432	12:29:11	73.653	71.806	72.27	72.904	72.069	71.253	73.217	72.465	70.854
433	12:29:12	73.653	71.811	72.27	72.904	72.097	71.253	73.191	72.435	70.825
434	12:29:13	73.623	71.782	72.27	72.904	72.069	71.253	73.217	72.435	70.825
435	12:29:14	73.628	71.782	72.242	72.904	72.069	71.253	73.191	72.374	70.796
436	12:29:15	73.688	71.782	72.27	72.904	72.097	71.258	73.191	72.344	70.796
437	12:29:16	73.688	71.782	72.27	72.904	72.069	71.229	73.191	72.344	70.796
438	12:29:17	73.717	71.782	72.246	72.904	72.097	71.229	73.191	72.344	70.771
439	12:29:18	73.658	71.782	72.242	72.904	72.097	71.229	73.161	72.314	70.771
440	12:29:19	73.623	71.782	72.246	72.904	72.069	71.229	73.161	72.284	70.771
441	12:29:20	73.623	71.782	72.246	72.904	72.069	71.2	73.191	72.284	70.767
442	12:29:21	73.623	71.754	72.246	72.904	72.069	71.2	73.161	72.254	70.713
443	12:29:22	73.688	71.782	72.246	72.904	72.097	71.2	73.191	72.259	70.655
444	12:29:23	73.628	71.782	72.246	72.904	72.069	71.2	73.191	72.163	70.655
445	12:29:24	73.623	71.782	72.246	72.904	72.069	71.2	73.221	72.133	70.655
446	12:29:25	73.538	71.754	72.246	72.904	72.069	71.229	73.221	72.108	70.655
447	12:29:26	73.598	71.754	72.246	72.904	72.069	71.258	73.221	72.103	70.626
448	12:29:27	73.628	71.782	72.275	72.875	72.069	71.258	73.251	72.073	70.597
449	12:29:28	73.688	71.782	72.275	72.875	72.069	71.258	73.251	72.048	70.626
450	12:29:29	73.717	71.782	72.275	72.875	72.069	71.258	73.286	72.048	70.626
451	12:29:30	73.717	71.782	72.275	72.875	72.069	71.287	73.281	72.048	70.655
452	12:29:31	73.717	71.811	72.275	72.875	72.069	71.258	73.286	72.078	70.684
453	12:29:32	73.747	71.811	72.303	72.875	72.073	71.262	73.286	72.078	70.684
454	12:29:33	73.747	71.811	72.275	72.875	72.069	71.262	73.256	72.108	70.713
455	12:29:34	73.777	71.811	72.275	72.875	72.04	71.291	73.256	72.138	70.713
456	12:29:35	73.837	71.811	72.275	72.88	72.045	71.262	73.286	72.138	70.742
457	12:29:36	73.867	71.782	72.275	72.88	72.045	71.262	73.286	72.168	70.742
458	12:29:37	73.867	71.782	72.246	72.847	72.04	71.262	73.286	72.168	70.771
459	12:29:38	73.862	71.782	72.246	72.847	72.045	71.262	73.286	72.198	70.742
460	12:29:39	73.862	71.782	72.246	72.851	72.045	71.262	73.286	72.198	70.771
461	12:29:40	73.862	71.787	72.246	72.851	72.045	71.262	73.286	72.259	70.771
462	12:29:41	73.862	71.782	72.246	72.847	72.045	71.233	73.256	72.259	70.8
463	12:29:42	73.832	71.782	72.246	72.851	72.045	71.233	73.256	72.259	70.8
464	12:29:43	73.802	71.782	72.246	72.851	72.045	71.233	73.256	72.259	70.742
465	12:29:44	73.802	71.782	72.246	72.851	72.045	71.233	73.286	72.168	70.713
466	12:29:45	73.802	71.816	72.275	72.847	72.016	71.204	73.286	72.108	70.713
467	12:29:46	73.772	71.816	72.275	72.851	72.016	71.204	73.256	72.108	70.713
468	12:29:47	73.802	71.844	72.303	72.847	72.016	71.204	73.256	72.138	70.742
469	12:29:48	73.802	71.844	72.303	72.851	72.045	71.204	73.261	72.168	70.713
470	12:29:49	73.832	71.844	72.275	72.851	72.016	71.204	73.256	72.168	70.713
471	12:29:50	73.832	71.816	72.275	72.851	72.016	71.176	73.261	72.108	70.718
472	12:29:51	73.832	71.816	72.275	72.851	72.045	71.176	73.261	72.078	70.713
473	12:29:52	73.862	71.816	72.275	72.851	72.016	71.204	73.226	72.078	70.742
474	12:29:53	73.862	71.816	72.275	72.851	72.016	71.176	73.261	72.108	70.718
475	12:29:54	73.832	71.787	72.275	72.851	72.016	71.176	73.201	72.082	70.684
476	12:29:55	73.862	71.787	72.275	72.823	72.016	71.18	73.231	72.113	70.626
477	12:29:56	73.862	71.787	72.246	72.851	72.016	71.147	73.201	72.052	70.597
478	12:29:57	73.837	71.758	72.218	72.851	72.021	71.151	73.231	71.987	70.597
479	12:29:58	73.832	71.758	72.218	72.851	72.045	71.151	73.201	71.962	70.631
480	12:29:59	73.802	71.758	72.222	72.88	72.073	71.151	73.231	71.962	70.631
481	12:30:00	73.743	71.758	72.218	72.851	72.045	71.18	73.261	71.962	70.626
482	12:30:01	73.772	71.758	72.218	72.851	72.045	71.18	73.291	71.962	70.601



483	12:30:02	73.772	71.729	72.222	72.851	72.045	71.209	73.381	71.932	70.568
484	12:30:03	73.743	71.758	72.222	72.851	72.016	71.267	73.441	71.932	70.572
485	12:30:04	73.772	71.758	72.222	72.851	72.016	71.296	73.531	71.901	70.568
486	12:30:05	73.802	71.758	72.222	72.823	72.016	71.296	73.561	71.901	70.572
487	12:30:06	73.777	71.758	72.218	72.794	71.958	71.296	73.621	71.901	70.572
488	12:30:07	73.777	71.758	72.194	72.766	71.963	71.296	73.621	71.871	70.572
489	12:30:08	73.777	71.758	72.222	72.766	71.958	71.267	73.681	71.871	70.572
490	12:30:09	73.777	71.758	72.222	72.766	71.958	71.238	73.681	71.901	70.572
491	12:30:10	73.807	71.758	72.222	72.737	71.987	71.267	73.686	71.901	70.601
492	12:30:11	73.777	71.758	72.222	72.766	71.958	71.238	73.681	71.932	70.631
493	12:30:12	73.743	71.787	72.308	72.766	71.963	71.267	73.686	71.932	70.631
494	12:30:13	73.743	71.844	72.365	72.794	71.963	71.267	73.716	71.962	70.631
495	12:30:14	73.713	71.873	72.423	72.794	71.992	71.267	73.686	71.962	70.601
496	12:30:15	73.713	71.931	72.451	72.794	71.992	71.272	73.716	71.962	70.601
497	12:30:16	73.683	71.959	72.48	72.794	71.992	71.243	73.686	71.992	70.601
498	12:30:17	73.683	71.931	72.451	72.794	71.992	71.243	73.656	71.962	70.631
499	12:30:18	73.743	71.931	72.394	72.794	71.992	71.214	73.591	71.992	70.601
500	12:30:19	73.708	71.931	72.394	72.794	71.992	71.214	73.561	71.992	70.601
501	12:30:20	73.713	71.931	72.394	72.799	71.992	71.214	73.471	71.962	70.601
502	12:30:21	73.713	71.902	72.365	72.799	71.992	71.185	73.381	72.022	70.606
503	12:30:22	73.743	71.902	72.365	72.799	71.963	71.156	73.261	72.052	70.635
504	12:30:23	73.708	71.902	72.337	72.799	71.963	71.156	73.171	72.022	70.606
505	12:30:24	73.678	71.873	72.279	72.77	71.963	71.156	73.081	72.022	70.606
506	12:30:25	73.678	71.844	72.251	72.77	71.963	71.127	73.021	72.052	70.601
507	12:30:26	73.678	71.816	72.222	72.77	71.934	71.127	72.93	72.022	70.577
508	12:30:27	73.713	71.787	72.194	72.77	71.934	71.098	72.87	71.992	70.548
509	12:30:28	73.802	71.816	72.194	72.77	71.934	71.069	72.81	71.992	70.519
510	12:30:29	73.802	71.792	72.194	72.77	71.934	70.982	72.75	71.966	70.548
511	12:30:30	73.802	71.758	72.222	72.77	71.934	70.982	72.72	71.932	70.548
512	12:30:31	73.837	71.758	72.194	72.742	71.934	71.011	72.66	71.906	70.519
513	12:30:32	73.837	71.734	72.169	72.742	71.934	71.011	72.63	71.906	70.519
514	12:30:33	73.867	71.758	72.198	72.742	71.906	71.011	72.599	71.876	70.49
515	12:30:34	73.837	71.763	72.165	72.742	71.934	71.011	72.599	71.846	70.49
516	12:30:35	73.842	71.734	72.169	72.742	71.934	71.011	72.599	71.846	70.49
517	12:30:36	73.812	71.734	72.169	72.742	71.939	70.982	72.63	71.816	70.461
518	12:30:37	73.812	71.701	72.141	72.742	71.934	70.982	72.63	71.785	70.432
519	12:30:38	73.752	71.701	72.141	72.742	71.934	71.011	72.63	71.755	70.432
520	12:30:39	73.752	71.676	72.141	72.742	71.91	70.953	72.599	71.725	70.432
521	12:30:40	73.722	71.705	72.141	72.742	71.906	70.895	72.599	71.695	70.432
522	12:30:41	73.722	71.676	72.141	72.742	71.906	70.895	72.599	71.695	70.432
523	12:30:42	73.752	71.672	72.141	72.742	71.906	70.895	72.63	71.695	70.432
524	12:30:43	73.722	71.705	72.169	72.742	71.906	70.924	72.66	71.695	70.432
525	12:30:44	73.752	71.705	72.169	72.742	71.91	70.953	72.66	71.695	70.432
526	12:30:45	73.722	71.701	72.198	72.713	71.91	70.953	72.69	71.725	70.432
527	12:30:46	73.697	71.734	72.198	72.713	71.906	70.953	72.72	71.695	70.432
528	12:30:47	73.692	71.734	72.198	72.713	71.91	70.953	72.78	71.695	70.461
529	12:30:48	73.692	71.729	72.169	72.713	71.91	70.982	72.81	71.695	70.432
530	12:30:49	73.667	71.705	72.169	72.713	71.91	70.982	72.84	71.695	70.432
531	12:30:50	73.667	71.705	72.198	72.713	71.91	70.982	72.9	71.695	70.432
532	12:30:51	73.607	71.734	72.198	72.713	71.91	70.982	72.9	71.695	70.432
533	12:30:52	73.637	71.705	72.169	72.713	71.91	70.982	72.93	71.725	70.461
534	12:30:53	73.578	71.705	72.169	72.713	71.882	70.982	72.96	71.755	70.461
535	12:30:54	73.578	71.705	72.169	72.713	71.882	70.982	73.021	71.755	70.494
536	12:30:55	73.548	71.734	72.198	72.713	71.91	71.011	72.995	71.755	70.494
537	12:30:56	73.518	71.734	72.198	72.713	71.882	71.04	73.051	71.755	70.494



538	12:30:57	73.578	71.734	72.198	72.713	71.882	71.069	73.085	71.785	70.49
539	12:30:58	73.573	71.734	72.198	72.713	71.882	71.098	73.085	71.79	70.494
540	12:30:59	73.603	71.734	72.198	72.713	71.882	71.098	73.141	71.816	70.494
541	12:31:00	73.662	71.734	72.169	72.684	71.882	71.069	73.146	71.76	70.465



ANEXO Tabla F. Base de datos de mediciones de campo (Apartado

4.7)

MAYO 19 Y 20; 2018 / PERIODO CALIDO / 12 Y 6 AUTOS [°C]											
33.01	34.34	35.87	33.11	33.39	34.85	33.70	36.03	35.82	33.73	34.26	35.04
z=1.5 x=1.5	z=1.5 x=5.5	z=1.5 x=8.5	z=3.0 x=1.5	z=3.0 x=5.5	z=3.0 x=8.5	z=1.5 x=1.5	z=1.5 x=5.5	z=1.5 x=8.5	z=3.0 x=1.5	z=3.0 x=5.5	z=3.0 x=8.5
32.72	33.68	35.00	32.85	32.85	33.91	33.39	35.32	35.08	32.98	33.89	34.39
32.64	33.65	34.94	32.74	32.85	33.78	33.37	35.32	35.10	33.00	33.89	34.41
32.64	33.65	34.94	32.74	32.85	33.78	33.37	35.32	35.13	33.00	33.91	34.41
32.64	33.63	34.81	32.74	32.82	33.81	33.39	35.32	35.16	33.03	33.91	34.44
32.64	33.63	34.73	32.74	32.82	33.86	33.42	35.32	35.16	33.05	33.94	34.47
32.61	33.60	34.84	32.74	32.79	33.94	33.42	35.32	35.18	33.08	33.97	34.49
32.61	33.60	34.81	32.74	32.77	33.97	33.44	35.34	35.24	33.11	33.99	34.52
32.59	33.57	34.86	32.72	32.77	33.99	33.47	35.34	35.26	33.16	33.99	34.57
32.59	33.57	34.92	32.69	32.77	34.07	33.47	35.34	35.29	33.18	34.02	34.62
32.59	33.57	34.94	32.72	32.74	34.10	33.47	35.34	35.29	33.18	34.02	34.62
32.59	33.55	35.00	32.74	32.74	34.15	33.47	35.37	35.37	33.13	34.07	34.70
32.59	33.55	35.05	32.74	32.72	34.20	33.52	35.37	35.40	33.21	34.10	34.73
32.61	33.55	35.05	32.74	32.72	34.20	33.57	35.40	35.42	33.26	34.10	34.76
32.64	33.52	35.10	32.79	32.72	34.26	33.60	35.40	35.45	33.31	34.12	34.81
32.67	33.52	35.16	32.85	32.69	34.31	33.65	35.42	35.48	33.34	34.18	34.81
32.69	33.52	35.18	32.87	32.69	34.28	33.68	35.45	35.48	33.39	34.20	34.81
32.72	33.50	35.21	32.92	32.69	34.31	33.68	35.45	35.48	33.42	34.23	34.78
32.74	33.50	35.26	32.98	32.69	34.39	33.70	35.48	35.40	33.44	34.26	34.70
32.82	33.50	35.29	33.05	32.67	34.44	33.73	35.50	35.37	33.47	34.26	34.68
32.92	33.50	35.34	33.16	32.69	34.55	33.73	35.53	35.40	33.47	34.26	34.68
32.98	33.50	35.37	33.21	32.67	34.60	33.73	35.56	35.48	33.52	34.28	34.78
33.05	33.50	35.45	33.24	32.67	34.70	33.76	35.56	35.50	33.55	34.28	34.81
33.08	33.50	35.48	33.24	32.69	34.78	33.76	35.58	35.53	33.55	34.28	34.84
33.13	33.50	35.56	33.24	32.72	34.86	33.78	35.61	35.56	33.57	34.28	34.86
33.18	33.50	35.61	33.26	32.72	34.92	33.78	35.64	35.58	33.60	34.28	34.89
33.21	33.52	35.66	33.29	32.74	35.00	33.78	35.66	35.64	33.63	34.28	34.94
33.24	33.52	35.72	33.37	32.77	35.05	33.78	35.69	35.66	33.63	34.28	34.97
33.26	33.52	35.77	33.39	32.82	35.13	33.73	35.69	35.69	33.63	34.28	35.02
33.26	33.52	35.82	33.37	32.87	35.18	33.68	35.72	35.69	33.63	34.31	35.05
33.21	33.55	35.88	33.26	32.90	35.26	33.70	35.74	35.74	33.63	34.31	35.05
33.16	33.55	35.93	33.16	32.92	35.34	33.70	35.77	35.58	33.63	34.33	35.00
33.16	33.57	35.99	33.16	32.95	35.42	33.70	35.80	35.56	33.63	34.33	34.94
33.16	33.60	36.04	33.13	32.95	35.48	33.68	35.82	35.61	33.63	34.36	34.97
33.13	33.60	36.09	33.11	33.00	35.56	33.68	35.85	35.64	33.63	34.36	35.00
33.11	33.63	36.12	33.11	33.03	35.56	33.68	35.88	35.58	33.63	34.33	35.02
33.13	33.65	36.12	33.18	33.08	35.58	33.68	35.90	35.64	33.63	34.33	35.05
33.16	33.65	36.12	33.21	33.11	35.53	33.70	35.93	35.69	33.65	34.31	35.10
33.16	33.68	36.15	33.24	33.16	35.53	33.73	35.96	35.74	33.68	34.31	35.13
33.16	33.70	36.17	33.24	33.21	35.56	33.76	35.99	35.77	33.73	34.31	35.18
33.16	33.73	36.20	33.26	33.24	35.61	33.78	36.01	35.80	33.76	34.31	35.21
33.16	33.76	36.25	33.26	33.26	35.66	33.78	36.04	35.77	33.81	34.33	35.26
33.16	33.78	36.28	33.26	33.26	35.69	33.81	36.07	35.85	33.84	34.36	35.29
33.16	33.81	36.34	33.31	33.29	35.69	33.84	36.09	35.85	33.89	34.36	35.34
33.18	33.84	36.36	33.31	33.31	35.74	33.86	36.12	35.90	33.91	34.36	35.40
33.21	33.89	36.44	33.34	33.37	35.80	33.89	36.12	35.96	33.97	34.39	35.45
33.21	33.91	36.50	33.37	33.39	35.80	33.89	36.17	35.99	33.99	34.41	35.48
33.21	33.94	36.50	33.37	33.44	35.72	33.91	36.20	36.01	34.02	34.41	35.50



33.24	33.97	36.50	33.39	33.50	35.80	33.91	36.23	36.01	34.02	34.44	35.48
33.24	33.99	36.50	33.42	33.55	35.74	33.91	36.25	36.07	34.05	34.44	35.53
33.24	34.05	36.50	33.44	33.57	35.77	33.89	36.28	36.12	34.05	34.47	35.56
33.24	34.07	36.53	33.44	33.60	35.82	33.89	36.31	36.12	34.05	34.47	35.56
33.24	34.10	36.53	33.44	33.63	35.90	33.89	36.34	36.15	34.07	34.47	35.58
33.24	34.12	36.55	33.44	33.63	35.96	33.89	36.34	36.17	34.07	34.49	35.56
33.26	34.18	36.61	33.44	33.63	35.96	33.89	36.36	36.17	34.07	34.49	35.53
33.26	34.20	36.61	33.39	33.50	35.93	33.89	36.36	36.17	34.05	34.49	35.48
33.26	34.23	36.55	33.42	33.50	35.88	33.89	36.34	36.17	34.07	34.49	35.40
33.26	34.26	36.53	33.42	33.44	35.85	33.89	36.31	36.17	34.07	34.41	35.37
33.24	34.28	36.47	33.39	33.24	35.80	33.91	36.25	36.17	34.10	34.41	35.34
33.24	34.31	36.42	33.37	33.24	35.72	33.94	36.25	36.17	34.10	34.36	35.32
33.21	34.31	36.39	33.34	33.34	35.61	33.97	36.23	36.17	34.12	34.36	35.29
33.18	34.33	36.17	33.34	33.42	35.48	33.84	36.23	36.17	34.07	34.36	35.32
33.16	34.36	35.99	33.31	33.47	35.26	33.47	36.25	36.12	33.84	34.41	35.26
33.13	34.39	35.90	33.29	33.50	35.10	33.52	36.25	36.12	33.89	34.41	35.24
33.08	34.39	35.74	33.24	33.52	34.92	33.68	36.28	36.09	33.97	34.41	35.21
33.08	34.41	35.74	33.21	33.52	34.76	33.73	36.25	36.09	33.99	34.39	35.16
33.05	34.44	35.74	33.16	33.57	34.65	33.76	36.25	36.09	33.97	34.39	35.18
33.05	34.47	35.74	33.16	33.57	34.60	33.78	36.28	36.09	33.97	34.41	35.21
33.03	34.49	35.72	33.11	33.57	34.55	33.84	36.28	36.12	33.99	34.41	35.24
33.03	34.55	35.66	33.08	33.57	34.49	33.89	36.28	36.15	33.99	34.41	35.26
33.00	34.57	35.64	33.08	33.63	34.41	33.91	36.28	36.17	34.02	34.41	35.29
33.00	34.60	35.66	33.05	33.68	34.28	33.97	36.28	36.20	34.05	34.41	35.32
33.00	34.60	35.64	33.05	33.68	34.18	33.99	36.28	36.20	34.10	34.39	35.34
32.98	34.62	35.66	33.03	33.73	34.12	34.02	36.31	36.23	34.12	34.36	35.37
32.77	34.65	35.61	32.72	33.73	34.10	34.05	36.31	36.20	34.15	34.39	35.40
32.67	34.68	35.61	32.61	33.55	34.07	34.05	36.34	36.25	34.15	34.39	35.40
32.72	34.70	35.64	32.69	33.50	34.07	34.07	36.34	36.28	34.12	34.39	35.42
32.74	34.70	35.64	32.64	33.57	34.10	34.10	36.34	36.31	34.15	34.39	35.45
32.74	34.73	35.64	32.67	33.65	34.12	34.12	36.34	36.31	34.10	34.39	35.48
32.74	34.76	35.66	32.67	33.70	34.15	34.10	36.34	35.64	33.94	34.36	34.73
32.74	34.76	35.69	32.69	33.68	34.18	34.02	36.31	35.53	33.97	34.31	34.62
32.74	34.78	35.69	32.69	33.70	34.18	33.99	36.28	35.56	33.91	34.33	34.73
32.74	34.78	35.72	32.69	33.73	34.20	33.94	36.31	35.64	33.89	34.31	34.78
32.74	34.81	35.72	32.72	33.73	34.23	33.78	36.31	35.74	33.78	34.36	34.86
32.77	34.84	35.74	32.77	33.76	34.28	33.78	36.28	35.77	33.76	34.39	34.92
32.79	34.84	35.74	32.79	33.78	34.33	33.73	36.28	35.85	33.70	34.41	35.00
32.82	34.86	35.77	32.82	33.78	34.36	33.68	36.25	35.90	33.70	34.41	35.05
32.85	34.89	35.80	32.87	33.78	34.41	33.73	36.25	35.99	33.73	34.39	35.13
32.85	34.89	35.82	32.90	33.78	34.47	33.63	36.25	36.04	33.73	34.36	35.13
32.87	34.92	35.85	32.92	33.78	34.49	33.70	36.25	36.09	33.73	34.33	35.16
32.90	34.92	35.88	32.95	33.81	34.52	33.76	36.25	36.12	33.76	34.33	35.18
32.90	34.92	35.90	32.95	33.84	34.57	33.76	36.25	36.15	33.78	34.33	35.24
32.95	34.94	35.99	33.03	33.81	34.60	33.78	36.25	36.17	33.84	34.31	35.26
33.05	34.94	36.07	33.08	33.78	34.73	33.84	36.25	36.17	33.86	34.31	35.29
33.05	34.97	36.12	33.13	33.78	34.76	33.86	36.25	36.20	33.91	34.28	35.32
33.08	35.00	36.15	33.16	33.81	34.73	33.89	36.25	36.23	33.94	34.26	35.34
33.08	35.00	36.12	33.16	33.81	34.76	33.94	36.25	36.23	33.99	34.26	35.37
33.08	35.02	36.09	33.18	33.81	34.81	33.97	36.28	36.23	33.97	34.28	35.37
33.08	35.05	36.12	33.18	33.81	34.78	33.99	36.28	36.17	34.05	34.28	35.29
33.08	35.08	36.15	33.16	33.78	34.84	33.99	36.28	36.12	34.05	34.26	35.21
33.08	35.08	36.17	33.16	33.81	34.86	33.86	36.28	36.04	34.07	34.23	35.02
33.08	35.10	36.17	33.18	33.84	34.86	33.70	36.28	36.04	34.07	34.23	34.89
33.11	35.13	36.17	33.16	33.84	34.89	33.70	36.28	35.96	34.07	34.23	34.92



33.11	35.16	36.20	33.16	33.84	34.92	33.76	36.28	35.96	34.07	34.20	34.97
33.11	35.16	36.20	33.16	33.86	34.92	33.78	36.28	35.96	34.10	34.20	34.97
33.11	35.18	36.20	33.16	33.89	34.92	33.78	36.28	35.93	34.10	34.20	34.94
33.11	35.21	36.20	33.18	33.89	34.86	33.81	36.25	35.90	34.10	34.20	34.94
33.13	35.24	36.20	33.18	33.89	34.84	33.73	36.25	35.85	34.07	34.18	34.92
33.13	35.26	36.17	33.21	33.91	34.84	33.57	36.25	35.82	34.05	34.15	34.86
33.16	35.29	36.15	33.21	33.91	34.81	33.50	36.25	35.80	33.97	34.12	34.84
33.16	35.32	36.17	33.21	33.91	34.84	33.37	36.25	35.80	33.78	34.12	34.84
33.16	35.32	36.20	33.24	33.94	34.84	33.31	36.25	35.74	33.65	34.10	34.84
33.16	35.34	36.20	33.24	33.97	34.86	33.26	36.23	35.72	33.57	34.05	34.81
33.16	35.37	36.23	33.26	33.97	34.89	33.24	36.23	35.69	33.47	34.07	34.78
33.18	35.40	36.23	33.26	33.99	34.89	33.16	36.20	35.66	33.37	34.02	34.78
33.18	35.42	36.25	33.29	33.99	34.92	33.16	36.20	35.64	33.31	33.99	34.76
33.21	35.45	36.25	33.29	33.94	34.94	33.03	36.20	35.61	33.24	33.99	34.76
33.21	35.48	36.28	33.31	33.84	34.97	33.00	36.17	35.61	33.21	33.99	34.76
33.24	35.50	36.28	33.34	33.76	35.00	33.00	36.17	35.58	33.21	33.99	34.73
33.26	35.53	36.31	33.37	33.68	35.02	32.95	36.15	35.58	33.21	33.99	34.73
33.26	35.58	36.34	33.39	33.65	35.05	32.90	36.12	35.56	33.18	33.99	34.73
33.29	35.58	36.34	33.42	33.60	35.08	32.87	36.12	35.56	33.18	33.97	34.73

FEBRERO 2 Y 3; 2019/ PERIODO SEMICALIDO / 12 Y 6 AUTOS [°C]											
30.00	33.74	27.65	30.58	28.49	27.52	30.56	31.80	28.25	29.75	28.89	27.69
z=1.5 x=1.5	z=1.5 x=5.5	z=1.5 x=8.5	z=3.0 x=1.5	z=3.0 x=5.5	z=3.0 x=8.5	z=1.5 x=1.5	z=1.5 x=5.5	z=1.5 x=8.5	z=3.0 x=1.5	z=3.0 x=5.5	z=3.0 x=8.5
29.29	33.39	28.42	29.44	29.64	28.67	31.20	31.20	30.32	30.75	29.19	28.84
29.37	33.39	28.44	29.52	29.57	28.67	31.10	31.26	30.27	30.72	29.14	28.79
29.39	33.39	28.37	29.59	29.49	28.64	31.13	31.31	30.34	30.75	28.79	28.87
29.41	33.37	28.39	29.62	29.46	28.59	31.13	31.20	30.34	30.72	28.42	28.92
29.41	33.34	28.47	29.64	29.37	28.52	31.18	30.98	30.37	30.75	28.17	28.94
29.39	33.31	28.54	29.67	29.32	28.52	31.20	30.93	30.34	30.75	28.12	28.97
29.41	33.31	28.54	29.69	29.27	28.44	31.23	31.00	30.37	30.72	28.27	29.02
29.44	33.29	28.57	29.74	29.12	28.42	31.26	31.03	30.34	30.72	28.35	29.04
29.46	33.29	28.57	29.79	29.04	28.42	31.26	30.95	30.32	30.67	28.35	29.07
29.46	33.29	28.54	29.84	29.04	28.27	31.31	30.90	29.72	30.77	28.35	28.47
29.46	33.26	28.49	29.87	29.04	28.30	31.33	30.87	29.69	30.80	28.35	28.54
29.46	33.24	28.32	29.94	28.99	27.85	31.36	30.72	29.72	30.80	28.37	28.67
29.46	33.24	28.42	29.99	28.92	28.00	31.36	30.57	29.02	30.80	28.37	28.35
29.49	33.24	28.47	29.99	28.87	28.12	31.36	30.52	28.62	30.77	28.37	28.07
29.49	33.26	28.52	29.94	28.84	28.20	31.38	30.47	28.77	30.80	28.39	28.17
29.49	33.29	28.57	29.92	28.87	28.25	31.41	30.44	28.82	30.75	28.35	28.07
29.52	33.31	28.49	29.89	28.87	28.25	31.43	30.50	28.30	30.77	28.37	27.90
29.57	33.31	28.30	29.89	28.72	28.30	31.46	30.44	27.85	30.87	28.39	27.31
29.59	33.34	28.35	29.97	28.64	28.32	31.41	30.50	28.12	30.82	28.47	27.21
29.59	33.37	28.37	29.99	28.59	28.32	31.31	30.52	28.32	30.82	28.49	27.51
29.64	33.39	28.35	30.04	28.52	28.32	31.18	30.55	28.54	30.77	28.52	27.78
29.69	33.42	28.35	30.09	28.47	28.32	31.05	30.57	28.64	30.70	28.54	27.92
29.74	33.44	28.39	30.14	28.39	28.25	31.08	30.57	28.67	30.72	28.57	28.00
29.79	33.47	28.42	30.22	28.35	28.25	31.05	30.55	28.77	30.72	28.57	28.07
29.84	33.50	28.42	30.27	28.37	28.17	31.05	30.60	28.82	30.62	28.62	28.05
29.87	33.55	28.37	30.32	28.35	28.17	31.10	30.65	28.69	30.70	28.69	28.02
29.89	33.57	28.30	30.37	28.32	28.15	31.08	30.67	28.59	30.72	28.72	28.05
29.94	33.60	28.22	30.42	28.30	28.10	31.10	30.72	28.64	30.75	28.82	28.07
29.99	33.63	27.88	30.47	28.27	27.75	31.13	30.75	28.69	30.70	28.84	28.12
30.04	33.65	27.31	30.57	28.20	26.94	31.10	30.80	28.54	30.65	28.84	28.12



30.09	33.68	27.60	30.62	28.10	27.26	31.13	30.82	28.42	30.55	28.87	28.07
30.04	33.73	27.60	30.72	28.00	27.38	31.08	30.87	28.49	30.37	28.87	27.97
29.97	33.73	27.73	30.72	27.92	27.51	31.05	30.93	28.44	30.34	28.92	27.73
29.89	33.76	27.75	30.60	27.88	27.55	30.85	31.03	28.02	30.34	28.99	27.73
29.87	33.78	27.78	30.60	27.85	27.58	30.95	31.08	28.20	30.47	29.02	27.80
29.87	33.81	27.75	30.60	27.83	27.51	31.00	31.10	28.25	30.47	29.07	27.78
29.89	33.78	27.75	30.62	27.83	27.51	30.98	31.20	28.32	30.55	29.02	27.75
29.89	33.76	27.75	30.65	27.88	27.48	31.00	31.26	28.32	30.55	28.89	27.75
29.92	33.76	27.73	30.67	27.90	27.48	30.98	31.31	28.32	30.55	28.89	27.65
29.94	33.76	27.73	30.70	27.90	27.46	30.90	31.36	28.12	30.55	28.89	27.60
29.97	33.76	27.73	30.72	27.90	27.43	30.87	31.41	28.20	30.57	28.89	27.73
29.97	33.76	27.73	30.72	27.90	27.41	30.90	31.51	28.25	30.55	28.92	27.75
29.99	33.76	27.70	30.77	27.90	27.41	30.87	31.54	28.20	30.52	28.77	27.78
30.04	33.76	27.70	30.80	27.92	27.41	30.77	31.59	28.17	30.50	28.82	27.73
30.09	33.78	27.70	30.85	27.97	27.41	30.75	31.59	28.12	30.39	28.84	27.73
30.14	33.78	27.70	30.87	28.00	27.43	30.57	31.59	28.02	30.19	28.82	27.63
30.19	33.78	27.65	30.90	28.05	27.38	30.50	31.59	28.02	30.14	28.82	27.60
30.22	33.78	27.58	30.90	28.05	27.33	30.42	31.59	27.97	29.97	28.79	27.58
30.27	33.81	27.53	30.95	28.07	27.31	30.29	31.61	27.90	29.79	28.79	27.48
30.29	33.78	27.55	31.00	28.10	27.38	30.19	31.64	27.92	29.44	28.79	27.46
30.37	33.78	27.58	31.08	28.17	27.41	30.14	31.66	27.92	29.29	28.79	27.43
30.42	33.78	27.60	31.10	28.22	27.33	30.07	31.71	27.88	29.17	28.82	27.43
30.44	33.78	27.63	31.15	28.30	27.41	30.02	31.74	27.85	29.02	28.82	27.41
30.44	33.78	27.65	31.05	28.32	27.46	29.99	31.77	27.85	28.89	28.79	27.38
30.47	33.81	27.68	31.08	28.37	27.48	29.94	31.84	27.83	28.62	28.52	27.36
30.50	33.81	27.70	31.10	28.39	27.48	29.92	31.89	27.83	28.39	28.47	27.33
30.52	33.81	27.70	31.10	28.47	27.51	29.89	31.92	27.80	28.25	28.42	27.28
30.52	33.81	27.73	31.10	28.54	27.53	29.84	32.00	27.80	28.10	28.30	27.19
30.52	33.84	27.73	31.08	28.57	27.53	29.84	32.05	27.78	28.10	28.30	27.16
30.50	33.84	27.73	31.08	28.62	27.53	29.87	32.07	27.78	28.15	28.32	27.14
30.50	33.84	27.73	31.03	28.64	27.53	29.84	32.12	27.78	28.22	28.32	27.16
30.47	33.81	27.73	31.00	28.69	27.53	29.77	32.18	27.80	28.25	28.32	27.21
30.47	33.78	27.73	31.00	28.72	27.53	29.67	32.20	27.83	28.27	28.32	27.24
30.47	33.78	27.73	31.00	28.79	27.53	29.69	32.28	27.83	28.35	28.32	27.19
30.47	33.76	27.70	31.03	28.87	27.53	29.69	32.30	27.85	28.39	28.32	27.19
30.47	33.76	27.68	31.03	28.94	27.53	29.77	32.38	27.85	28.49	28.27	27.16
30.50	33.73	27.65	31.05	29.04	27.53	29.74	32.41	27.85	28.47	28.25	27.14
30.52	33.73	27.60	31.05	29.12	27.55	29.79	32.43	27.85	28.49	28.22	27.16
30.55	33.70	27.63	31.08	29.19	27.58	29.82	32.43	27.88	28.52	28.20	27.19
30.57	33.73	27.65	31.10	29.24	27.58	29.84	32.46	27.88	28.57	28.17	27.21
30.60	33.73	27.68	31.18	29.29	27.60	29.87	32.46	27.88	28.62	28.17	27.24
30.62	33.73	27.70	31.20	29.29	27.36	29.89	32.48	27.90	28.64	28.12	27.24
30.57	33.76	27.75	31.20	29.34	27.46	29.94	32.51	27.78	28.69	28.12	27.24
30.39	33.76	27.78	31.03	29.39	27.53	29.97	32.54	27.80	28.82	28.12	27.33
30.24	33.76	27.78	30.70	29.41	27.58	29.99	32.54	27.85	28.89	28.12	27.38
30.24	33.76	27.78	30.70	29.41	27.58	29.99	32.54	27.90	28.94	28.15	27.43
30.09	33.76	27.70	30.50	29.46	27.60	30.02	32.54	27.92	28.99	28.20	27.48
29.97	33.73	27.31	30.39	29.52	27.58	30.07	32.54	27.97	29.09	28.25	27.51
29.99	33.73	27.26	30.37	29.57	27.60	30.14	32.51	27.97	29.17	28.27	27.55
30.09	33.73	27.21	30.44	29.59	27.58	30.19	32.51	28.00	29.19	28.32	27.58
30.07	33.73	27.26	30.42	29.57	27.53	30.24	32.51	28.02	29.29	28.37	27.60
29.99	33.70	27.21	30.37	29.46	27.24	30.44	32.48	28.05	29.57	28.52	27.73
30.09	33.70	27.36	30.44	29.41	27.19	30.52	32.48	28.07	29.67	28.57	27.75
30.17	33.73	27.36	30.60	29.39	27.21	30.62	32.46	28.10	29.74	28.64	27.78
30.14	33.73	27.43	30.65	29.41	27.31	30.70	32.46	28.12	29.84	28.69	27.83



30.12	33.76	27.48	30.62	29.37	27.38	30.80	32.46	28.17	29.94	28.74	27.88
30.14	33.78	27.48	30.70	29.17	27.38	30.90	32.46	28.15	30.04	28.79	27.88
30.19	33.78	27.48	30.75	28.97	27.33	31.00	32.46	28.27	30.14	28.84	27.73
30.22	33.84	27.51	30.77	28.84	27.36	31.10	32.46	28.17	30.24	28.94	27.90
30.27	33.86	27.51	30.85	28.74	27.38	31.10	32.46	28.17	30.24	28.94	27.92
30.32	33.89	27.33	30.90	28.57	27.41	31.18	32.43	28.10	30.17	29.12	27.92
30.32	33.91	27.36	30.98	28.47	27.26	31.15	32.46	28.15	30.17	29.17	27.95
30.07	33.94	27.16	30.67	28.39	26.92	31.13	32.43	28.15	30.19	29.19	27.95
29.99	33.99	26.87	30.50	28.32	26.82	31.18	32.46	28.12	30.19	29.24	27.92
30.09	34.02	27.06	30.62	28.25	26.99	31.03	32.46	27.97	30.19	29.29	27.88
30.22	34.05	27.21	30.67	28.15	27.06	30.95	32.46	27.95	30.14	29.34	27.90
30.24	34.10	27.26	30.67	28.10	27.09	31.00	32.46	27.95	30.19	29.39	27.88
30.22	34.15	27.26	30.72	28.07	27.09	31.03	32.46	28.00	30.17	29.41	27.85
30.19	34.18	27.26	30.75	28.07	27.11	30.90	32.46	27.75	30.07	29.52	27.24
30.17	34.15	27.26	30.77	28.02	27.09	30.50	32.46	27.85	29.82	29.59	27.16
30.17	34.15	27.26	30.77	27.92	27.06	30.44	32.46	27.80	29.77	29.64	27.28
30.14	34.15	27.24	30.77	27.85	27.01	30.42	32.46	27.80	29.74	29.69	27.31
30.07	34.15	27.19	30.72	27.83	26.87	30.37	32.46	27.78	29.67	29.72	27.33
29.94	34.15	27.14	30.72	27.80	26.87	30.34	32.46	27.75	29.64	29.77	27.36
29.87	34.15	27.14	30.72	27.78	26.87	30.32	32.46	27.73	29.59	29.82	27.33
29.84	34.15	27.14	30.75	27.73	26.82	30.27	32.48	27.73	29.57	29.84	27.31
29.84	34.12	27.11	30.75	27.73	26.82	30.19	32.48	27.73	29.44	29.92	27.31
29.84	34.07	27.09	30.75	27.68	26.82	30.14	32.48	27.70	29.32	29.97	27.28
29.84	34.05	27.06	30.75	27.68	26.82	30.02	32.48	27.70	29.09	30.04	27.28
29.84	34.05	27.06	30.75	27.65	26.82	29.97	32.48	27.68	28.99	30.07	27.28
29.84	34.02	27.04	30.75	27.60	26.82	29.89	32.48	27.68	28.89	30.12	27.26
29.84	33.99	27.04	30.75	27.55	26.82	29.89	32.51	27.63	28.84	30.14	27.28
29.82	33.99	27.04	30.75	27.58	26.82	29.84	32.51	27.63	28.82	30.17	27.24
29.74	33.97	27.01	30.67	27.63	26.82	29.82	32.51	27.60	28.79	30.22	27.24
29.79	33.94	26.87	30.67	27.65	26.84	29.77	32.51	27.60	28.82	30.27	27.21
29.77	33.91	26.48	30.62	27.68	26.84	29.79	32.54	27.60	28.82	30.32	27.19
29.72	33.91	26.23	30.55	27.65	26.84	29.79	32.54	27.60	28.79	30.34	27.21
29.67	33.89	26.38	30.47	27.63	26.82	29.84	32.54	27.63	28.79	30.42	27.24
29.72	33.86	26.35	30.47	27.60	26.79	29.84	32.54	27.65	28.79	30.44	27.28
29.74	33.84	26.48	30.50	27.60	26.74	29.87	32.54	27.68	28.82	30.47	27.33
29.72	33.81	26.57	30.44	27.60	26.72	29.89	32.56	27.70	28.84	30.52	27.36



ANEXO Tabla G. Tablas de datos para la validación del modelo de simulación (Apartado 5.4)

Tabla G.01 DATOS DE SIMULACION 1.2 m/s Orientación NORTE-SUR. Cuadrícula HEXAEDRICA 10 autos y 10 metros ancho con 10 m/s							
	CX= 1.5m Z=1.5m Pi	CX= 5.0m Z=1.5m Pi	CX= 8.5m Z=1.5m Pi	CX= 1.5m Z=3.0m Pi	CX= 5.0m Z=3.0m Pi	CX= 8.5m Z=3.0m Pi	Twa Pi Simulación
	38.29	57.27	37.59	36.56	34.16	36.17	40.01
1	37.83	36.20	37.39	36.37	34.27	36.12	36.36
2	38.12	36.51	37.59	36.61	34.30	36.33	36.58
3	38.26	37.72	37.70	36.73	34.34	36.43	36.86
4	38.34	79.82	37.76	36.80	34.38	36.50	43.93
5	38.39	87.94	37.80	36.85	34.41	36.54	45.32
6	38.43	84.08	37.84	36.89	34.44	36.58	44.71
7	38.47	67.15	37.87	36.92	34.48	36.61	41.92
8	38.51	56.01	37.91	36.95	34.53	36.64	40.09
9	38.56	36.28	37.94	36.98	34.55	36.66	36.83
10	38.60	36.53	37.97	37.01	34.54	36.69	36.89
11	38.63	36.59	37.99	37.03	34.53	36.70	36.91
12	38.64	36.88	38.01	37.04	34.52	36.71	36.97
13	38.65	40.36	38.02	37.05	34.51	36.72	37.55
14	38.65	83.92	38.02	37.05	34.52	36.73	44.81
15	38.65	91.08	38.02	37.06	34.53	36.73	46.01
16	38.66	83.96	38.03	37.06	34.53	36.74	44.83
17	38.68	67.29	38.03	37.07	34.55	36.75	42.06
18	38.70	52.70	38.05	37.08	34.59	36.75	39.65
19	38.73	36.44	38.06	37.09	34.60	36.76	36.95
20	38.75	36.69	38.07	37.10	34.58	36.77	36.99
21	38.76	36.78	38.08	37.10	34.55	36.77	37.01
22	38.75	37.13	38.08	37.10	34.52	36.77	37.06
23	38.74	43.57	38.07	37.09	34.50	36.76	38.12
24	38.72	86.71	38.06	37.08	34.49	36.75	45.30
25	38.71	92.26	38.05	37.08	34.48	36.74	46.22
26	38.71	81.79	38.05	37.07	34.48	36.74	44.47
27	38.72	66.68	38.05	37.07	34.50	36.73	41.96
28	38.73	49.64	38.05	37.07	34.53	36.73	39.13
29	38.75	36.46	38.05	37.08	34.53	36.73	36.93
30	38.76	36.70	38.06	37.08	34.50	36.73	36.97
31	38.76	36.80	38.06	37.07	34.46	36.72	36.98
32	38.75	37.20	38.05	37.06	34.43	36.70	37.03
33	38.73	46.91	38.04	37.04	34.40	36.69	38.63
34	38.71	88.29	38.02	37.03	34.38	36.67	45.52
35	38.69	92.72	38.00	37.02	34.37	36.66	46.24
36	38.68	79.04	37.99	37.01	34.36	36.65	43.95
37	38.68	65.90	37.98	37.00	34.38	36.64	41.76



38	38.69	46.98	37.98	37.00	34.41	36.63	38.61
39	38.71	36.45	37.98	37.00	34.41	36.62	36.86
40	38.72	36.66	37.97	37.00	34.37	36.61	36.89
41	38.71	36.79	37.97	36.99	34.33	36.60	36.90
42	38.70	37.23	37.96	36.97	34.29	36.58	36.95
43	38.67	50.75	37.94	36.95	34.27	36.56	39.19
44	38.64	89.87	37.91	36.93	34.25	36.54	45.69
45	38.62	93.00	37.89	36.92	34.23	36.52	46.20
46	38.61	76.09	37.88	36.90	34.23	36.50	43.37
47	38.60	65.18	37.86	36.89	34.26	36.49	41.55
48	38.60	44.72	37.85	36.88	34.29	36.47	38.14
49	38.61	36.48	37.84	36.88	34.27	36.46	36.76
50	38.61	36.65	37.83	36.86	34.24	36.44	36.77
51	38.59	36.79	37.82	36.85	34.19	36.42	36.78
52	38.56	37.23	37.79	36.82	34.16	36.39	36.83
53	38.53	55.09	37.77	36.79	34.13	36.36	39.78
54	38.49	91.31	37.74	36.76	34.11	36.33	45.79
55	38.45	93.29	37.71	36.73	34.10	36.30	46.10
56	38.43	74.27	37.68	36.71	34.10	36.27	42.91
57	38.41	64.39	37.65	36.69	34.13	36.24	41.25
58	38.39	42.75	37.62	36.67	34.16	36.21	37.63
59	38.38	36.54	37.60	36.65	34.14	36.18	36.58
60	38.36	36.65	37.58	36.62	34.09	36.14	36.57
61	38.33	36.79	37.55	36.59	34.04	36.10	36.57
62	38.29	37.19	37.51	36.55	34.00	36.06	36.60
63	38.23	60.06	37.47	36.50	33.97	36.01	40.37
64	38.18	92.41	37.42	36.46	33.95	35.95	45.73
65	38.13	92.97	37.37	36.41	33.94	35.90	45.79
66	38.08	73.19	37.33	36.36	33.94	35.84	42.46
67	38.04	63.57	37.28	36.31	33.97	35.78	40.82
68	38.01	41.02	37.23	36.26	33.97	35.72	37.04
69	37.97	36.57	37.19	36.21	33.93	35.66	36.25
70	37.93	36.58	37.14	36.14	33.86	35.59	36.21
71	37.88	36.69	37.09	36.07	33.80	35.52	36.17
72	37.81	37.04	37.03	35.99	33.75	35.44	36.18
73	37.73	65.38	36.97	35.90	33.71	35.35	40.84
74	37.65	92.52	36.90	35.80	33.68	35.27	45.30
75	37.57	91.52	36.82	35.70	33.65	35.18	45.07
76	37.49	71.76	36.75	35.60	33.64	35.09	41.72
77	37.42	62.69	36.68	35.49	33.64	35.00	40.15
78	37.35	39.29	36.61	35.38	33.62	34.91	36.19
79	37.27	36.36	36.54	35.27	33.53	34.82	35.63
80	37.19	36.25	36.47	35.15	33.43	34.72	35.54
81	37.10	36.32	36.40	35.02	33.34	34.62	35.47
82	37.00	36.66	36.32	34.89	33.27	34.52	35.44
83	36.89	70.55	36.23	34.76	33.22	34.42	41.01
84	36.77	90.42	36.14	34.63	33.16	34.32	44.24
85	36.65	87.80	36.05	34.50	33.10	34.23	43.72
86	36.54	69.37	35.96	34.38	33.04	34.13	40.57



Tabla G.02 DATOS DE CAMPO Día 19 de mayo con 12 coches, y un promedio de 1.2 m/s Sección comprendida entre las calles de Arista y Morales							
	CX= 1.5m Z=1.5m Oi	CX= 5.0m Z=1.5m Oi	CX= 8.5m Z=1.5m Oi	CX= 1.5m Z=3.0m Oi	CX= 5.0m Z=3.0m Oi	CX= 8.5m Z=3.0m Oi	Twa Oi Observado Campo
	34.35	35.15	36.44	38.62	37.95	33.88	36.07
1	33.52	35.37	35.40	33.21	34.10	34.73	34.39
2	33.57	35.40	35.42	33.26	34.10	34.76	34.42
3	33.60	35.40	35.45	33.31	34.12	34.81	34.45
4	33.65	35.42	35.48	33.34	34.18	34.81	34.48
5	33.68	35.45	35.48	33.39	34.20	34.81	34.50
6	33.68	35.45	35.48	33.42	34.23	34.78	34.51
7	33.70	35.48	35.40	33.44	34.26	34.70	34.50
8	33.73	35.50	35.37	33.47	34.26	34.68	34.50
9	33.73	35.53	35.40	33.47	34.26	34.68	34.51
10	33.73	35.56	35.48	33.52	34.28	34.78	34.56
11	33.76	35.56	35.50	33.55	34.28	34.81	34.58
12	33.76	35.58	35.53	33.55	34.28	34.84	34.59
13	33.78	35.61	35.56	33.57	34.28	34.86	34.61
14	33.78	35.64	35.58	33.60	34.28	34.89	34.63
15	33.78	35.66	35.64	33.63	34.28	34.94	34.66
16	33.78	35.69	35.66	33.63	34.28	34.97	34.67
17	33.73	35.69	35.69	33.63	34.28	35.02	34.67
18	33.68	35.72	35.69	33.63	34.31	35.05	34.68
19	33.70	35.74	35.74	33.63	34.31	35.05	34.70
20	33.70	35.77	35.58	33.63	34.33	35.00	34.67
21	33.70	35.80	35.56	33.63	34.33	34.94	34.66
22	33.68	35.82	35.61	33.63	34.36	34.97	34.68
23	33.68	35.85	35.64	33.63	34.36	35.00	34.69
24	33.68	35.88	35.58	33.63	34.33	35.02	34.69
25	33.68	35.90	35.64	33.63	34.33	35.05	34.70
26	33.70	35.93	35.69	33.65	34.31	35.10	34.73
27	33.73	35.96	35.74	33.68	34.31	35.13	34.76
28	33.76	35.99	35.77	33.73	34.31	35.18	34.79
29	33.78	36.01	35.80	33.76	34.31	35.21	34.81
30	33.78	36.04	35.77	33.81	34.33	35.26	34.83
31	33.81	36.07	35.85	33.84	34.36	35.29	34.87
32	33.84	36.09	35.85	33.89	34.36	35.34	34.89
33	33.86	36.12	35.90	33.91	34.36	35.40	34.93
34	33.89	36.12	35.96	33.97	34.39	35.45	34.96
35	33.89	36.17	35.99	33.99	34.41	35.48	34.99
36	33.91	36.20	36.01	34.02	34.41	35.50	35.01
37	33.91	36.23	36.01	34.02	34.44	35.48	35.01
38	33.91	36.25	36.07	34.05	34.44	35.53	35.04
39	33.89	36.28	36.12	34.05	34.47	35.56	35.06
40	33.89	36.31	36.12	34.05	34.47	35.56	35.06
41	33.89	36.34	36.15	34.07	34.47	35.58	35.08
42	33.89	36.34	36.17	34.07	34.49	35.56	35.09
43	33.89	36.36	36.17	34.07	34.49	35.53	35.09
44	33.89	36.36	36.17	34.05	34.49	35.48	35.07
45	33.89	36.34	36.17	34.07	34.49	35.40	35.06



46	33.89	36.31	36.17	34.07	34.41	35.37	35.04
47	33.91	36.25	36.17	34.10	34.41	35.34	35.03
48	33.94	36.25	36.17	34.10	34.36	35.32	35.02
49	33.97	36.23	36.17	34.12	34.36	35.29	35.02
50	33.84	36.23	36.17	34.07	34.36	35.32	35.00
51	33.469	36.254	36.119	33.835	34.413	35.262	34.89
52	33.521	36.254	36.119	33.887	34.413	35.235	34.90
53	33.678	36.281	36.092	33.966	34.413	35.208	34.94
54	33.73	36.254	36.092	33.992	34.387	35.155	34.94
55	33.757	36.254	36.092	33.966	34.387	35.182	34.94
56	33.783	36.281	36.092	33.966	34.413	35.208	34.96
57	33.835	36.281	36.119	33.992	34.413	35.235	34.98
58	33.887	36.281	36.146	33.992	34.413	35.262	35.00
59	33.914	36.281	36.173	34.019	34.413	35.288	35.01
60	33.966	36.281	36.2	34.045	34.413	35.315	35.04
61	33.992	36.281	36.2	34.097	34.387	35.342	35.05
62	34.019	36.308	36.227	34.124	34.36	35.368	35.07
63	34.045	36.308	36.2	34.15	34.387	35.395	35.08
64	34.045	36.335	36.254	34.15	34.387	35.395	35.09
65	34.071	36.335	36.281	34.124	34.387	35.422	35.10
66	34.097	36.335	36.308	34.15	34.387	35.448	35.12
67	34.124	36.335	36.308	34.097	34.387	35.475	35.12
68	34.097	36.335	35.636	33.94	34.36	34.73	34.85
69	34.019	36.308	35.529	33.966	34.308	34.624	34.79
70	33.992	36.281	35.555	33.914	34.334	34.73	34.80
71	33.94	36.308	35.636	33.887	34.308	34.783	34.81
72	33.783	36.308	35.743	33.783	34.36	34.863	34.81
73	33.783	36.281	35.77	33.757	34.387	34.916	34.82
74	33.73	36.281	35.85	33.704	34.413	34.995	34.83
75	33.678	36.254	35.904	33.704	34.413	35.049	34.83
76	33.73	36.254	35.985	33.73	34.387	35.128	34.87
77	33.626	36.254	36.039	33.73	34.36	35.128	34.86
78	33.704	36.254	36.092	33.73	34.334	35.155	34.88
79	33.757	36.254	36.119	33.757	34.334	35.182	34.90
80	33.757	36.254	36.146	33.783	34.334	35.235	34.92
81	33.783	36.254	36.173	33.835	34.308	35.262	34.94
82	33.835	36.254	36.173	33.861	34.308	35.288	34.95
83	33.861	36.254	36.2	33.914	34.281	35.315	34.97
84	33.887	36.254	36.227	33.94	34.255	35.342	34.98
85	33.94	36.254	36.227	33.992	34.255	35.368	35.01
86	33.966	36.281	36.227	33.966	34.281	35.368	35.01