

# UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE INGENIERÍA  
CIVIL



Tesis profesional

"Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles"

Para obtener el título de:

**Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental**

Presenta:

**Ing. Fabricio Ali Hernández Ferreyra**

Director:

**Dr. Wilfrido Martínez Molina**

Codirector:

**Dr. Mauricio Arreola Sánchez**

Morelia, Michoacán, Octubre del 2024

## RESUMEN

El presente trabajo determina el comportamiento de un concreto modificado al adicionar fibras textiles y sustituir parcialmente el agregado grueso por residuos de concretos de demolición (RCD) en mezclas de concreto simple. Analizando en la etapa de prediseño las pruebas de resistividad eléctrica aparente y resistencia a la compresión simple. Mientras que en la etapa del diseño de la experimentación se hicieron pruebas no destructivas como: Resistividad eléctrica directa, resistividad eléctrica aparente, velocidad de pulso ultrasónico y frecuencia de resonancia. En pruebas destructivas, se realizaron: resistencia a la compresión simple, tensión por compresión diametral, módulo de elasticidad estático y módulo de ruptura. Ya en las pruebas de durabilidad se realizaron pruebas: Absorción capilar (Fagerlund), ataque por sulfatos, cántabro y permeabilidad rápida por cloruros.

Así se realizaron mezclas de concreto en ambas etapas que contienen 20% de sustitución respecto a su masa seca varillada de grava de RCD (Residuos de construcción y demolición), en la etapa de prediseño se elaboraron una mezcla Testigo y seis mezclas con diferentes residuos textiles que se le adicionaron en un 2% en relación a la masa del cemento: Residuo de segunda trituración (RST), residuo de tercera trituración (RTT), residuo de última trituración (RUT), residuo de relleno de colchón (RRC), residuo de poliéster y spandex (RPS) y residuo de hilo de alquitrán (RHA). El diseño de las mezclas fue por el método ACI (American Concrete Institute), para un  $f'c$  de  $300 \text{ kgf/cm}^2$  (100% de resistencia). Se hicieron cilindros de  $10 \times 20 \text{ cm}$  de los cuales los de mayor resistencia a la compresión simple, a los 28 días, fueron las mezclas que se elaboraron en la etapa de diseño las cuales fueron las mezclas: RTT, RUT y RHA. En la etapa de prediseño todas las mezclas fueron elaboradas con el 20% de sustitución de agregado reciclado.

En la etapa de diseño, éste se hizo con el mismo método del ACI que fue realizado en la etapa de prediseño, pero se elaboraron 5 mezclas: La mezclas Testigo y Testigo Reciclado (Testigo R), además las mezclas adicionadas con fibras textiles RTT, RUT y RHA, que al igual que en la etapa anterior, fueron sustituidas con el mismo porcentaje de material reciclado y la misma dosificación de fibras textiles. En esta

Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

etapa se elaboraron cilindros de concreto simple de dimensiones 10 x 20 cm, vigas de 15 x 15 x 60 cm y rodajas de 10 x 5 cm.

**Palabras clave:** Concreto reciclado, Fibras textiles residuales, Residuos de demolición, Durabilidad, Pruebas destructivas, Pruebas no destructivas.

## **ABSTRACT**

This work determines the behavior of a modified concrete by adding textile fibers and partially replacing the coarse aggregate with demolition concrete waste (DCW) in simple concrete mixes. In the pre-design stage, the apparent electrical resistivity and simple compressive strength tests were analyzed. While in the experimental design stage, non-destructive tests such as: direct electrical resistivity, apparent electrical resistivity, ultrasonic pulse velocity and resonance frequency were performed. In destructive tests, the following were performed: resistance to simple compression, diametral compressive stress, static modulus of elasticity and modulus of rupture. In the durability tests, the following tests were performed: capillary absorption (Fagerlund), sulfate attack, Cantabrian and rapid chloride permeability.

Thus, concrete mixes were made in both stages containing 20% substitution with respect to its dry mass of CDW (construction and demolition waste) gravel. In the pre-design stage, a control mix and six mixes were made with different textile wastes that were added at 2% in relation to the mass of the cement: Second shredding residue (SSR), third shredding residue (TSR), last shredding residue (LSR), mattress filler residue (MFR), polyester and spandex residue (PSR) and tar yarn residue (TYR). The design of the mixtures was by the ACI (American Concrete Institute), Method, for an  $f'_c$  of 300 kgf/cm<sup>2</sup> (100% strength). Cylinders of 10 x 20 cm were made, of which those with the highest resistance to simple compression, at 28 days, were the mixes that were elaborated in the design stage, which were the TSR, LSR and TYR mixes. In the pre-design stage, all the mixes were prepared with a 20% substitution of recycled aggregate.

In the design stage, this was done with the same ACI method that was used in the pre-design stage, but 5 mixtures were prepared: The Witness and Recycled Witness (Witness R) mixes, in addition to the mixes added with TSR, LSR and TYR textile fibers, which as in the previous stage, were substituted with the same percentage of recycled material and the same dosage of textile fibers. In this stage, simple concrete cylinders of dimensions 10 x 20 cm, beams of 15 x 15 x 60 cm and slices of 10 x 5 cm were produced.

Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

**Keywords:** Recycled concrete, Waste textile fibers, Demolition residues, Durability, Destructive testing, Non-destructive testing.

## DEDICATORIAS

A mi madre **Elena Xóchitl Hernández Ferreyra** por ser siempre mi inspiración en cada paso que doy en mi vida, ser mi razón por ser mejor día a día en mi vida, por enseñarme a no rendirme en ningún momento, por todo tu amor, platicas que tenemos que no las cambiaría por nada y por todo tu apoyo incondicional.

A mi abuela **María Elena Ferreira González** por siempre brindarme cariño desde el primer día en que nací, apoyarme en cada momento tanto de mi vida profesional como personal, ser guía de mi vida y siempre creer en mi en cada momento.

A mis hermanos **Emily y José Luis** porque trato de ser un buen ejemplo para ustedes, por darme su amor, confianza y tranquilidad al estar con ustedes, ya que todos los momentos que he pasado con ustedes no los cambiaría por nada.

A mi abuelo **Agustín Hernández Campos** que en paz descansa por tratarme como un hijo más de él, brindarme el cariño de un padre, aconsejarme y darme todo su amor en todo momento, el ejemplo de siempre apoyar a todos sin esperar nada a cambio, el esforzarse siempre al máximo y nunca darte por vencido aun cuando las cosas no sean sencillas, por ser siempre mi ejemplo a seguir ya que todo lo que hizo por mí nunca voy a terminar de agradecerle.

A mi esposa **Diana Laura Charco Angel**, ya que desde el primer día me diste tu apoyo, de apoyarme en todo momento en mi vida, que estoy agradecido por la gran mujer que eres, por todo el amor, cariño que me das y motivarme en momentos difíciles de mi vida. Te amo demasiado amor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Le doy gracias a **Dios** por brindarme vida, salud y personas que me han acompañado en todos mis estudios.

A la **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo** y a la **Facultad de Ingeniería Civil** por darme las herramientas para poder realizar este trabajo de tesis; A la **Maestría en Ciencias de Ingeniería Ambiental** por concientizarme los impactos ambientales que causamos en la construcción y en la vida cotidiana; al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONACHYT)** por brindarme una beca y así apoyarme con mis estudios de maestría; y al **laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”** por facilitarme los equipos necesarios para la elaboración de este proyecto y espacio para la tesis.

A mi director de Tesis el **Dr. Wilfrido Martínez Molina** por brindarme su apoyo desde el momento que decidí iniciar la maestría, su compromiso en este proyecto y aporte de sus conocimientos con las reuniones semanales que teníamos, por su confianza, por la ayuda en la redacción y por ser un hombre dispuesto apoyar.

A mi codirector de Tesis el **Dr. Mauricio Arreola Sánchez** por ayudarme en realización de pruebas, por apoyarme incondicionalmente en las dudas de las pruebas, cálculos, redacción, material que se requiriera, por su compromiso en este proyecto y aporte de sus conocimientos con las reuniones semanales que teníamos, por ser un gran hombre dispuesto a ayudar en cualquier momento.

A la **Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán** por aconsejarme en cualquier tipo de duda que me surgía, por apoyarme desde el primer día que nos conocimos y creer en mí, en seguir en este camino de investigación, por sus sugerencias que son tan valiosas para mí, siendo de las primeras de darme ideas para hacer este trabajo de tesis, motivándome, comentarios, sugerencias en todo momento para enriquecer esta investigación y como persona, que han cambiado mi perspectiva en estos años y ser una gran mujer de la cual tengo una gran admiración tanto académica como de vida.

A mis amigos **Miguel Ángel Contreras Flota** y **Luis Alberto González Luna** que sin duda alguna su apoyo incondicional facilitó la elaboración de este trabajo, por ser unos grandes amigos que les tengo demasiado aprecio, por todas las risas y momentos que pasamos en la experimentación de este proyecto.

Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

A los amigos que hice en laboratorio **Carlos Uriel Espino González, Noel Díaz González, Marcos Ariel Villanueva Guzmán, Rosalía Ruiz Ruiz, Judith Alejandra Velázquez, Sandra del Carmen Arguello, Melissa Ruiz Mendoza, Alan Calixto Saavedra, Juan Manuel Chávez, Adrián Alejandro Correa** que me ayudaron en hacer pruebas, en cualquier duda, pláticas, risas y todos los momentos agradables que pasé con ellos y todas las personas en el laboratorio. Así tanto a el Técnico Mtro. **José Jesús Zauno Zamudio** por todo el apoyo desde el primer día que estuve en el laboratorio. Y a todas las personas que me apoyaron en el laboratorio desde que inicié esta aventura de investigación.

A la empresa **RETEX** la cual dono amablemente los residuos textiles para la elaboración de este proyecto de tesis, ya que sin su disposición hubiera sido más complicado la elaboración de este trabajo de investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	3
DEDICATORIAS .....	5
AGRADECIMIENTOS .....	6
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	8
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	11
ÍNDICE DE TABLAS .....	13
ÍNDICE DE FIGURAS .....	15
Justificación.....	20
Hipótesis.....	20
Objetivos .....	21
Objetivo general .....	21
Objetivos específicos .....	21
1. INTRODUCCIÓN.....	21
2. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	23
2.1. Investigaciones con fibras textiles.....	23
2.2. Investigaciones con RCD.....	25
3. ANTECEDENTES.....	28
3.1. Impactos ambientales de residuos sólidos en la construcción.....	28
3.2. Impactos ambientales de residuos textiles.....	28
3.3. Sostenibilidad en la elaboración de concreto hidráulico en la construcción.....	29
4. MARCO TEÓRICO.....	31
4.1. Concreto Hidráulico.....	32
4.1.1. Tipos de concretos hidráulicos.....	32
4.2. Cemento Portland.....	32
4.2.1. Cemento utilizado en la investigación.....	33
4.2.2. Propiedades químicas del cemento.....	34

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

4.3.	Agregados pétreos.....	35
4.3.1.	Agregados naturales.....	37
4.3.2.	Agregados de trituración.....	37
4.3.3.	Agregados artificiales o manufacturados.....	37
4.4.	Agua.....	38
4.5.	Industria textil.....	38
4.5.1.	Químicos utilizados en la industria textil.....	38
4.6.	Fibras como adición al concreto.....	39
4.6.1.	Clasificación de las fibras.....	40
5.	METODOLOGÍA.....	43
5.1.	Caracterización y propiedades de los materiales.....	43
5.1.1.	Caracterización del cemento Portland.....	43
5.1.2.	Caracterización de las arenas.....	49
5.1.3.	Caracterización de las gravas.....	66
5.2.	Obtención de fibras textiles.....	84
5.3.	Diseño de mezcla.....	87
5.3.1.	Prediseño.....	88
5.3.2.	Diseño.....	94
5.4.	Ensayos al concreto fresco.....	98
5.4.1.	Muestreo de concreto fresco.....	98
5.4.2.	Revenimiento.....	100
5.4.3.	Elaboración de especímenes.....	102
5.4.4.	Desmolde y curado de especímenes.....	105
5.5.	Ensayos al concreto endurecido.....	107
5.5.1.	Pruebas no destructivas.....	107
5.5.2.	Pruebas destructivas.....	112
5.5.3.	Pruebas de durabilidad.....	121
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	132
6.1.	Ensayos al concreto fresco.....	132

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

6.1.1.	Revenimiento. ....	132
6.1.1.1.	Prediseño. ....	132
6.1.1.2.	Diseño. ....	132
6.2.	Ensayos al concreto endurecido. ....	132
6.2.1.	Prediseño. ....	133
6.2.1.1.	Resistividad eléctrica aparente. ....	133
6.2.1.2.	Compresión. ....	137
6.2.2.	Diseño. ....	138
6.2.2.1.	Pruebas no destructivas. ....	138
6.2.2.1.1.	Resistividad eléctrica húmeda. ....	138
6.2.2.1.2.	Resistividad eléctrica húmeda aparente. ....	141
6.2.2.1.3.	VPU. ....	155
6.2.2.1.4.	Frecuencia de Resonancia. ....	155
6.2.2.2.	Pruebas destructivas. ....	157
6.2.2.2.1.	Resistencia a la compresión simple. ....	157
6.2.2.2.2.	Tensión por compresión diametral. ....	158
6.2.2.2.3.	Módulo de elasticidad dinámico. ....	159
6.2.2.2.4.	Módulo de ruptura (MR). ....	163
6.2.2.3.	Pruebas de durabilidad. ....	165
6.2.2.3.1.	Fagerlund. ....	165
6.2.2.3.2.	Ataque por sulfatos. ....	168
6.2.2.3.3.	Cántabro. ....	170
6.2.2.3.4.	Permeabilidad de cloruros. ....	172
6.2.2.4.	Correlaciones. ....	173
7.	CONCLUSIONES. ....	180
8.	REFERENCIAS. ....	182

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Consistencia normal del cemento. Fuente: Elaboración propia. ....	45
Ilustración 2 Tiempos de fraguado del cemento. Fuente: Elaboración propia. ....	46
Ilustración 3 Densidad del cemento. Fuente: Elaboración propia. ....	48
Ilustración 4. Banco de materia “pozo joyitas”. Fuente: Google Maps, agosto del 2024. .....	49
Ilustración 5 Cuarteo de arena. Fuente: Elaboración propia. ....	51
Ilustración 6 Cuarteo de arena. Fuente: Elaboración propia. ....	51
Ilustración 7 MVSS de la arena. Fuente: Elaboración propia. ....	52
Ilustración 8 Masa de la arena con el recipiente. Fuente: elaboración propia. ....	52
Ilustración 9 MVSV de la arena Negra. Fuente: Elaboración propia. ....	54
Ilustración 10 MVSV de la arena. Fuente: Elaboración propia. ....	54
Ilustración 11 Humedad de Absorción de la arena. Fuente: Elaboración propia. ....	57
Ilustración 12 Humedad de absorción de la arena. Fuente: Elaboración propia. ....	57
Ilustración 13 Densidad de la arena. Fuente Elaboración propia. ....	60
Ilustración 14 Densidad de la arena. Fuente: elaboración propia. ....	60
Ilustración 15 Colocación de mallas en el Ro tap. Fuente: elaboración propia. ....	63
Ilustración 16 Granulometría de la arena. Fuente: Elaboración propia. ....	62
Ilustración 17 Banco de material “La Roka”. Fuente: Google maps, agosto 2024. ....	67
Ilustración 18 antigua torre del IMSS de Morelia. Fuente: Christian Hernández, La voz de Michoacán, Julio del 2020. ....	68
Ilustración 19 antiguo cereso de Morelia. Fuente: Samuel Herrera Jr. La voz de Michoacán, Diciembre del 2020. ....	68
Ilustración 20 Cuarteo de grava. Fuente: Elaboración propia. ....	69
Ilustración 21 Llenado de la MVSS. Fuente: Elaboración propia. ....	70
Ilustración 22 masa de la MVSS. Fuente: Elaboración propia. ....	70
Ilustración 23 Compactación con la varilla de la grava. Fuente: Elaboración propia. ....	72
Ilustración 24 enrasado de la grava. Fuente: Elaboración propia. ....	72
Ilustración 25 Saturación de la grava triturada. Fuente: Elaboración propia. ....	75
Ilustración 26 Densidad con picnómetro. Fuente: Elaboración propia. ....	77
Ilustración 27 Granulometría de la grava triturada. Fuente: Elaboración propia. ....	80
Ilustración 28 Localización de la fábrica RETEX, Google Maps, septiembre del 2023 ..	85
Ilustración 29 Procesos de trituración de los residuos textiles. Fuente: Elaboración propia. .....	85
Ilustración 30 Llenado de bolsas de los diferentes residuos textiles. Fuente: Elaboración propia.....	85
Ilustración 31 Muestreo de concreto fresco. Fuente: Elaboración propia. ....	99

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

Ilustración 32 Revenimiento de concreto fresco. Fuente: Elaboración propia.....	101
Ilustración 33 Elaboración de cilindros 15 x 30. Fuente: Elaboración propia. ....	104
Ilustración 34 Elaboración de vigas de dimensiones 15 cm x 15 cm y longitud de 60 cm. Fuente: Elaboración propia. ....	105
Ilustración 35 Equipo de resistividad eléctrica. Fuente: Elaboración propia. ....	108
Ilustración 36 Resistividad eléctrica del espécimen. Fuente: Elaboración propia. ....	108
Ilustración 37 Equipo de VPU. Fuente: Elaboración propia. ....	110
Ilustración 38 Lectura del equipo de VPU Fuente: Elaboración propia. ....	110
Ilustración 39 Lectura del equipo de e-meter, para obtener la frecuencia de resonancia del espécimen de concreto. Fuente: Elaboración propia. ....	112
Ilustración 40 prueba de resistencia a la compresión simple en cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de longitud. Fuente: Elaboración propia. ....	114
Ilustración 41 prueba de resistencia a la tensión por compresión diametral en cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de longitud. Fuente: Elaboración propia. ....	116
Ilustración 42 Módulo de ruptura de la viga de 15 x 15 x 60 cm. Fuente: Elaboración propia .....	118
Ilustración 43 prueba de módulo de elasticidad estática en cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de longitud. Fuente: Elaboración propia. ....	120
Ilustración 44 Muestras de concreto en el horno. Fuente: Elaboración propia. ....	123
Ilustración 45 Rodajas de concreto con bolsa y selladas por los lados. Fuente: Elaboración propia. ....	123
Ilustración 46 Rodajas puestas en el recipiente con agua. Fuente: Elaboración propia. .....	123
Ilustración 47 Obtención de masa de la muestra Fuente: Elaboración propia. ....	123
Ilustración 48 Elaboración de la solución para realizar la prueba. Fuente: Elaboración propia.....	126
Ilustración 49 Obtención de masa de las rodajas. Fuente: Elaboración propia. ....	126
Ilustración 50 Rodajas sumergidas en la solución de sulfato. Fuente: Elaboración propia. .....	127
Ilustración 51 Desprendimiento de material debido a la solución de sulfato. Fuente: Elaboración propia. ....	127
Ilustración 52 Obtención de masa de las muestras antes de ser introducida a la máquina de desgaste de los ángeles. Fuente: Elaboración propia. ....	128
Ilustración 53 Muestra introducida a la máquina de desgaste de los ángeles. Fuente: Elaboración propia. ....	128
Ilustración 54 Colocación de los especímenes en la cámara de vacío. Fuente: Elaboración propia.....	130

Ilustración 55 Dejando en vacío por 3 horas los especímenes. Fuente: Elaboración propia. ....	130
Ilustración 56 Especímenes una vez pasado el tiempo de saturación. Fuente: Elaboración propia. ....	130
Ilustración 57 Colocación de empaques al espécimen. Fuente: Elaboración propia. ...	130
Ilustración 58 Colocación de las celdas al equipo. Fuente: Elaboración propia. ....	131
Ilustración 59 Obtención de los coulombs con el equipo provee it. Fuente: Elaboración propia. ....	131
Ilustración 60. Realización de la prueba de resistividad eléctrica aparente. Fuente: Elaboración propia. ....	134
Ilustración 61. Fibras enredadas en las aspas de la revoladora al momento de la elaboración de la mezcla. Fuente: elaboración propia. ....	158
Ilustración 62 Falla de viga sometida a flexión sin adición de fibras textiles. Fuente: elaboración propia. ....	164
Ilustración 63 Falla de viga sometida a flexión con adición de fibras textiles. Fuente: elaboración propia. ....	164
Ilustración 64 rodajas de cilindros de 10 cm de diámetro x 5 cm de altura en el último ciclo de ataque por sulfatos. Fuente: Elaboración propia. ....	170
Ilustración 65 Mezcla Testigo sometida a la prueba de cántabro. Fuente: Elaboración propia. ....	171
Ilustración 66 Mezcla RHA sometida a la prueba de cántabro. Fuente: Elaboración propia. ....	171

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del cemento de acuerdo a la norma (ASTM-C-150, 2016). ....	33
Tabla 2. Clasificación del cemento de acuerdo a la Norma (NMX-C-414-ONNCCE, 2017). ....	34
Tabla 3 Resultado de muestra de densidad del cemento Portland. ....	48
Tabla 4 MVSS de la arena para el prediseño de la mezcla. ....	53
Tabla 5 MVSS de la arena para el diseño de la mezcla. ....	53
Tabla 6 MVSV de la arena para el prediseño de la mezcla. ....	55
Tabla 7 MVSV de la arena para el diseño de la mezcla. ....	55
Tabla 8 Humedad de Absorción de la arena para el prediseño de la mezcla. ....	58
Tabla 9 Humedad de Absorción de la arena para el diseño de la mezcla. ....	58
Tabla 10 Densidad de la arena para el prediseño de la mezcla. ....	60
Tabla 11 Densidad de la arena para el diseño de la mezcla. ....	61
Tabla 12 Granulometría arena para el prediseño de la mezcla. ....	63

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

Tabla 13 Granulometría arena para el diseño de la mezcla.....	64
Tabla 14 Granulometría arena para el diseño de la mezcla con ajuste para entrar a los límites del módulo de finura. ....	64
Tabla 15 MVSS de la grava triturada para el prediseño de la mezcla. ....	70
Tabla 16 MVSS de la grava RCD para la mezcla.....	71
Tabla 17 MVSS de la grava triturada para el diseño de la mezcla. ....	71
Tabla 18 MVSV de la grava triturada para el prediseño de la mezcla. ....	73
Tabla 19 MVSV de la grava RCD para la mezcla.....	73
Tabla 20 MVSV de la grava triturada para el diseño de la mezcla. ....	73
Tabla 21 Humedad de absorción de la grava triturada para el prediseño de la mezcla. 75	
Tabla 22 Humedad de absorción de la grava RCD para la mezcla. ....	76
Tabla 23 Humedad de absorción de la grava triturada para el diseño de la mezcla. ....	76
Tabla 24 Densidad de la grava triturada para el prediseño de la mezcla. ....	78
Tabla 25 Densidad de la grava RCD para la mezcla. ....	78
Tabla 26 Densidad de la grava triturada para el diseño de la mezcla. ....	78
Tabla 27 Granulometría de la grava triturada para el prediseño de la mezcla. ....	80
Tabla 28 Granulometría de la grava RCD para la mezcla. ....	81
Tabla 29 Granulometría de la grava combinada de 80% triturada y 20 % de RCD para el prediseño de la mezcla. ....	81
Tabla 30 Granulometría de la grava triturada para el diseño de la mezcla. ....	81
Tabla 31 Absorción de RST.....	87
Tabla 32 Absorción de RTT,.....	87
Tabla 33 Absorción de RUT. ....	87
Tabla 34 Absorción de RPS. ....	87
Tabla 35 Absorción de RHA. ....	87
Tabla 36 Absorción de RRC. ....	87
Tabla 37 Características de los materiales para el prediseño de la mezcla. ....	88
Tabla 38 Cantidad de agua para el diseño de concreto hidráulico. ....	89
Tabla 39 Relación Agua/Cemento. ....	90
Tabla 40 Volumen de agregado grueso varillado en seco, por diferentes módulos de finura.....	91
Tabla 41 Cantidad de materiales para m <sup>3</sup> del prediseño.....	92
Tabla 42 Cantidad de materiales para el prediseño de un m <sup>3</sup> , corregidos por la humedad de absorción.....	93
Tabla 43 Características de los materiales para el diseño de la mezcla. ....	94
Tabla 44 Cantidad de materiales para m <sup>3</sup> con 100% de triturado. ....	96
Tabla 45 Cantidad de materiales para m <sup>3</sup> con 20% de sustitución de RCD. ....	96

Tabla 46 Cantidad de materiales para el diseño de un m <sup>3</sup> con 100% triturado, corregidos por la humedad de absorción. ....	97
Tabla 47 Cantidad de materiales para el diseño de un m <sup>3</sup> con 20% de RCD de sustitución, corregidos por la humedad de absorción. ....	98
Tabla 46. (NMX-C-514-ONNCCE, 2019).....	109
Tabla 46. (NMX-C-275-ONNCCE, 2020).....	110
Tabla 50 (ASTM-C-1202, 2012). ....	131
Tabla 51 Resultados del revenimiento de las mezclas de prediseño. ....	132
Tabla 52 Resultados del revenimiento de las mezclas de diseño. ....	132
Tabla 53 Resultados de la prueba de permeabilidad rápida de cloruros de las mezclas en cada uno de las muestras de concreto de 10 x 5 cm en la etapa de diseño. ....	172

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Granulometría arena para el prediseño de la mezcla. ....	65
Figura 2 Granulometría arena para el diseño de la mezcla. ....	65
Figura 3 Granulometría arena para el diseño de la mezcla con ajuste para entrar a los límites del módulo de finura. ....	66
Figura 4 Curva granulométrica de la grava triturada para el prediseño de la mezcla. ...	82
Figura 5 Curva granulométrica de la grava RCD para la mezcla. ....	82
Figura 6 Curva granulométrica de la grava combinada de 80% triturada y 20 % de RCD para el prediseño de la mezcla. ....	83
Figura 7 Curva granulométrica de la grava triturada para el prediseño de la mezcla ....	83
Figura 8 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla testigo a las edades de 7,14 y 28 días en la etapa de prediseño. ....	134
Figura 9 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RST a las edades de 7,14 y 28 días en la etapa de prediseño. ....	134
Figura 10 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RTT a las edades de 7,14 y 28 días en la etapa de prediseño. ....	135
Figura 11 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RUT a las edades de 7,14 y 28 días en la etapa de prediseño. ....	135
Figura 12 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RRC a las edades de 7,14 y 28 días en la etapa de prediseño. ....	136
Figura 13 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RPS a las edades de 7,14 y 28 días en la etapa de prediseño. ....	136
Figura 14 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RHA a las edades de 7,14 y 28 días en la etapa de prediseño. ....	137

Figura 15 Resultados de resistencia a la compresión simple en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de prediseño. ....	137
Figura 16 Resultados obtenidos de la prueba de resistividad eléctrica húmeda en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño. ....	139
Figura 17 Resultados obtenidos de la prueba de resistividad eléctrica húmeda en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño a especímenes que se probaran a 360 días. ....	140
Figura 18 Resultados obtenidos de la prueba de resistividad eléctrica húmeda en vigas de 15 x 15 x 60 cm en la etapa de diseño. ....	141
Figura 19 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple. ....	142
Figura 20 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo R a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple. ....	142
Figura 21 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RTT a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple. ....	143
Figura 22 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RUT a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple. ....	143
Figura 23 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RHA a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple. ....	144
Figura 24 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de tensión por compresión diametral. ....	144
Figura 25 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo R a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de tensión por compresión diametral. ....	145
Figura 26 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RTT a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de tensión por compresión diametral. ....	145
Figura 27 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RUT a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de tensión por compresión diametral. ....	146
Figura 28 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RHA a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de tensión por compresión diametral. ....	146
Figura 29 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo a la edad de 90 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple. ....	147
Figura 30 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo R a la edad de 90 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple. ....	147
Figura 31 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RTT a la edad de 90 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple. ....	148
Figura 32 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RUT a la edad de 90 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple. ....	148

Figura 33 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RHA a la edad de 90 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple. ....	149
Figura 34 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo a la edad de 28 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días. ....	149
Figura 35 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo R a la edad de 28 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días. ....	150
Figura 36 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RTT a la edad de 28 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días. ....	150
Figura 37 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RUT a la edad de 28 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días. ....	151
Figura 38 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RHA a la edad de 28 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días. ....	151
Figura 39 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo a la edad de 90 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días. ....	152
Figura 40 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo R a la edad de 90 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días. ....	152
Figura 41 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RTT a la edad de 90 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días. ....	153
Figura 42 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RUT a la edad de 90 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días. ....	153
Figura 43 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RHA a la edad de 90 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días. ....	154
Figura 44 Resultados de velocidad de pulso ultrasónico de cilindros de 10 x 20 cm ensayados a 7 días y cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días en la etapa de diseño. ....	155
Figura 45 Resultados de módulo de elasticidad dinámico en vigas de 15 x 15 x 60 cm en la etapa de diseño. ....	156

Figura 46 Resultados de resistencia a la compresión simple en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño. ....	157
Figura 47 Resultados de tensión por compresión diametral en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño. ....	159
Figura 48 Gráfica esfuerzo-deformación de la mezcla Testigo de la prueba módulo de elasticidad estático en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño. ....	159
Figura 49 Gráfica esfuerzo-deformación de la mezcla Testigo R de la prueba módulo de elasticidad estático en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño. ....	160
Figura 50 Gráfica esfuerzo- deformación de la mezcla RTT de la prueba módulo de elasticidad estático en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño. ....	160
Figura 51 Gráfica esfuerzo- deformación de la mezcla RUT de la prueba módulo de elasticidad estático en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño. ....	161
Figura 52 Gráfica esfuerzo- deformación de la mezcla RHA de la prueba módulo de elasticidad estático en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño. ....	161
Figura 53 Resultados de la prueba de módulo de elasticidad estático en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño. ....	162
Figura 54 Resultados de la prueba de módulo de ruptura en vigas de 15 x 15 x 60 cm en la etapa de diseño. ....	163
Figura 55 Resultados de muestras de 10 x 5 cm de concreto a la “resistencia a la penetración del agua” a 90 días de edad en la etapa de diseño. ....	165
Figura 56 Resultados de muestras de 10 x 5 cm de concreto al “coeficiente de absorción capilar” a 90 días de edad en la etapa de diseño. ....	166
Figura 57 Resultados de muestras de 10 x 5 cm de concreto a la “porosidad efectiva” a 90 días de edad en la etapa de diseño. ....	167
Figura 58 Resultados de muestras de 10 x 5 cm de concreto a la “sorción capilar” a 90 días de edad en la etapa de diseño. ....	168
Figura 59 Resultados de la pérdida de masa en la prueba de ataque por sulfatos en muestras de concreto de 10 x 5 cm, a 90 días de edad en la etapa de diseño. ....	169
Figura 60 Resultados de la pérdida de masa en la prueba de cántabro en muestras de concreto de 10 x 5 cm, a 90 días de edad en la etapa de diseño. ....	170
Figura 61 Promedio de las mezclas de concreto de muestras de 10 x 5 cm de la prueba de permeabilidad rápida de cloruros en la etapa de diseño. ....	173
Figura 62 Relación en la resistividad eléctrica directa y resistividad eléctrica aparente en cilindros de 10 x 20 cm a las edades de 28 y 90 días en la etapa de diseño. ....	174
Figura 63 Relación en la resistividad eléctrica directa y resistividad eléctrica aparente en cilindros de 10 x 20 cm a las edades de 28 y 90 días, que se probaran a compresión a 360 días en la etapa de diseño. ....	175

Figura 64 Relación en la prueba de resistencia a la compresión simple y resistividad eléctrica directa en cilindros de 10 x 20 cm a las edades de 7,28, 90 y 180 días en la etapa de diseño. ....	176
Figura 65 Relación en la prueba de resistencia a la compresión simple y resistividad eléctrica aparente en cilindros de 10 x 20 cm a las edades de 28 y 90 días en la etapa de diseño. ....	176
Figura 66 Relación en la prueba de tensión por compresión diametral y resistividad eléctrica directa en cilindros de 10 x 20 cm a las edades de 28 y 180 días en la etapa de diseño. ....	177
Figura 67 Relación en la prueba de tensión por compresión diametral y resistividad eléctrica aparente en cilindros de 10 x 20 cm a la edad de 28 días en la etapa de diseño. ....	178
Figura 68 Relación en la prueba de módulo de ruptura y resistividad eléctrica directa en vigas de 15 x 15 x 60 cm a las edades de 28 y 180 días en la etapa de diseño. ....	179
Figura 69 Relación de módulo de elasticidad estáticos y módulo de elasticidad dinámico, en cilindros de 10 x 20 cm y en vigas de 15 x 15 x 60 cm a las edades de 28 y 180 días en la etapa de diseño .....	180

## **Justificación**

La industria textil ha llevado a un alto nivel de consumo y desperdicio en la sociedad. Esto puede causar un impacto ambiental negativo ya que la industria textil y la industria de la confección es una de las industrias más contaminantes. La fabricación textil es un proceso intensivo en químicos y requiere un alto volumen de agua en sus diferentes procesos internos. Las aguas residuales y los desechos de fibra son los principales desechos generados durante el proceso de producción textil. Por otro lado, los residuos de fibra se generaron principalmente de ropa no deseada en la cadena de suministro textil. Este desecho de fibras incluye fibras naturales fibra, fibra sintética y mezclas naturales/sintéticas (Pensupa et al., 2017). Se estima que el 73% de las prendas producidas anualmente termina incinerada o en basureros, lo que contribuye a la polución del suelo y aire (Monachon, 2021).

Entre otras muchas áreas del conocimiento, la preservación del medio ambiente es una parte de la ingeniería civil que se puede resolver desde el concreto reciclado, pues su uso: minimiza la descarga de residuos sólidos que contaminan el medio ambiente, reúsa materiales considerados como desecho que no tienen un costo importante propiamente dicho, innova en diseño de materiales para lograr el máximo desempeño mecánico bajo sollicitaciones estáticas y dinámicas que permitan mejorar la situación de vida de quienes emplean las edificaciones construidas con estos materiales; preserva el medio ambiente por evitar contaminación con residuos sólidos, disminuye las emisiones de CO<sub>x</sub> al aire que todos respiramos y evita extracciones innecesarias de las canteras de materiales geológicos conservando la arquitectura del paisaje, y la flora y fauna endémicas (Martínez-Molina et al., 2015).

Por lo tanto, para disminuir los impactos ambientales que generan los textiles desde su fabricación y residuos textiles que esto genera, se pretende utilizar fibras textiles como adiciones en concreto que incorpora concreto reciclado como agregado, con la intención de mejorar sus características y a la vez, evitar que dichos residuos textiles terminen en rellenos sanitarios o incinerados.

## **Hipótesis**

Al adicionar fibras textiles en la elaboración de concretos que incorporan concreto reciclado (RCA) como agregado, se incrementarán las propiedades mecánicas del

mismo. Lo que permite aumentar la sostenibilidad del concreto convencional y al mismo tiempo reducir la cantidad de residuos (textiles y demolición) depositados en rellenos sanitarios y en el medio ambiente.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Evaluar mezclas de concreto que incorporan RCA como agregado adicionadas con desperdicios de textiles en diferentes grados de trituración, evaluándole con pruebas mecánicas destructivas, no destructivas y de durabilidad.

### **Objetivos específicos**

- Obtener materiales con ciertas características, a partir de uso posconsumo de los desperdicios de desechos textiles. Para ser incorporadas a mezclas de concreto reciclado y comparándolo con el concreto convencional.
- Obtener las características de un concreto con RCA con adición de desperdicios de textiles. Para obtener un concreto reciclado resistente, durable y sostenible.
- Evaluar los resultados obtenidos, a partir de las pruebas estándar en el concreto reciclado, de las distintas mezclas elaboradas y determinar los mejores resultados de materiales empleados en mezclas respecto al comportamiento de pruebas físicas destructivas, no destructivas y durabilidad.

## **1. INTRODUCCIÓN.**

La adopción de comportamientos más sostenibles, particularmente en lo que respecta a la reducción del consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero, es hoy en día una prioridad. El sector de la construcción es una de las áreas clave de intervención, que con lleva un alto consumo de recursos como materiales, energía y agua. Por lo tanto, es esencial adoptar acciones más eficientes durante todas las etapas del proceso de construcción, incluido el uso de materiales más sostenibles. La reutilización de diferentes tipos de residuos en la construcción o rehabilitación de edificios puede contribuir significativamente a la sostenibilidad (Briga-Sá et al., 2013). La industria de la construcción se ha visto obligada (siempre sin solución de continuidad) a dar respuesta a las exigencias básicas del individuo

(vivienda), del conjunto de la sociedad (edificios públicos) o de la industria (naves de fabricación o de almacenaje); y lo ha hecho, a partir de situaciones tan diversas como extensa ha sido su permanencia en el tiempo; es decir, la industria de la construcción, se ha dado en épocas de carestía (de todo tipo), en épocas de desarrollo cultural, en épocas de guerra, etc. Siempre fijando su huella en los materiales que se han usado, en los métodos de construcción y, a la postre, en las arquitecturas conseguidas (SEMARNAT, 2011).

En dicha presencia y evolución constante de esta industria, se han usado como materias primas gran cantidad de materiales, dejando con ello un impacto importante en el medioambiente y en la sociedad de cada momento histórico. En la actualidad esta misma industria de la construcción puede absorber y revalorizar gran cantidad de residuos, que son un problema de gestión, ya sea por sus características o por su volumen. Un ejemplo claro de dichos problemas de gestión, es la existencia de sitios de disposición final conocidos como rellenos sanitarios

Al descomponerse en rellenos sanitarios, la materia orgánica genera gases de efecto invernadero (GEI), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano, emisiones que contribuyen al cambio climático mundial. Además, estas emisiones también afectan la calidad del aire y están asociadas con problemas de salud pública, como el asma (CCA, 2017).

La clasificación de residuos sólidos en Morelia se compone por materiales susceptibles de aprovechamiento con el 39.57%, de residuos orgánicos con el 37.97% y de otros residuos con el 22.46%, según detalló el director de residuos sólidos de Morelia (González Luna, 2020).

Los residuos textiles que se generaban anualmente en viviendas de la ciudad de Morelia, Michoacán rondaban el 1.4% del total en el año 2004, mismos que se incrementaron a un 3.5% en el año 2013 con una generación de los residuos sólidos domésticos de 442 toneladas por día, y una generación per cápita de 0.803 kg/hab-día así como una contribución de las viviendas del 87% del total de los residuos sólidos urbanos y un 62.8% de la fracción orgánica (FO) (Hernández-Berriel et al., 2016).

Respecto a los residuos de demoliciones de edificios de concreto, a diario se generan 5 mil toneladas de residuos de demolición en el territorio mexiquense, las cuales se

confinan en 9 rellenos sanitarios, 37 sitios controlados y 55 sitios no controlados, así como en sitios clandestinos, lotes baldíos, camellones, carreteras y avenidas (SEMARNAT, 2011).

Ante el aumento de residuos textiles que hay hoy en día, además de todo lo que conlleva desde la producción del material y el color de la ropa, implica una gran demanda tanto de recursos naturales, transporte para su venta y en su uso, contaminando el agua con detergentes. Y finalmente su disposición final, siendo incinerados o terminando en rellenos sanitarios, causando lixiviados al combinarse con los demás residuos generados en la ciudad. Ante esto se plantea reutilizar los residuos textiles como adición en el concreto, dándoles un segundo uso que permita disminuir los impactos ambientales causados por los mismos.

## **2. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.**

Hoy en día, ante el uso de materiales pétreos como grava y arena de bancos de materiales que son requeridos para la fabricación del concreto hidráulico, se busca una alternativa en la reutilización de residuos sólidos como materiales para construcción, pudiendo ser unas de ellas la de los residuos de construcción y demolición, así como los residuos textiles, tratando de reducir los impactos ambientales negativos que genera la elaboración del concreto, ya que es el material más utilizado en la construcción de cualquier obra civil.

En esta investigación se trata de reutilizar los residuos de la construcción como sustituto parcial del agregado grueso, así como adicionar fibras textiles en el concreto, con la finalidad de mejorar sus propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad del concreto.

Algunas de las investigaciones que han utilizado fibras textiles, RCD o RCA en la elaboración de concreto hidráulico son los siguientes:

### **2.1. Investigaciones con fibras textiles.**

Aghaee & Foroughi, 2013. Mencionan los residuos textiles como núcleo de fibra en la parte central de paneles ligeros han demostrado ser una forma interesante de reducir la presión medioambiental tanto de la enorme cantidad de residuos sólidos como también del uso adicional de recursos vírgenes. Además, los experimentos

demonstraron que al utilizar materiales livianos se logra un panel aislante liviano y, debido al confinamiento de la fibra de vidrio de malla textil, el comportamiento posterior a la fisuración del panel liviano ha mejorado.

Por su parte, Contamine et al., 2013. Contamine et al., 2013. Determinaron que el ensayo de tracción directa demuestra ser apropiado y suficiente para la predicción de la carga de falla, como parte de la reparación concreto con refuerzo textil (TRC) de vigas de concreto armado en el caso de colocación manual in situ, pero debe completarse con el ensayo de extracción cuando se utiliza Placas prefabricadas TRC encoladas. En el mismo tenor, Contamine & Si Larbi, 2016. Estudiaron la relación de refuerzo textil, para un textil inalterado, las tendencias de la rigidez última ( $E_3$ ) y la resistencia ( $\sigma_3$ ) del TRC con respecto a la relación de refuerzo textil son lineales. Para mantener el trazado más eficaz, es muy aconsejable permanecer por debajo de este umbral. Afortunadamente, este umbral no suele alcanzarse con un proceso manual de moldeo por contacto. Es necesario ser cauteloso cuando el textil de refuerzo tiene una alta cantidad de hilo y un elevado número de filamentos por hilo. En ese caso, es posible que se alcance el umbral de la relación de refuerzo textil, lo que provocaría una disminución de las relaciones de eficiencia.

Liu et al., 2016. Elaboraron un diseño con TRC para reforzar la sección transversal del revestimiento de un túnel bajo grandes excentricidades en las que cuanto mayor sea la excentricidad, mayor será el efecto de refuerzo.

Las resistencias del concreto y del acero longitudinal afectaron en gran medida a la capacidad de carga de los pilares de concreto reforzados (CR) con TRC en la cara lateral. Los pilares con una mayor resistencia de concreto y una menor resistencia del acero mostraron un mayor efecto de refuerzo, sin embargo, el modelo de deformación concuerda bien con los datos experimentales para diferentes niveles de deformación desde el inicio de la carga hasta el fallo. El modelo puede utilizarse para el cálculo del diseño de pilares de CR reforzados con TRC en la cara lateral más alejada de la carga axial.

Lee et al., 2022. Investigaron que la cantidad de refuerzo textil resultó ser un parámetro decisivo para aumentar la resistencia al cizallamiento, aunque no se pudo aprovechar toda la capacidad de tracción de las iteraciones debido a la falta de ductilidad en el comportamiento del material. El examen minucioso de los

mecanismos de transferencia a cortante reveló una fuerte dependencia de la contribución del concreto del entrelazamiento de los materiales y la formación de un puntal directo, en los patrones de fisuración. La combinación de las frágiles iteraciones de los materiales como refuerzo de cizalladura y las barras de refuerzo de acero convencionales en el cordón de tracción proporcionaba una gran capacidad de deformación si la armadura de cizalladura era capaz de sostener la carga hasta que se alcanzaba el fallo por flexión.

En comparación con las probetas de referencia sin refuerzo de cizallamiento, las vigas con textiles mostraron una capacidad de cizallamiento considerablemente mayor incluso sin la integración de armaduras de alta resistencia, por lo que el modo de fallo siguió siendo frágil. El aumento de la proporción de refuerzo transversal condujo a un incremento bastante lineal de la carga de rotura.

Aunque también se pueden llegar a afectar las propiedades mecánicas del concreto si las fibras se en exceso, tal y como lo demostraron. Tran et al., 2022 Investigaron que el uso de altas dosis de fibras recicladas está en relación con la aglomeración de fibras que provoca la formación de aire atrapado y huecos en la microestructura, disminuyendo así las propiedades del concreto. La fracción de volumen al 0,5% muestra un rendimiento óptimo en las revisiones.

La incorporación de fibra de poliéster y polipropileno (PP) reciclada mejora la uniformidad de la estructura de los poros, subdividiendo los poros grandes en poros más pequeños, lo que afecta positivamente a las propiedades dependientes de la porosidad, como la resistencia a la compresión, la permeabilidad al agua, la penetración del cloruro y la difusión de la carbonatación.

La incorporación de tejidos de fibras recicladas, que tienen una estructura de trama cruzada en la dirección de la urdimbre y la trama, muestran un mejor rendimiento en cuanto a resistencia a la compresión y capacidad de absorción de energía que los tejidos de fibras simples convencionales.

## **2.2. Investigaciones con RCD.**

En la investigación realizada por Zaid et al., 2022. Utilizaron material de concreto reciclado de 85 MPa, demostrando que se puede desarrollar un concreto de altas prestaciones con un comportamiento mecánico similar al concreto elaborado con

agregados naturales. Sin embargo, el uso de agregados de concreto reciclado de origen de baja calidad disminuye la resistencia del concreto.

Independientemente del tipo y la cantidad de agregado reciclado, al uso de concreto reciclado como agregado en el concreto de altas prestaciones afecta negativamente al rendimiento de durabilidad del concreto. La sustitución completa del agregado natural por un 100% de agregado de concreto reciclado de 45 MPa produjo un aumento del 71% y del 54% en la retracción por secado y la absorción de agua y una reducción del 51% en la resistividad eléctrica del concreto.

Con el periodo de curado, la resistencia eléctrica del concreto con material reciclado varía considerablemente en comparación con el concreto normal. Las mezclas con un 50% de agregados de concreto reciclado de 45 MPa y 85 MPa sufrieron un aumento del 141% y 149% de la resistividad eléctrica en periodos de curado de 28 y 90 días, respectivamente.

Otro de los posibles usos del concreto reciclado puede ser el analizado por Garzón et al., 2022. Donde se menciona que los RCD generados en un área metropolitana (Almería), como caso de estudio, pueden ser reutilizados como explanadas o sub-bases de carreteras y autovías como movimiento de tierras, ya que se trata de un material granular con un CBR (Ensayo de relación de soporte California) muy elevado (su valor es 36). Sin embargo, su granulometría no es adecuada y el nivel de azufre es superior al 1 % en peso. Estas restricciones pueden superarse actuando sobre el procedimiento de trituración, de forma que se genere un material pétreo reciclado de mayor tamaño.

De acuerdo con los resultados encontrados, el uso de RCD como sustituto de la arena para la fabricación de concreto sólo puede utilizarse en porcentajes inferiores al 10 % en peso, dando lugar a materiales de concreto de baja resistencia.

Por su parte Bergonzoni et al., 2022 Sugieren que los subproductos adoptados en su investigación proporcionan una alternativa interesante al uso de arena fina en la mezcla de concreto, es decir, las partículas de los subproductos completaban la curva granulométrica de los materiales reciclados procedentes de RCD. Sin embargo, la cantidad óptima de subproductos en la mezcla depende de las características del material de RCD. Los valores de porcentaje en peso obtenidos deben considerarse

como valores de referencia para futuras investigaciones. Además, este estudio se limitó al análisis de una muestra de materiales pétreos reciclados. Futuros desarrollos de esta investigación incluyen el análisis de múltiples muestras de materiales reciclados procedentes de RCD. Tal y como lo realizó Abera, 2022. Ya que menciona en su investigación que el rendimiento de los materiales de concreto que contienen RCD es crucial para incorporar estos materiales al concreto en sustitución de los agregados convencionales. La resistencia de los materiales de concreto producidos a partir de agregados reciclados depende en gran medida de la sustitución de los materiales vírgenes. Un aumento del volumen de sustitución en la producción de concreto disminuirá el rendimiento de los materiales de concreto.

La densidad de los materiales de concreto que incorporan RCD disminuye a medida que aumenta el volumen de los materiales en la producción de concreto. Hasta un 35% de sustitución muestra la mínima disminución en la densidad de los materiales de agregados reciclados procedentes de escombros de RCD.

La investigación recomienda basarse en el rendimiento de los materiales de concreto procedentes de escombros de RCD como sustituto de los materiales naturales. La incorporación de estos materiales en las obras de concreto hasta un 40% no supondrá un daño masivo para las estructuras ligeras de los proyectos de Ingeniería Civil. Y también puede aplicarse en la construcción de carreteras para la circulación de vehículos ligeros.

Por su parte Kul et al., 2023. Hicieron un análisis de ciclo de vida, de hidróxido de sodio tuvo la mayor parte del impacto ambiental, seguido de la molienda de precursores a base de RCD. El transporte y el curado térmico tuvieron el mayor impacto después del hidróxido de sodio y la molienda, dependiendo de la categoría de impacto. La optimización de los diseños de las mezclas permitió reducir el potencial de calentamiento global en un 65.9% y el potencial de acidificación en un 34.3%. El método de geo polimerización disminuyó el potencial de agotamiento de los combustibles fósiles en un 8.2% respecto al del mortero a base de cemento Pórtland y cenizas volcánicas. Por el contrario, en lo que respecta a los valores de potencial agotamiento de la capa de ozono y potencial de eutrofización, el mortero a base de cemento Pórtland y cenizas volcánicas presentó la menor carga negativa sobre el medio ambiente.

### **3. ANTECEDENTES.**

#### **3.1. Impactos ambientales de residuos sólidos en la construcción.**

Se estima que, en el mundo, se fabrican alrededor de 25 billones de toneladas de concreto cada año. Esto representa más de 1.7 billones de cargas de camiones anuales. La cantidad de concreto utilizado en construcción dobla la cantidad del resto de materiales utilizados incluyendo madera, acero, plástico y aluminio (MEPDS, 2009).

En la fabricación de concreto hidráulico se requiere una gran demanda de recursos naturales tales como el agua para su elaboración, explotación de bancos de materiales para obtener los agregados pétreos y el cemento Portland que genera casi las mismas toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada fabricada de cemento. Además de la cantidad de combustible fósil que es necesario tanto para llevar los materiales al sitio de la elaboración de concreto, como ya el concreto elaborado hasta el lugar donde es requerido.

Elaborar concreto genera gran cantidad de impactos ambientales negativos, pero también es el material más utilizado en la construcción, por sus características físicas y mecánicas en las obras civiles. Esto incluyendo sus características de durabilidad ante algunas cuestiones climáticas y geográficas que se pueden presentar en situaciones específicas.

#### **3.2. Impactos ambientales de residuos textiles.**

En la Ciudad de México se desechan tres mil 700 millones de toneladas de residuos textiles al año, sobre todo de ropa de cama e interior, así como cortinas, y sólo se recicla el 1%, revelan datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Monachon, 2021).

En contra parte, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) considera que la producción en esta industria es de las más dañinas y contaminantes para el medio ambiente, ya que es responsable del 20 por ciento de las aguas residuales globales y 10 por ciento de las emisiones totales de carbono (Monachon, 2021). La producción textil emite el equivalente a 1,2 billones de toneladas de CO<sub>2</sub>, más que el transporte marítimo y la aviación internacional (Acosta, 2021).

Los productos químicos utilizados en la producción de cada tipo de fibra son diferentes. Para la producción de fibra de celulosa, los productos químicos que se utilizan normalmente son pesticidas, insecticidas y fertilizantes, cuando los recursos naturales no son suficientes para el cultivo de plantas. Mientras que la fibra proteínica requiere productos químicos para controlar los parásitos de los animales y, una vez triturada la fibra, se necesitan productos químicos para limpiarla. Para la producción de fibra sintética se utiliza como materia prima el aceite de petróleo, al que normalmente se aplican pigmentos y colorantes (Pensupa et al., 2017).

Hoy en día tenemos una gran cantidad de residuos sólidos textiles en ocasiones por las fast fashion, ya que la mayoría de la población compra ropa por temporada, la utiliza pocas veces y ya no la vuelve a utilizar, desechándola después, y en ocasiones no dándole reutilización. Convirtiéndose en un residuo sólido que en el mejor de los casos termina en rellenos sanitarios.

### **3.3. Sostenibilidad en la elaboración de concreto hidráulico en la construcción.**

- ✓ El concreto recuperado a partir de RCD puede ser triturado y utilizado como agregado. Su uso más común es como subbase vial. También puede ser utilizado en la elaboración de un concreto nuevo.
- ✓ Las devoluciones de concreto también pueden ser recicladas exitosamente. Existen instalaciones de recuperación en muchos sitios de producción en el mundo desarrollado. Más de 125 millones de toneladas son generadas cada año.
- ✓ El reciclaje de concreto reduce la explotación de recursos naturales y los costos asociados de transporte; también reduce el desecho de concreto en vertederos de basura. No obstante, su impacto sobre la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero es muy limitada ya que la mayoría de las emisiones ocurren durante la fabricación de cemento, y no es posible reciclar cemento por sí solo.
- ✓ Reducción del pago de tarifas e impuestos asociados al vertimiento de desechos (MEPDS, 2009).

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

Lograr que materiales considerados como desechos sólidos (basura, residuos), como el caso del concreto demolido o colapsado, se reúsen para elaborar nuevas mezclas de concreto, resuelve entre otros objetivos:

A) Reúso de residuos sólidos, abatiendo la cantidad que se depositan y dañan al medioambiente y por ende a los humanos, por ejemplo, problemas de lixiviados.

B) Diseño, innovación y elaboración de nuevos materiales de construcción eco amigables.

C) Conservación de los minerales naturales, canteras que no son renovables. Evitar la explotación de materiales para preservar el hábitat natural de la flora y fauna nativa. Conservación de la arquitectura del paisaje, así como de geoparques. Lo anterior debido a que los recursos minerales son no renovables.

D) Disminución de la contaminación atmosférica, al darle un nuevo uso al concreto de residuo de demolición que para su producción emitió CO y CO<sub>2</sub>(Martínez-Molina et al., 2015).

Al tratar de disminuir los impactos ambientales negativos que genera un concreto hidráulico convencional, con sustitución de materiales reciclados o adicionando residuos sólidos como en este caso fibras textiles se están reutilizando materiales, que probablemente terminarían en rellenos sanitarios en el mejor de los casos. Además, tratando de reducir los costos de fabricación y de mantenimiento de las construcciones, ya que esto requeriría más demanda de recursos en cualquier obra civil.

Tratando de disminuir la explotación de materiales, así como las de acarreo de materiales, se ha optado por reutilizar los RCD en la fabricación de especímenes de concreto en esta investigación, para ver su comportamiento a las pruebas físico-mecánicas y de durabilidad. Así como observar si al adicionar fibras textiles cambia la falla frágil del concreto al ser un material rígido, a una falla dúctil que no colapse por completo la muestra de concreto.

Reduciendo la cantidad de recursos naturales usados en la elaboración de concreto, reutilizando los residuos sólidos mediante sustitución o adición en la mezcla de concreto, mejorando o manteniendo las propiedades físico- mecánicas y de

durabilidad. Con lo anterior se demuestra la sostenibilidad en la construcción ya que cumple con los aspectos económicos, ambientales y sociales sin dañar a las generaciones futuras.

#### **4. MARCO TEÓRICO.**

En la actualidad, uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción es el concreto hidráulico, el cual por sus requisitos de desempeño debe cumplir con alta resistencia a la compresión, rigidez suficiente y módulo de ruptura adecuado a diferentes edades para cumplir con los requisitos de la teoría del diseño de carreteras, con alta absorción de energía (tenacidad) y alta durabilidad, por lo cual, plantearse investigar nuevas mezclas de concreto hidráulico modificado con materiales innovadores como aditivos y fibras, que logren el propósito de convertirse en un material reciclable, mejorar sinérgicamente las propiedades mecánicas y durabilidad del concreto, y con ello reducir la cantidad de residuos sólidos (reduciendo así la generación de contaminación ambiental), la protección de los recursos naturales (mediante el uso de materiales reciclados), y la reducción o beneficio de los costos de producción y mantenimiento durante la vida útil del concreto hidráulico.

La Asociación Mexicana de Concreteros Independientes (AMCI, 2021) estimó para el año 2015 un crecimiento del ocho por ciento del sector, el doble que, en 2013, impulsado por grandes proyectos de infraestructura federal y de vivienda en el país. La producción de concreto en México se ubica actualmente en 32 millones de metros cúbicos anuales, pero el potencial con la capacidad instalada podría llegar hasta los 50 millones de metros cúbicos al año (Reynosa-Morales et al., 2017).

En México existen cerca de 550 empresas concreteras independientes, la mayoría Pymes, las cuales cuentan con alrededor de mil 250 plantas que representan el 60 por ciento del mercado nacional, el resto es dominado por las grandes cementeras que tienen sus propias concreteras (AMCI, 2021).

De acuerdo con Meza de Luna et al., 2021. Muestra que el concreto reforzado con fibras tiene un comportamiento lineal en la etapa inicial, hasta que alcanza su carga máxima, luego tendrá una caída de la resistencia bruscamente por fisuración del concreto hidráulico, la disminución de capacidad dependerá del grado de refuerzo

que pueda tener el concreto, atribuido a las fibras, es decir, a mejor desempeño de las fibras como refuerzo, la ductilidad y los rangos de cargas aumentaran.

#### **4.1. Concreto Hidráulico.**

Es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento Portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava, creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. Otros materiales cementantes y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta (Kosmatka et al., 2004).

##### **4.1.1. Tipos de concretos hidráulicos.**

Con base en su peso unitario el concreto se puede clasificar en tres grandes categorías. El concreto que contiene arena natural y grava o agregados de roca triturada, que pesa aproximadamente  $2,400 \text{ kg/m}^3$ , es conocido como concreto de peso normal y es el concreto más comúnmente empleado para propósitos estructurales.

Para aplicaciones en donde se desea una relación más alta de resistencia contra peso, es posible reducir el peso unitario del concreto usando ciertos agregados naturales que tienen una densidad de masa más baja. El término concreto ligero se utiliza para un concreto que pesa menos de  $1,800 \text{ kg/m}^3$ .

Por otra parte, el concreto pesado, es un concreto producido con agregados de alta densidad y pesa en general más de  $3,200 \text{ kg/m}^3$ .

Se puede dividir el concreto en tres categorías generales basadas en su resistencia a la compresión:

- Concreto de baja resistencia: menos de 20 MPa ( $204 \text{ kgf/cm}^2$ ).
- Concreto de resistencia moderada: de 20 a 40 MPa ( $204 \text{ a } 408 \text{ kgf/cm}^2$ ).
- Concreto de alta resistencia: más de 40 MPa ( $408 \text{ kgf/cm}^2$ ). (Mehta & Monteiro, 2013).

#### **4.2. Cemento Portland.**

El cemento Portland se puede describir como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos

minerales para formar un todo compacto. De aquí en adelante, en este trabajo, se referirá al cemento Portland, mencionándose sólo como cemento

Para la construcción, el cemento se restringe a materiales aglutinantes utilizados con piedras, arena, ladrillos, bloques de construcción, etc. Los cementos que se utilizan en la fabricación del concreto tienen la propiedad de fraguar y endurecer en contacto con el agua o sumergidos en ella, en virtud de su reacción química, por lo que se les da el nombre de cementos hidráulicos (Neville, 2013).

#### 4.2.1. Cemento utilizado en la investigación.

El cemento Portland que se utilizó en la elaboración de los especímenes de concreto hidráulico fue de la marca Tolteca CPC 30R RS. Esto quiere decir que es un Cemento Portland Compuesto, de clase 30, con resistencia especificada a 28 días de 30 MPa y resistente a los sulfatos (NMX-C-414-ONNCCE, 2017).

El Cemento Portland resistente a los sulfatos, es aquel que presenta a un bajo contenido de Aluminato tricálcico ( $C_3A$ ), la norma (ASTM-C-150, 2016) vigente para este cemento, lo clasifica como un tipo II y estipula un contenido máximo de 8% de  $C_3A$ .

De acuerdo a la normativa americana *ASTM-C-150*, en la tabla 1 y la normativa mexicana *NMX-C-414-ONNCCE*, en la tabla 2, describen las clasificaciones del cemento Pórtland de acuerdo a sus características y clase de resistencia.

Tabla 1. Clasificación del cemento de acuerdo a la norma (ASTM-C-150, 2016).

Nomenclatura	Características
Tipo I	Normal
Tipo IA	Normal con aire incluido
Tipo II	Moderada resistencia a los sulfatos
Tipo IIA	Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido
Tipo II (MH)	Moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos
Tipo II (MH) A	Con aire incluido, con moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos
Tipo III	Alta resistencia inicial (alta resistencia temprana)
Tipo IIIA	Alta resistencia inicial con aire incluido
Tipo IV	Bajo calor de hidratación

Tipo V	Alta resistencia a los sulfatos
--------	---------------------------------

Tabla 2. Clasificación del cemento de acuerdo a la Norma (NMX-C-414-ONNCCE, 2017).

Tipo	Denominación	Clase Resistente	Características Especiales
CPO	Cemento portland ordinario	20	RS (Resistente a los sulfatos)
CPP	Cemento portland puzolánico	30	BRA (Baja reactividad álcali-agregado)
CPEG	Cemento portland con escoria granulada de alto horno	30R	BCH (Bajo calor de hidratación)
CPC	Cemento portland compuesto	40	B (Blanco)
CPS	Cemento portland con humo de sílice	40R	
CEG	Cemento con escoria granulada de alto horno		

#### 4.2.2. Propiedades químicas del cemento.

- Hidratación del cemento.

La reacción mediante la cual el cemento Portland se transforma en un agente de enlace, se produce en una pasta de cemento y agua, generada por los procesos químicos responsables de la formación de compuestos. En otras palabras, en presencia del agua los silicatos y aluminatos forman productos de hidratación, los cuales, con el paso del tiempo, producen una masa firme y dura que se conoce como pasta de cemento endurecida. La hidratación comienza en los granos de cemento después de cierto tiempo de estar en contacto con el agua en la superficie de las partículas de cemento, similarmente a la corrosión de un metal. Luego con el tiempo, esta superficie de reacción se mueve gradualmente más profundamente en el interior de la partícula de cemento (Portugal Barriga, 2007).

- **Calor de hidratación del cemento**

El proceso de hidratación es un proceso exotérmico, lo cual hace que los concretos al fraguar y endurecer aumenten de temperatura; este incremento es importante en concretos masivos, debido a que cuando ha ocurrido el fraguado y se inicia el descenso térmico, se origina contracción del material, que puede conducir a graves agrietamientos. Este mismo efecto es uno de los principales problemas en los concretos con bajas relaciones de agua/cemento, dado que la cantidad de cemento se incrementó y consecuentemente la temperatura del concreto también se incrementa, esta es una de las razones para el uso de adiciones reemplazando a porcentajes del concreto (Portugal Barriga, 2007).

El calor de hidratación es la cantidad de calor, en calorías por gramo de cemento deshidratado, después de una hidratación completa a una temperatura dada. El calor de hidratación depende de la composición química del cemento y es aproximadamente igual a la suma de los calores de sus componentes.

#### **4.3. Agregados pétreos.**

Según la norma mexicana (NMX-C-111-ONNCCE, 2018), los agregados son materiales de naturaleza pétreo que pueden proceder de minas, de bancos de extracción, de la trituración de elementos de concreto o también resultantes de un proceso industrial que, al ser mezclados con cementantes, permiten la elaboración de concretos y morteros.

Los agregados le proporcionan el cuerpo al concreto, proporciona resistencia y estabilidad volumétrica, Anteriormente, los agregados fueron considerados como materiales químicamente inertes, pero ahora se ha reconocido que algunos de los agregados son químicamente activos y ciertos agregados muestran enlaces químicos en la interfaz del agregado y la pasta del cemento (Shetty, 2005).

- **Propiedades de los agregados pétreos.**

Los agregados son un componente dinámico dentro de la mezcla, aunque la variación en sus características puede ocurrir también durante los procesos de explotación, manejo y transporte (Neville & Brooks, 2010).

- **Propiedades físicas.**

Las propiedades físicas que más impactan en el comportamiento mecánico de las mezclas de concreto son: granulometría, porosidad, masa unitaria, forma y textura de las partículas.

- **Granulometría.** Es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, que se determina a través del análisis de los tamices (cedazos, cribas).

Hay muchas razones para que se especifiquen los límites granulométricos y el tamaño máximo nominal de los agregados, pues afectan las proporciones relativas de los agregados, como la demanda de agua y de cemento, trabajabilidad, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto (Kosmatka et al., 2004).

- **Porosidad.** Cuanto más poroso es, menos resistencia mecánica tiene, por lo tanto, cuanto menor sea la absorción, es más compacto y de mejor calidad.
- **Densidad suelta.** Es la masa o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen unitario es el ocupado por los agregados y los vacíos que se generan entre las partículas de los agregados.
- **Forma y Textura.** Las partículas con textura áspera, angulares o alargadas requieren más cantidad de agua para producir concreto trabajable que los agregados lisos, redondeados y compactos. Además, requieren más cemento para mantener la misma relación agua-cemento. Las formas perjudiciales son las muy alargadas y/o escamosas ya que tendrán una influencia objetable en la trabajabilidad, los porcentajes de cemento, la resistencia y la durabilidad (Neville & Brooks, 2010).

- **Propiedades mecánicas.**

- **Resistencia.** El agregado grueso, en mayor medida que el fino, va a resultar relacionado con el comportamiento de las resistencias del concreto, por su aporte en tamaños de grano dentro de la masa de la mezcla. En tal sentido, una de las posibilidades de ruptura de la masa es por medio del agregado grueso. De esta manera, la resistencia de los agregados cobra importancia y se debe buscar que éste nunca falle antes que la pasta de cemento endurezca. La falla a través del agregado grueso se produce bien sea porque

tiene una estructura pobre entre los granos que constituyen las partículas o porque previamente se les han inducido fallas a sus partículas durante el proceso de explotación por un inadecuado proceso de trituración.

- **Adherencia.** Es la interacción que existe en la zona de contacto agregado pasta. Entre más adherencia se logre entre la pasta de cemento endurecida y los agregados, mayor será la resistencia del concreto. La adherencia depende de la calidad de la pasta de cemento y en gran medida, del tamaño, forma, rigidez y textura de las partículas del agregado, especialmente cuando se trata de resistencia a flexión.
- **Dureza.** En la elaboración de concretos sometidos a elevadas tasas de desgaste por roce o abrasión, como aplicaciones en pavimentos o revestimientos de canales, la dureza del agregado grueso es una propiedad decisiva para la selección de los materiales (Neville & Brooks, 2010).

#### **4.3.1. Agregados naturales.**

Este tipo de agregados son localizados en yacimientos naturales o en depósitos no consolidados, para ser utilizados sólo es necesario que sean seleccionados, refinados y clasificados por tamaños (Procon, 2024).

Se utilizan solamente después de una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las exigencias según su disposición final (Holcim, 2024).

#### **4.3.2. Agregados de trituración.**

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales (Holcim, 2024).

#### **4.3.3. Agregados artificiales o manufacturados.**

Son aquellos que han pasado por diferentes procesos de fabricación, tal como productos de desecho, materiales calcinados, procedentes de demoliciones o algunos que ya han sido manufacturados y mejorados (Procon, 2024).

Los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables (Holcim, 2024).

En la construcción moderna, los agregados artificiales desempeñan un papel crucial al ser añadidos al cemento y otros componentes para mejorar las propiedades del concreto. Estos incluyen materiales como plásticos reciclados, vidrio o materiales de construcción y demolición que ofrecen beneficios como la reducción del peso de la estructura, el aumento de la resistencia y la mejora del desempeño acústico. El uso creciente de agregados artificiales refleja un compromiso con la sostenibilidad y la economía circular en la industria de la construcción. Además de mejorar la calidad de los productos finales, estos materiales ayudan a reducir el impacto ambiental al promover la reutilización de recursos y la reducción de residuos (Holcim, 2024).

#### **4.4. Agua.**

Cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se puede implementar en mezcla de concreto. El exceso de impurezas en el agua de la mezcla no solo puede afectar a la resistencia del concreto, también puede causar corrosión del refuerzo, inestabilidad en el volumen y reducción de la durabilidad, por lo tanto, el agua usada en la mezcla de concreto hidráulico debe tener ciertos límites para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos (Kosmatka et al., 2004).

#### **4.5. Industria textil.**

La industria textil comprende fibras naturales y químicas, hilados y tejidos. Esta industria es intensiva en maquinaria y equipo, con gran impacto en costos por combustibles y electricidad. Tiene poca flexibilidad para producir tejidos de moda, debido a que se requieren grandes inversiones para adquirir nuevo equipamiento para la producción de textiles de innovación (Secretaría de Economía, 2016).

##### **4.5.1. Químicos utilizados en la industria textil.**

Los productos químicos utilizados en la producción de cada tipo de fibra son diferentes. Para la producción de fibra de celulosa, los productos químicos que se utilizan normalmente son pesticidas, insecticidas y fertilizantes, cuando los recursos naturales no son suficientes para el cultivo de plantas. Mientras que la fibra proteínica requiere productos químicos para controlar los parásitos de los animales y, una vez triturada la fibra, se necesitan productos químicos para limpiarla. Para la producción de fibra sintética se utiliza como materia prima el aceite de petróleo, al que normalmente se aplican pigmentos y colorantes (Pensupa et al., 2017).

#### **4.6. Fibras como adición al concreto.**

Para el uso efectivo de fibras en el concreto endurecido se deben tener contempladas las siguientes características:

- El contenido de fibras por volumen debe ser adecuado.
- Debe haber una buena adherencia entre la fibra y la matriz.
- La longitud de las fibras debe ser suficiente.
- Las fibras deben tener una alta relación de aspecto; es decir, deben ser largas con relación a su diámetro.

Debe de hacerse notar que la información publicada tiende a tratar con concentraciones con un alto volumen de fibras. Sin embargo, por razones económicas, la tendencia actual en la práctica es la de minimizar el volumen de las fibras, en cuyo caso los mejoramientos en las propiedades pueden ser marginales.

Para las cantidades de fibra típicamente usadas (menos del 1% por volumen para el acero y aproximadamente 0.1% por volumen para el polipropileno) las fibras no tendrán un efecto significativo en la resistencia o el módulo de elasticidad del compuesto. También debe de hacerse notar que las concentraciones en un alto volumen de ciertas fibras pueden hacer que el concreto fresco no tenga una buena trabajabilidad (IMCYC, 2007).

. Las fibras se añaden al concreto durante el mezclado. Los factores principales que controlan el desempeño del material compuesto son:

- Propiedades físicas de las fibras y de la matriz.
- Resistencia de adherencia entre la fibra y la matriz.

A pesar de que los principios básicos gobernantes en los refuerzos convencionales y en los sistemas con fibras son los mismos, hay varias características que los diferencian:

- Las fibras se distribuyen aleatoriamente por toda la sección transversal, mientras que las barras de refuerzo o armadura se ponen sólo donde son necesarias
- La mayoría de las fibras son relativamente cortas y poco espaciadas si son comparadas a las barras continuas de refuerzo

- Generalmente no es posible lograrse la misma relación de área de refuerzo-área de concreto con el uso de fibras si es comparado a la red de refuerzo con barras

En general, las fibras no alteran considerablemente la contracción libre del concreto, pero, si son empleadas en cantidades adecuadas, pueden aumentar la resistencia al agrietamiento (fisuración) y disminuir la abertura de las fisuras (Kosmatka et al., 2004).

#### **4.6.1. Clasificación de las fibras**

Una primera clasificación de las fibras sintéticas de acuerdo con su diámetro presenta dos grupos: microfibras y macrofibras (Antillón, 2016).

- Microfibras: Presentan una longitud que oscila entre los 12 y los 75 mm y un diámetro menor a 0.25 mm.
- Macrofibras: Su diámetro oscila entre los 0.25 mm y 1.5 mm con longitudes variables entre 13 mm y 70 mm.

- Vidrio

Está disponible en longitudes continuas o en trozos. Se utilizan longitudes de fibra de hasta 35 mm en aplicaciones de rociado y las longitudes de 25 mm en aplicaciones de premezclado.

Esta fibra tiene alta resistencia a tensión (2–4 GPa) y alto módulo elástico (70–80 GPa) pero tiene características quebradizas en esfuerzo-deformación (2.5–4.8% de alargamiento a la rotura) y poca fluencia a temperatura ambiente.

Se han hecho afirmaciones en el sentido de que se ha usado exitosamente hasta 5% de fibra de vidrio por volumen en el mortero de arena-cemento sin formar bolas.

Los productos de fibra de vidrio expuestos a ambientes a la intemperie han mostrado una pérdida de resistencia y ductilidad. Las razones para esto no son claras y se especula que el ataque de los álcalis o la fragilidad de las fibras son causas posibles (IMCYC, 2007).

- Acero

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

Típicamente las fibras de acero tienen diámetros equivalentes (con base en el área de la sección transversal) de 0.15 a 2 mm y longitudes de 7 a 75 mm. Las relaciones de aspecto generalmente varían de 20 a 100. (La relación de aspecto se define como la relación entre la longitud de la fibra y su diámetro equivalente, que es el diámetro de un círculo con un área igual al área de la sección transversal de la fibra).

Las fibras de acero tienen alta resistencia a tensión (0.5–2 GPa) y alto módulo de elasticidad (200 GPa), una característica dúctil y plástica en esfuerzo-tensión y una baja fluencia.

El concreto reforzado con fibras de acero que contiene hasta 1.5% de fibras por volumen ha sido bombeado exitosamente usando tuberías de 125 a 150 mm de diámetro. Los contenidos de fibra de acero de hasta 2% por volumen se han usado en aplicaciones de concreto lanzado utilizando tanto el proceso húmedo como el seco. Se han obtenido contenidos de fibras de acero de hasta 25% por volumen en concreto con fibras infiltradas de lechada.

Se reporta que el módulo elástico en compresión y el módulo de rigidez en torsión no son diferentes antes del agrietamiento cuando se compara con el concreto simple probado bajo condiciones similares.

También se informa que la resistencia a fatiga del concreto se ha incrementado hasta en un 70% (IMCYC, 2007).

- **Fibras sintéticas**

Las fibras sintéticas son artificiales; resultan de la investigación y desarrollo en las industrias petroquímicas y textiles.

Existen dos formas físicas diferentes de fibras: la de monofilamentos, y las producidas de cintas de fibrilla. La mayoría de las aplicaciones de las fibras sintéticas están en el nivel de 0.1% por volumen. A ese nivel, se considera que la resistencia del concreto no se ve afectada y se buscan las características de control de las grietas.

Los tipos de fibras sintéticas son:

- **Acrílico:** Las fibras acrílicas han sido usadas para reemplazar la fibra de asbesto en muchos productos de concreto reforzado con fibras. También se

han agregado fibras acrílicas al concreto convencional a bajos volúmenes para reducir los efectos del agrietamiento por contracción plástica.

- **Aramida:** Las fibras de aramida son dos y medias veces más resistentes que las de vidrio y cinco veces más que las de acero, por unidad de masa. Debido al costo relativamente alto de estas fibras, el concreto reforzado con fibras de aramida se ha usado principalmente como un reemplazo del asbesto en ciertas aplicaciones de alta resistencia.
- **Carbón:** Las fibras de carbón son fabricadas carbonizando materiales orgánicos adecuados en forma fibrosa a altas temperaturas y luego alineando los cristales de grafito resultantes por medio de estiramiento. Tienen alta resistencia a tensión y alto módulo de elasticidad y una característica quebradiza bajo esfuerzo-deformación. Se requiere de investigación adicional para determinar la viabilidad del concreto con fibra de carbón en una base económica. Las propiedades de resistencia al fuego de los compuestos de fibras de carbón necesitan ser evaluadas, pero ignorando el aspecto económico, las aplicaciones estructurales parecen ser prometedoras.
- **Nylon:** Las fibras de nylon son elaboradas en base de polímeros, la adición de diferentes niveles de aditivos, las condiciones de fabricación y las dimensiones de las fibras. El nylon es estable en el calor, hidrófilo, relativamente inerte y resistente a una gran variedad de materiales. Es particularmente efectivo para impartir resistencia al impacto y tenacidad a flexión y para sostener e incrementar la capacidad para soportar cargas del concreto después de la primera grieta.
- **Poliéster:** Son sensibles a la temperatura y a temperaturas por encima del servicio normal sus propiedades pueden ser alteradas. Las fibras de poliéster son algo hidrófobas. Se han usado a bajos contenidos (0.1% por volumen) para controlar el agrietamiento por contracción plástica en el concreto.
- **Polietileno:** El concreto reforzado con fibras de polietileno a contenidos de entre 2 y 4% por volumen exhibe un comportamiento de flexión lineal bajo cargas de flexión hasta la primera grieta, seguido por una transferencia de carga aparente a las fibras, permitiendo un incremento en la carga hasta que las fibras se rompen.

- **Polipropileno:** El polipropileno es un polímero de hidrocarburo sintético cuya fibra está hecha usando procesos de extrusión por medio de estiramiento en caliente del material a través de un troquel (IMCYC, 2007).

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Caracterización y propiedades de los materiales.

#### 5.1.1. Caracterización del cemento Portland.

- **Consistencia normal del cemento.**

Determinar la cantidad de agua necesaria para combinarla con una determinada masa de cemento para tomar como referencia al efectuar las pruebas de sanidad de cemento Portland y determinación de los tiempos de fraguado

#### Equipo:

- ✓ Muestra representativa de cemento.
- ✓ Agua limpia.
- ✓ Espátulas.
- ✓ Recipiente liso e impermeable.
- ✓ Aparato de Vicat.
- ✓ Balanza con aproximación de 0.1 gramos.
- ✓ Probeta graduada de 100 mililitros con aproximación de 1 mililitro.
- ✓ Placas de vidrio
- ✓ Guantes de látex.

#### Procedimiento:

1. Se toma una masa de aproximadamente 600 g de cemento, se vierten sobre un recipiente de porcelana impermeable y se forma una especie de cráter con el cemento con la ayuda de una espátula.
2. Se fija una cantidad de agua expresada en porcentaje, respecto a la masa del cemento seco, se mide el agua en la probeta graduada y se vierte en el centro del cráter tomando el tiempo desde que se deja caer el agua.

3. Con la espátula se lleva el material de las bordes del cráter hacia el centro hasta lograr que todo el cemento se humedezca (Esto debe de hacerse en no más de 30 segundos).
4. En otro ciclo de 30 segundos subsiguiente a los anteriores se deja reposar la mezcla para que se homogenice con la humedad.
5. Se hace el amasado de la pasta en un tiempo total de 90 segundos contados a partir de los anteriores.
  - a. En los primeros 30 segundos se mezcla perfectamente la masa con las manos, golpeando la mezcla, con la parte pesada de las manos hasta lograr una pasta uniforme y homogénea.
  - b. En los siguientes 30 segundos se forma una esfera con la pasta y se pasa de una mano a otra a una distancia aproximada de 15 centímetros, se repite por lo menos 6 veces.
  - c. En los últimos 30 segundos de los 90 segundos, descansamos la esfera de cemento en la palma de la mano, se introduce a presión por el diámetro mayor del anillo cónico del aparato de Vicat, el cual se sostiene con la otra mano llenando completamente el anillo con la pasta.
  - d. Quitamos el exceso de pasta. A continuación, se coloca el anillo descansando en su base mayor, sobre una placa de vidrio y se enrasa la parte superior con una espátula, teniendo precaución en no comprimir la pasta.
6. Determinación de la consistencia. La pasta confinada en el anillo que descansa sobre una placa, debe de centrarse debajo de la barra B, cuyo extremo que forma un embolo se pone en contacto con la superficie de la pasta y se aprieta el tornillo sujetador después se coloca el indicador móvil F en la marca cero en la parte superior de la escala o se hace una lectura inicial.
7. Se deja caer la aguja sobre la superficie de la pasta de cemento, se dejan pasar 30 segundos y se toma la lectura de penetración de la aguja, si la lectura es de  $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ , se toma esa cantidad de agua como la necesaria para

obtener la consistencia normal del cemento, si la lectura no es de  $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ , se repite el procedimiento hasta conseguir la lectura deseada,

**Ilustración 1.**



Ilustración 1. Consistencia normal del cemento. Fuente: Elaboración propia.

**Normativa utilizada:**

(NMX-C-057-ONNCCE, 2015)

- **Tiempos de fraguado del cemento.**

Esta prueba debe ser realizada inmediatamente al terminar el ensayo de consistencia normal, con la pasta de cemento adicionada de agua óptima.

**Equipo:**

- ✓ 600g aproximadamente de cemento.
- ✓ Agua.
- ✓ Espátulas.
- ✓ Recipiente liso e impermeable.
- ✓ Aparato de Gilmore.
- ✓ Balanza con aproximación de 0.1 gramos.
- ✓ Placas de vidrio.
- ✓ Guantes de látex.

**Procedimiento:**

**Preparación de la pasta de cemento.**

- 1 Siguiendo el procedimiento descrito en la preparación de consistencia normal del cemento.

**Moldeado de la muestra.**

- 2 Con la pasta de cemento elaborada y sobre una placa de vidrio cuadrada, plana y limpia, se hace una pastilla de alrededor de 7.5 centímetros de diámetro y 1.3 centímetros de espesor en la parte central. Para moldear, se aplanado primero la pasta de cemento sobre el vidrio, después moviendo la espátula desde los bordes hacia el centro, aplanado a continuación la parte central superior, se coloca la pastilla en el cuarto húmedo y se deja ahí, hasta el tiempo requerido para determinar del tiempo de fraguado.

**Determinación de los tiempos de fraguado.**

- 3 Al determinar el tiempo de fraguado, se mantienen las agujas en posición vertical y se ponen en contacto ligeramente con la superficie de la pastilla, se considera que el cemento alcanzo su fraguado inicial cuando soporte a las agujas de Gillmore inicial (la menos pesada), sin dejar huellas apreciables.
- 4 Se considera que el cemento alcanzo su fraguado final cuando soporte la aguja de Gillmore Final (la más pesada), sin dejar huella apreciable, **Ilustración 2.**



Ilustración 2 Tiempos de fraguado del cemento. Fuente: Elaboración propia.

**Normativa utilizada:**

(ASTM-C-266, 2015)

La norma (NMX-C-414-ONNCCE, 2017) especifica el tiempo mínimo de fraguado 45 minutos y el máximo en 600 minutos.

- **Densidad del cemento hidráulico.**

Se entiende por densidad del cemento hidráulico, la relación de la masa en gramos entre el volumen que desplaza en mililitros al introducirse en un líquido que no reaccione con el cemento.

**Equipo:**

- ✓ Muestra representativa de cemento.
- ✓ Matraz de Le Chatelier.
- ✓ Balanza con aproximación de 0.1gramos.
- ✓ Reactivo: petróleo.
- ✓ Recipiente con agua.
- ✓ Termómetro.
- ✓ Embudo de cristal.

**Procedimiento:**

1. Se llena el matraz Le Chatelier con petróleo (reactivo) hasta un nivel entre 0 y 1 ml. Para eliminar el líquido adherido en las paredes superiores del matraz evitando las burbujas de aire. Se coloca el matraz dentro de un recipiente con agua a temperatura ambiente, girando el matraz en círculo horizontal, se deja en el agua hasta conseguir una estabilidad del líquido en el matraz.

La temperatura del agua debe mantenerse constante durante todo el ensayo, la variación no debe ser mayor a 0.2°C al momento de tomar las lecturas.

Una vez estabilizado el nivel del reactivo se toma la lectura inicial como  $L_i$ .

2. Se toma una masa de alrededor de 60 g de cemento y se agrega el cemento al matraz Le Chatelier con precaución, de manera que el cemento vaya pasando al interior sin obstruirse. Se debe evitar que el cemento se adhiera a las paredes interiores del cuello superior del matraz.
3. Se coloca el tapón al matraz y se retira el aire que haya sido atrapado en las paredes del matraz al introducir el cemento en el reactivo, para lograr esto, se gira el frasco tomándolo entre las manos, en posición inclinada sobre una superficie plana.

- Una vez terminado el paso anterior, esperamos que se estabilice nuevamente el nivel del líquido como se puede observar en la **Ilustración 3**, hasta que sea la misma lectura y tomamos la lectura final como Lf.

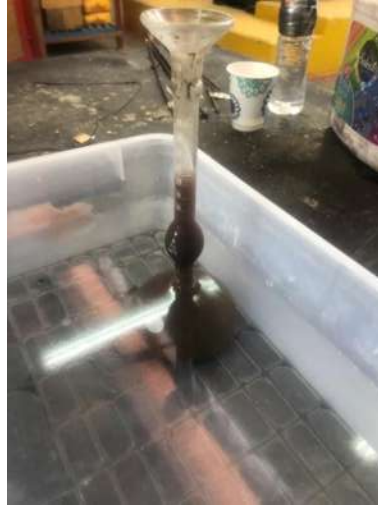


Ilustración 3 Densidad del cemento. Fuente: Elaboración propia.

**Cálculo:**

$$D = \frac{M}{V} = \frac{M}{L_f - L_i}$$

Dónde:

D = densidad del cementante hidráulico, en g/cm<sup>3</sup>.

M = masa del cementante hidráulico, en g.

V = volumen del líquido desalojado, en cm<sup>3</sup>.

Lf = lectura final del líquido, en cm<sup>3</sup>

Li = lectura inicial del líquido, en cm<sup>3</sup>

**Resultados:**

Tabla 3 Resultado de muestra de densidad del cemento Portland.

Cemento	
Masa de cemento (g)	60.20 g
Lf (cm <sup>3</sup> )	19.80 cm <sup>3</sup>
Li (cm <sup>3</sup> )	0.40 cm <sup>3</sup>
V (cm <sup>3</sup> )	19.40 cm <sup>3</sup>
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	3.103 g/cm <sub>3</sub>

**Normativa utilizada:**

(NMX-C-152-ONNCCE, 2015)

La norma (NMX-C-152-ONNCCE, 2015) indica el rango de densidad del cemento es 2.90 - 3.15 g/cm<sup>3</sup>

**5.1.2. Caracterización de las arenas.**

Material fino que pasa por la malla No. 4 (abertura de 4.75mm) y retiene en la malla No. 200 (abertura de 0.075mm) usado para la elaboración de mezclas de concreto hidráulico.

Para la presente investigación se utilizó arena negra: Obtenida del banco de material llamado “pozo joyitas” (ilustración 4), ubicado en la localidad de joyitas en las afueras de la ciudad de Morelia, salida a Quiroga, en dirección Oeste. El material obtenido fue de origen volcánico.

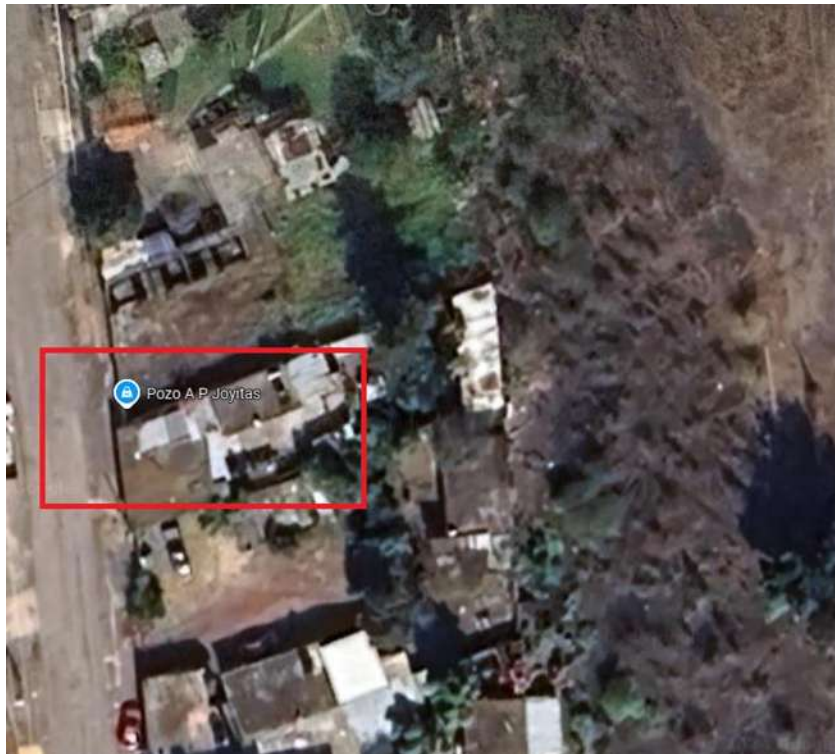


Ilustración 4. Banco de materia “pozo joyitas”. Fuente: Google Maps, agosto del 2024.

- **Cuarteo en las muestras de arenas.**

Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

“El cuarteo debe hacerse cuando es un volumen considerable y solo si se requiere reducir la muestra que sea representativa para su estudio”

El objetivo es obtener una muestra representativa y de tamaño adecuado para las pruebas de calidad de arena que se hagan en la experimentación para posterior con esos valores hacer un diseño de mezcla mediante el método ACI.

**Equipo:**

- ✓ Palas
- ✓ Cucharones
- ✓ Cuarteador de muestras Johnson
- ✓ Charolas grandes de lámina

**Procedimiento:**

Se realizaron dos métodos de muestreos.

**Método “A”. Cuarteador Mecánico de Johnson.**

**Procedimiento para divisor de muestras.**

1. Se tomó la muestra previamente puesta en una charola ancha y se vació sobre la parte superior del divisor, procurando repartirla en toda la longitud del divisor.
2. El material recibido en uno de los recipientes se elimina o se reintegra a la bolsa de donde se extrajo.
3. Si se desea una muestra más pequeña, entonces el material que ha quedado en uno de los recipientes se vierte en una charola, para posteriormente vaciar la charola sobre el divisor, se repite este proceso de división y eliminación hasta lograr la muestra del tamaño que se requiera para realizar las pruebas correspondientes.

**Método “B”. Cuarteo Manual.**

**Procedimiento por cuarteo con palas, Ilustración 5.**

1. Se coloca la muestra original sobre una superficie limpia para no contaminar el material.

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

2. Se mezcla el material traspaleando de un lado al otro con ayuda de la pala, homogenizando el material y apilando el material de forma cónica (se repite este procedimiento por lo menos 3 veces).
3. Una vez terminado el paso 2 se aplana la parte superior con la cara posterior de la pala y después se divide el material en 4 partes como se puede observar en la **Ilustración 6**, descartando los opuestas. En caso que se requiera reducir aún más la muestra, se debe repetir el procedimiento mencionado.

### Especificaciones.

Las muestras de campo de agregado fino que se encuentran superficialmente secas se deben reducir en tamaño por el método "A". Las muestras de campo que se reduzcan por el método "B" deben encontrarse húmedas superficialmente de no ser así se deben humedecer y después deben ser remezcladas.



Ilustración 5 Cuarteo de arena. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 6 Cuarteo de arena. Fuente: Elaboración propia.

### **Normativa utilizada:**

(NMX-C-170-ONNCCE, 2019)

- **Masa volumétrica seca y suelta (MVSS).**

De acuerdo a la norma se define como masa volumétrica a la masa del material por unidad de volumen, siendo el volumen el ocupado por el material en un recipiente especificado y previamente tarado.

El ensayo para determinar la masa volumétrica seca y suelta se llevó a cabo siguiendo el procedimiento descrito en la norma.

**Equipo:**

- ✓ Muestra representativa de arena totalmente seca.
- ✓ Recipiente de masa y volumen conocidos.
- ✓ Varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro.
- ✓ Báscula.
- ✓ Cucharón y pala.

**Procedimiento:**

1. De la prueba de cuarteo se obtuvo una muestra representativa de arena.
2. Se vacía la arena dentro del recipiente, dejándose caer a una altura de 5cm aproximadamente a partir de la arista superior del recipiente como se muestra en la **Ilustración 7**, llenándolo de forma uniformemente con el material granular hasta formar un cono.
3. Se retiró todo el exceso, enrasando con la varilla, eliminando todas las partículas adheridas.
4. Se lleva a obtener la masa de la muestra.
5. A la masa total se le restó la masa del recipiente, y así obtenemos la masa de la arena, como se muestra en la **Ilustración 8**.
6. La masa obtenida se le divide el volumen del recipiente para obtener MVSS de la muestra



Ilustración 7 MVSS de la arena. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 8 Masa de la arena con el recipiente. Fuente: elaboración propia.

**Cálculos:**

$$MVSS = \frac{M}{V}$$

Dónde:

MVSS: masa volumétrica suelta y seca ( $\text{g/cm}^3$ )

M: masa de la arena (g)

V: volumen del recipiente ( $\text{cm}^3$ )

**Resultados:**

Tabla 4 MVSS de la arena para el prediseño de la mezcla.

<b>Arena prediseño</b>		
<b>DATOS</b>	<b>M.V.S.S.</b>	
<b>Masa total</b>	5,585.00 g	5,595.00 g
<b>Masa del recipiente</b>	2,485.00 g	2,485.00 g
<b>Masa de arena</b>	3,100.00 g	3,110.00 g
<b>Volumen del recipiente</b>	2,779.80 $\text{cm}^3$	2,779.80 $\text{cm}^3$
<b>Masa volumétrica</b>	1,115.19 $\text{kg/m}^3$	1,118.79 $\text{kg/m}^3$
<b>PROMEDIO</b>	<b>1116.99 <math>\text{kg/m}^3</math></b>	

Tabla 5 MVSS de la arena para el diseño de la mezcla.

<b>Arena diseño</b>		
<b>DATOS</b>	<b>M.V.S.S.</b>	
<b>Masa total</b>	5,740.00 g	5,710.00 g
<b>Masa del recipiente</b>	1,890.00 g	1,890.00 g
<b>Masa de arena</b>	3,850.00 g	3,820.00 g
<b>Volumen del recipiente</b>	2,759.00 $\text{cm}^3$	2,759.00 $\text{cm}^3$
<b>Masa volumétrica</b>	1,395.43 $\text{kg/m}^3$	1,384.56 $\text{kg/m}^3$
<b>PROMEDIO</b>	<b>1390.00 <math>\text{kg/m}^3</math></b>	

**Normativa utilizada:**

(NMX-C-073-ONNCCE, 2004)

- **Masa volumétrica seca y varillada (MVSV).**

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

El objetivo es determinar la masa por unidad de volumen de una arena, cuando el material presenta una compactación.

### Equipo:

- ✓ Muestra representativa de arena totalmente seca.
- ✓ Recipiente de masa y volumen conocidos.
- ✓ Varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro.
- ✓ Báscula.
- ✓ Cucharón y pala.

### Procedimiento:

1. De la prueba de cuarteo se obtuvo una muestra representativa de arena.
2. Se vació la arena dentro del recipiente (**Ilustración 9**), dejándose caer a una altura de 5cm aproximadamente a partir de la arista superior del recipiente, llenando el recipiente en 3 capas y dando 25 compactaciones (**Ilustración 10**) en cada capa de arena, sin penetrar la capa inferior.
3. Se retiró el exceso enrasando con la varilla punta de bala y limpiando todas las partículas adheridas.
4. Se lleva a obtener la masa de la muestra.
5. A la masa total se le restó la masa del recipiente, y así obtenemos la masa de la arena.
6. La masa obtenida se le divide entre el volumen del recipiente para obtener MVSV de la muestra.



Ilustración 9 MVSV de la arena Negra.  
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 10 MVSV de la arena. Fuente:  
Elaboración propia.

### Cálculos:

$$MVSV = \frac{M}{V}$$

Dónde:

MVSV: masa volumétrica suelta y varillada (g/cm<sup>3</sup>)

M: masa de la arena (g)

V: volumen del recipiente (cm<sup>3</sup>)

**Resultados:**

Tabla 6 MVSV de la arena para el prediseño de la mezcla.

<b>Arena prediseño</b>		
<b>DATOS</b>	<b>M.V.S.V.</b>	
<b>Masa total</b>	5,815.00 g	5,810.00 g
<b>Masa del recipiente</b>	2,485.00 g	2,485.00 g
<b>Masa de arena</b>	3,330.00 g	3,325.00 g
<b>Volumen recipiente</b>	2,779.80 cm <sup>3</sup>	2,779.80 cm <sup>3</sup>
<b>Masa Volumétrica</b>	1,197.93 kg/m <sup>3</sup>	1,196.13 kg/m <sup>3</sup>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1197.03 kg/m<sup>3</sup></b>	

Tabla 7 MVSV de la arena para el diseño de la mezcla.

<b>Arena diseño</b>		
<b>DATOS</b>	<b>M.V.S.V.</b>	
<b>Masa total</b>	6,065.00 g	6,035.00 g
<b>Masa del recipiente</b>	1,890.00 g	1,890.00 g
<b>Masa de arena</b>	4,175.00 g	4,145.00 g
<b>Volumen recipiente</b>	2,759.00 cm <sup>3</sup>	2,759.00 cm <sup>3</sup>
<b>Masa Volumétrica</b>	1,513.23 kg/m <sup>3</sup>	1,502.36 kg/m <sup>3</sup>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1507.79 kg/m<sup>3</sup></b>	

**Normativa utilizada:**

(NMX-C-073-ONNCCE, 2004)

La norma (NMX-C-111-ONNCCE, 2018) especifica que la masa volumétrica compactada con varilla debe ser mayor que  $1120 \text{ kg/m}^3$ .

- **Humedad de Absorción**

La normativa NMX-C-165-ONNCCE, 2014, define la absorción como el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua alrededor de 24 horas a temperatura ambiente; debido a que los poros del material son ocupados por agua, No se debe incluir el agua adherida a la superficie de las partículas. Dicha absorción, se expresa como por ciento de la masa seca y es índice de la porosidad del material.

El objetivo es determinar la capacidad máxima de absorción que tiene la arena expresada en porcentaje.

**Equipo:**

- ✓ Aproximadamente 2000 g de arena seca.
- ✓ Balanza con aproximación décimo gramo.
- ✓ Parrilla.
- ✓ Charolas metálicas.
- ✓ Molde troncocónico.
- ✓ Pisón.
- ✓ Espátula.
- ✓ Vidrio reloj.

**Procedimiento:**

1. De una muestra representativa de arena se dejó saturando durante 20 a 28 horas en agua temperatura ambiente.
2. Después de estar saturada la muestra, se secó superficialmente la muestra (**Ilustración 11**), por medio del método del molde troncocónico de la siguiente forma.
  - Se colocó una muestra de arena en una charola, para retirar el exceso de agua, hasta que la arena está superficialmente seca.
  - Para determinar cuándo ya está superficialmente seca, se coloca el molde troncocónico dentro de la charola con el diámetro mayor hacia

abajo, se llena completamente el cono y con ayuda del pisón se dan 10 compactaciones con el peso propio del pisón, se llena nuevamente el cono y se dan 10 compactaciones más, para la tercera capa se llena el cono y se dan 3 compactaciones más y finalmente en la última capa se dan 2 compactaciones más, haciendo un total de 25 compactaciones.

- Se retira el cono verticalmente y se observa que: si la arena mantiene la forma del cono, aún contiene exceso de agua, por lo que se deja en la parrilla hasta que se retire el exceso de humedad. Cuando al retirar el cono éste se disgrega deformándose parcialmente, la muestra ya alcanzó la condición de seca superficialmente como se muestra en la **Ilustración 12**.

3. Una vez alcanzada la condición de superficialmente seco, se extrae una cantidad de material aproximada de 300g registrando este dato como superficialmente seco (Mh).
4. La muestra se coloca en una charola y se coloca en la parrilla para secado rápido.
5. Para saber cuándo la muestra está totalmente seca, se coloca el espejo y observamos que no se empañe el cristal, una vez que no se empañe el vidrio, se retira del fuego, esperando a que este a temperatura ambiente y así registrar el valor de (Ms).



Ilustración 11 Humedad de Absorción de la arena.  
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 12 Humedad de absorción de la arena. Fuente: Elaboración propia.

## **Cálculos**

$$A = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Dónde:

A: humedad de absorción (%).

Mh: masa saturada y superficialmente seca (g).

Ms: masa seca (g).

**Resultados:**

Tabla 8 Humedad de Absorción de la arena para el prediseño de la mezcla.

DATOS	Arena prediseño	
Masa húmeda	386.00 g	388.60 g
Masa Seca	343.70 g	344.90 g
Humedad	42.30 g	43.70 g
% Absorción	12.31%	12.67%
<b>PROMEDIO</b>	12.49%	

Tabla 9 Humedad de Absorción de la arena para el diseño de la mezcla.

DATOS	Arena diseño	
Masa húmeda	409.30 g	414.30 g
Masa Seca	389.10 g	394.30 g
Humedad	20.20 g	20.00 g
% Absorción	5.19%	5.07%
<b>PROMEDIO</b>	5.13%	

**Normativa utilizada:**

(NMX-C-165-ONNCCE, 2014)

- **Densidad**

La densidad absoluta, se refiere al volumen de las partículas individuales solamente, y naturalmente, no es posible acomodar estas partículas para que no haya huecos entre ellas. Cuando el agregado se va a dosificar realmente por volumen, es necesario saber la masa de agregado que llenaría un recipiente de volumen unitario. Ésta se conoce como la densidad aparente del agregado y se

usa generalmente, para convertir cantidades por masa a cantidades por volumen (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004).

Esta prueba se realizó siguiendo las recomendaciones de la norma (NMX-C-165-ONNCCE, 2014).

**Equipo:**

- ✓ Muestra representativa de arena.
- ✓ Balanza
- ✓ Parrilla
- ✓ Charolas metálicas
- ✓ Molde troncocónico
- ✓ Pisón
- ✓ Espátula
- ✓ Frasco de Chapman
- ✓ Probeta

**Procedimiento:**

1. De la prueba de cuarteo se extrajo una muestra representativa de arena. Se colocó en un recipiente y se puso a saturar de 20 a 28 horas.
2. Se utilizó el procedimiento descrito en la prueba de humedad de absorción, para obtener la masa superficialmente seca.
3. Una vez que la arena alcanzo el estado de saturada y superficialmente seca, se obtuvo una masa de 300g aproximadamente, registrando este dato como Mh.
4. Se le añadió agua al frasco de Chapman hasta la marca de 0 ml, y se toma lectura como Mi en gramos.
5. Retiramos el agua hasta al nivel de 200ml y colocamos la arena dentro del frasco como se muestra en la **Ilustración 13**.
6. Se inclina el frasco 45° y se giró horizontalmente para retirar las burbujas de aire atrapadas.
7. Después se añade agua al frasco hasta la marca de 450 ml y se registró este dato como M2 como se muestra en la **Ilustración 14**.



Ilustración 13 Densidad de la arena. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 14 Densidad de la arena. Fuente: elaboración propia.

**Cálculos:**

$$DA = \frac{Mh}{M1 + Mh - M2}$$

Dónde:

DA: densidad relativa.

M1: masa del frasco de Chapman lleno (g).

Mh: masa de la muestra superficialmente seca (g).

M2: masa del frasco de Chapman, muestra y agua (g).

**Resultados:**

Tabla 10 Densidad de la arena para el prediseño de la mezcla.

Arena prediseño		
<b>M1</b>	750.60 g	775.10 g
<b>Mh</b>	332.70 g	336.30 g
<b>M2</b>	928.10 g	954.70 g
<b>DA</b>	2.14 g	2.15 g
<b>PROMEDIO</b>	2.145 g/cm <sup>3</sup>	

Tabla 11 Densidad de la arena para el diseño de la mezcla.

Arena diseño		
M1	775.20 g	774.70 g
Mh	311.30 g	310.60 g
M2	950.80 g	948.40 g
DA	2.29 g	2.27 g
PROMEDIO	2.281 g/cm <sup>3</sup>	

**Normativa utilizada:**

(NMX-C-165-ONNCCE, 2014).

La norma (NMX-C-530-ONNCCE, 2018) especifica valores de densidad en arena 2.4.

- **Granulometría o Análisis granulométrico en arenas.**

Pasar por una serie de mallas una muestra representativa de arena, para conocer la distribución de los diámetros de las partículas y el Módulo de Finura.

El Módulo de Finura es de máxima importancia ya que afecta directamente en la resistencia, en el manejo de la mezcla, en la cohesión de sus agregados y sobre todo, cuando se encuentra fuera de los valores de 2.3 a 3.1, requiere una mayor cantidad de cemento y lo cual impactaría directamente en el costo de producción.

**Equipo:**

- ✓ Una muestra representativa de arena de aproximadamente.
- ✓ Un juego de mallas con abertura cuadrada del No. 4 (4.75 mm), No. 8 (2.36 mm), No. 16 (1.18 mm), No. 30 (0.60 mm), No. 50 (0.30 mm), No. 100 (0.15 mm), No. 200 (0.075 mm) y una charola con su respectiva tapa.
- ✓ Equipo de Raf-Tap.
- ✓ Una báscula con aproximación de 0.1 gramo.
- ✓ Charolas metálicas y espátulas.
- ✓ Una parrilla de gas.
- ✓ Cepillos de cerdas suaves y de alambre.
- ✓ Hojas de papel.

**Procedimiento:**

1. Se tomó una muestra representativa de arena. Dicha muestra fue obtenida de la reducción por cuarteo anteriormente mencionada.
2. Se secó la muestra a una temperatura no mayor a 110°C hasta alcanzar una masa constante en la muestra de arena.
3. Posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente y se tomaron aproximadamente 500 gramos.
4. Se colocaron el juego de mallas en orden de mayor a menor (No. 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola) y se vació la muestra de aproximadamente 500 gramos en la parte superior, para posteriormente tapar la malla de mayor abertura.
5. Una vez tapado el juego de mallas, con ayuda de la maquina agitadora (Rotap) como se muestra en la **Ilustración 15**, se agitó la muestra durante un tiempo aproximado de 10 a 15 minutos.
6. Se procedió a tamizar el material retenido en cada una de las mallas, colocando el material en las hojas de papel, con ayuda de un cepillo de alambre se retiró el material que se encontraba entre los espacios de las mallas No. 4, 8, 16 y 30, mientras que las mallas No. 50, 100 y 200 se limpiaron con cepillo de cerdas suaves.
7. Una vez realizado en procedimiento mencionado del paso 6. Se tomo la lectura de masa retenida en cada malla de la muestra y en una superficie horizontal y limpia se dejaron las muestras para observar la distribución de tamaños como se muestra en la **Ilustración 16**.



Ilustración 16 Granulometría de la arena. Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 15 Colocación de mallas en el Ro tap. Fuente: elaboración propia.

### **Cálculos**

Masa retenida: se colocan los pesos respectivos del retenido de cada malla.

% retenida: se calcula de la sig. Forma.

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{peso retenido}}{\text{suma del peso retenido}} * 100$$

% acumulativo:

$$\% \text{ acumulativo} = \% \text{ retenido de la malla} + \% \text{ retenido de la malla anterior}$$

% que pasa:

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{ acumulativo de la malla}$$

Módulo de Finura:

$$MF = \frac{\Sigma \text{ de la malla \#8 hasta la malla \#100}}{100}$$

### **Resultados:**

Tabla 12 Granulometría arena para el prediseño de la mezcla.

<b>Masa de la muestra:</b>		519.80 g		
<b>Malla</b>	<b>Masa retenida parcial</b>	<b>% Retenido parcial</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>% Pasa</b>
	<b>(grs)</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>4</b>	14.40	2.77	2.77	97.23
<b>8</b>	116.65	22.44	25.21	74.79
<b>16</b>	141.90	27.30	52.51	47.49
<b>30</b>	90.35	17.38	69.89	30.11
<b>50</b>	55.80	10.73	80.63	19.37
<b>100</b>	42.05	8.09	88.72	11.28
<b>200</b>	30.95	5.95	94.67	5.33
<b>CHAROLA</b>	27.35	5.26	99.93	0.07
<b>SUMAS</b>	519.45	99.93	---	---

--	--	--	--	--

MF = 3.17

Tabla 13 Granulometría arena para el diseño de la mezcla.

Masa de la muestra:		505.50 g		
Malla	Masa retenida parcial	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasa
	(grs)	%	%	%
4	4.05	0.80	0.80	99.20
8	154.95	30.65	31.45	68.55
16	167.50	33.14	64.59	35.41
30	89.00	17.61	82.20	17.80
50	31.00	6.13	88.33	11.67
100	25.00	4.95	93.27	6.73
200	21.70	4.29	97.57	2.43
CHAROLA	12.30	2.43	100.00	0.00
SUMAS	505.50	100.00	---	---

MF = 3.60

Tabla 14 Granulometría arena para el diseño de la mezcla con ajuste para entrar a los límites del módulo de finura.

Masa de la muestra:		349.00 g		
Malla	Masa retenida parcial	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasa
	(grs)	%	%	%
4	0.00	0.00	0.00	100.00
8	0.00	0.00	0.00	100.00
16	165.20	47.34	47.34	52.66
30	93.90	26.91	74.24	25.76
50	47.30	13.55	87.79	12.21
100	24.45	7.01	94.80	5.20
200	9.00	2.58	97.38	2.62
CHAROLA	9.15	2.62	100.00	0.00
SUMAS	349.00	100.00	---	---

MF = 3.04

**Gráficas granulométricas:**

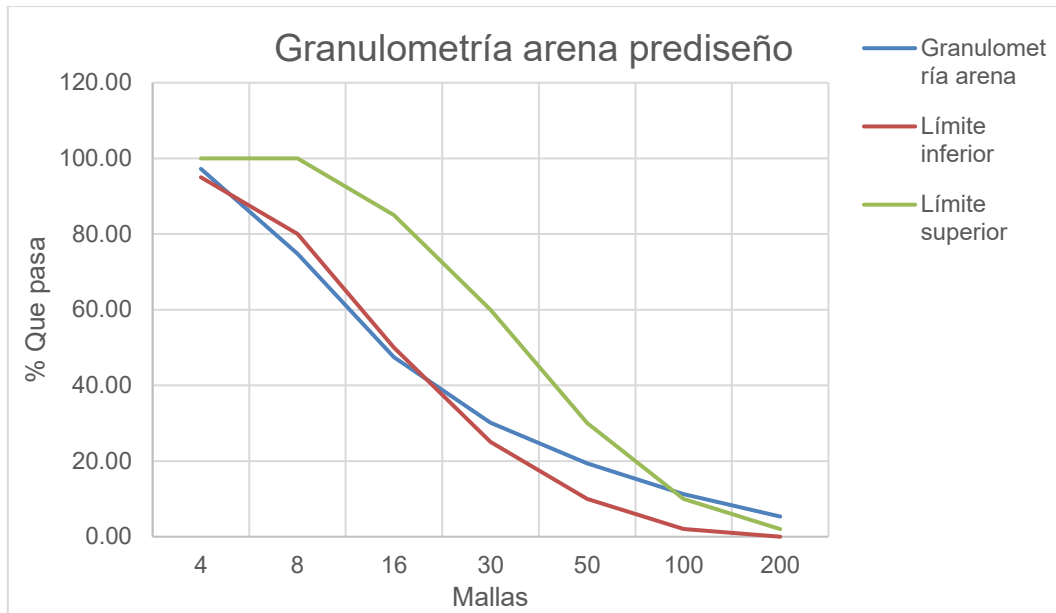


Figura 1 Granulometría arena para el prediseño de la mezcla.

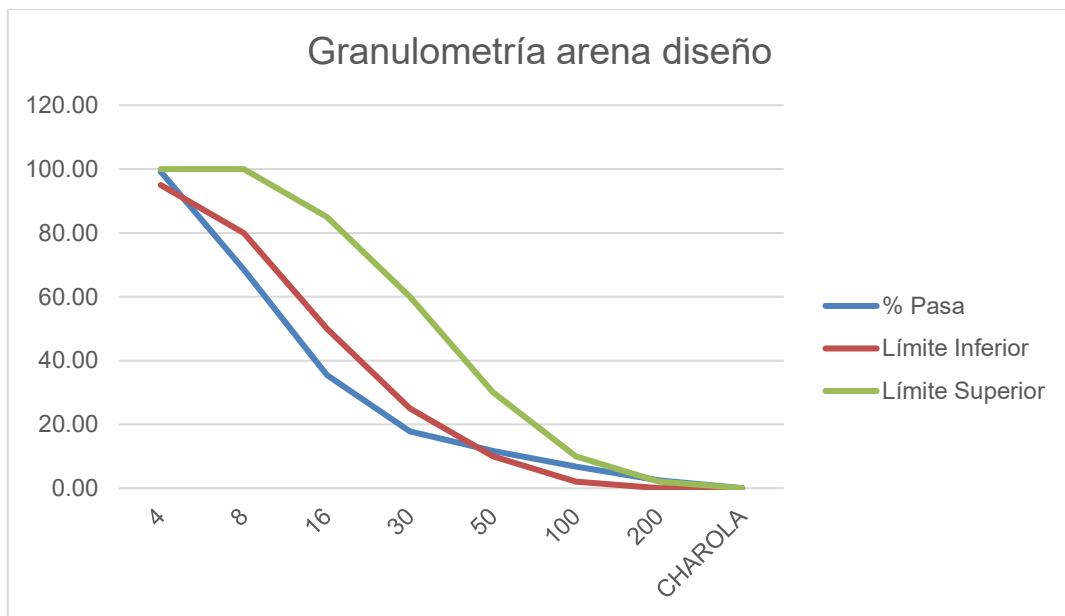


Figura 2 Granulometría arena para el diseño de la mezcla.

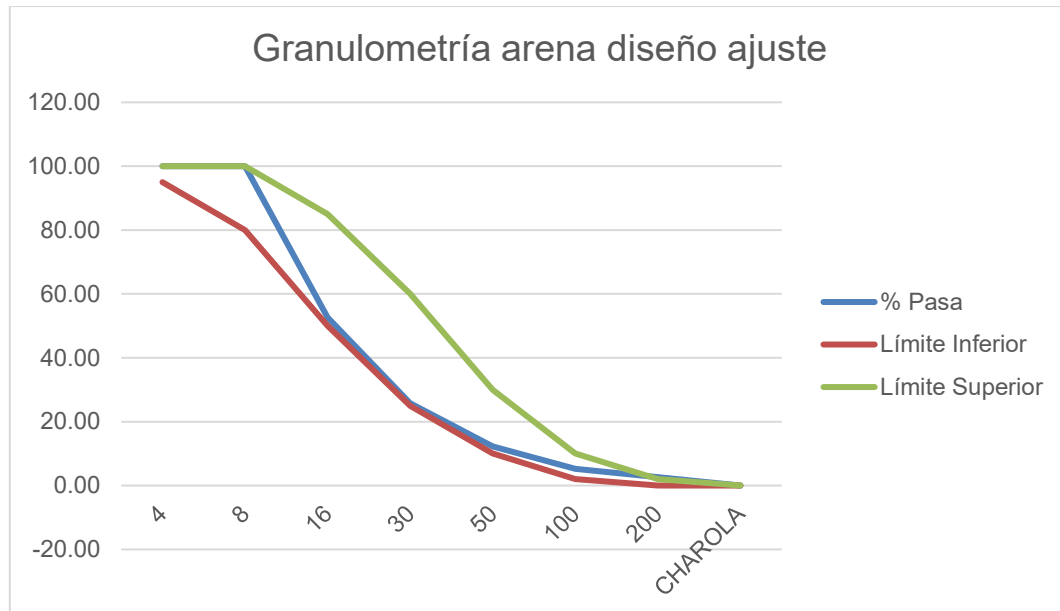


Figura 3 Granulometría arena para el diseño de la mezcla con ajuste para entrar a los límites del módulo de finura.

### **Normativa utilizada:**

(NMX-C-077-ONNCCE, 2019)

- **Nota:**

En el caso de las pruebas de MVSS, MVSV, densidad, humedad de absorción, se hicieron tanto en la etapa de prediseño, como en la etapa de diseño ya que se muestreo 2 veces diferentes, por lo que por normativa cada muestreo debe tener sus pruebas de calidad de los agregados pétreos, en el caso de granulometría se hizo a cada uno de los muestreos, pero ya en la etapa de diseño al estar muy por arriba que marca la norma se decidió hacer una corrección, retirando las mallas no. 4 y no.8, para que el módulo de finura quede en los rangos que marca la normatividad.

### **5.1.3. Caracterización de las gravas.**

El agregado grueso utilizado en las mezclas de concreto fue grava triturada obtenido del banco de material “La Roka” (**Ilustración 17**) ubicado a un costado de la carretera Morelia – Guadalajara, justo después de pasar la localidad de Cuto del Porvenir, perteneciente al municipio de Tarímbaro del estado de Michoacán.

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

El tipo de propiedad es particular, el material obtenido es una roca basáltica y el tratamiento que se le da a dicho material es trituración parcial y cribado con un tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " empleado para la elaboración de concreto hidráulico.



Ilustración 17 Banco de material "La Roka". Fuente: Google maps, agosto 2024.

Grava de residuo de concreto de demolición (RCD): Los materiales reciclados que se utilizaron en esta investigación fueron residuos de demolición del antiguo hospital general del Instituto del Seguro Social, IMSS de Morelia, ilustración 18. Así como los RCD del antiguo Centro de Readaptación Social "Francisco J. Mújica" de Morelia, construido en la década de los años 1950 y demolido parcialmente en el año 2017, ilustración 19.



SAMUEL HERRERA JR.



SAMUEL HERRERA JR.

Ilustración 18 antigua torre del IMSS de Morelia. Fuente: Christian Hernández, La voz de Michoacán, Julio del 2020.

Ilustración 19 antiguo cereso de Morelia. Fuente: Samuel Herrera Jr. La voz de Michoacán, Diciembre del 2020.

- **Cuarteo en gravas.**

Para realizar el cuarteo o reducción del agregado grueso, se aplicó el método “B” o cuarteo manual según lo especificado por la normativa (NMX-C-170-ONNCCE, 2019). La metodología corresponde a la misma que se aplicó en el agregado fino.

**Equipo:**

- ✓ Muestra de grava.
- ✓ Palas.
- ✓ Escobas.
- ✓ Rastrillos.

**Procedimiento:**

Método por paleo.

1. Se coloca la muestra de grava sobre una superficie limpia, horizontal y extendemos con el rastrillo en dicha superficie.
2. La dejamos en el sol para retirar la humedad del material y poder a realizar las pruebas.
3. Una vez seca, se cambia el material de un extremo a otro con ayuda de la pala, tratando de homogenizar el material además de apilar el material de forma cónica (se repite este procedimiento al menos 3 veces).
4. Una vez terminado el paso 3 se aplana la parte superior con la cara posterior de la pala y después se divide el material en 4 partes iguales (**Ilustración 20**), usando dos porciones opuestas. Si se requiere reducir la muestra aún más, se debe repetir el procedimiento hasta el tamaño de muestra requerido.



Ilustración 20 Cuarteo de grava. Fuente: Elaboración propia.

**Normativa utilizada:**

(NMX-C-170-ONNCCE, 2019)

- **Masa volumétrica seca y suelta (MVSS).**

La masa volumétrica de los agregados, como ya se mencionó anteriormente, es la masa del material por unidad de volumen, siendo el volumen ocupado por el material de un recipiente especificado (NMX-C-073-ONNCCE, 2014). El ensayo para la determinación de la masa volumétrica seca y suelta de una grava consiste en conocer una masa por unidad de volumen del agregado cuando el acomodo de sus partículas es en forma libre y natural.

**Equipo:**

- ✓ Muestra representativa de grava.
- ✓ Recipiente de masa y volumen conocido.
- ✓ Varilla punta de bala.
- ✓ Báscula de capacidad de 40 kg.
- ✓ Cucharones.

**Procedimiento:**

1. Del procedimiento de cuarteo, se obtuvo una muestra representativa, se dividió en cuatro partes y se utilizó los dos cuarteos opuestos para hacer la prueba.
2. Se llena el recipiente con un cucharón (**Ilustración 21**), dejando caer la grava a una altura aproximada de 5 cm del borde superior del recipiente, intercalando en cada uno de los cuarteos opuestos elegidos, cuidando el

acomodo de las partículas sea por caída libre, esto hasta que se llene completamente hasta formar un cono.

3. Se quita el exceso de material y se enrasa con ayuda de una varilla punta de bala.
4. Se llevó a obtener la masa de la muestra cómo se observa en la **Ilustración 22**.



Ilustración 21 Llenado de la MVSS. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 22 masa de la MVSS. Fuente: Elaboración propia.

**Cálculos:**

$$MVSS = \frac{M}{V}$$

Dónde:

MVSS= Masa volumétrica suelta y seca (g/cm<sup>3</sup>).

M= Masa de la arena (g).

V= Volumen del recipiente (cm<sup>3</sup>).

**Resultados:**

Tabla 15 MVSS de la grava triturada para el prediseño de la mezcla.

Grava "Roka" prediseño		
DATOS	M.V.S.S.	
Masa total	18,600.00 g	18,650.00 g
Masa del recipiente	2,930.00 g	2,930.00 g
Masa de arena	15,670.00 g	15,720.00 g
Volumen del recipiente	10,600.00 cm <sup>3</sup>	10,600.00 cm <sup>3</sup>

<b>Masa volumétrica</b>	1,478.30 kg/m <sup>3</sup>	1,483.02 kg/m <sup>3</sup>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1480.66 kg/m<sup>3</sup></b>	

Tabla 16 MVSS de la grava RCD para la mezcla.

<b>Grava "RCD"</b>		
<b>DATOS</b>	<b>M.V.S.S.</b>	
<b>Masa total</b>	14,360.00 g	14,450.00 g
<b>Masa del recipiente</b>	2,930.00 g	2,930.00 g
<b>Masa de arena</b>	11,430.00 g	11,520.00 g
<b>Volumen del recipiente</b>	10,600.00 cm <sup>3</sup>	10,600.00 cm <sup>3</sup>
<b>Masa volumétrica</b>	1,078.30 kg/m <sup>3</sup>	1,086.79 kg/m <sup>3</sup>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1082.55 kg/m<sup>3</sup></b>	

Tabla 17 MVSS de la grava triturada para el diseño de la mezcla.

<b>Grava "Roka" diseño</b>		
<b>DATOS</b>	<b>M.V.S.S.</b>	
<b>Masa total</b>	17,690.00 g	17,590.00 g
<b>Masa del recipiente</b>	2,895.00 g	2,895.00 g
<b>Masa de arena</b>	14,795.00 g	14,695.00 g
<b>Volumen del recipiente</b>	10,600.00 cm <sup>3</sup>	10,600.00 cm <sup>3</sup>
<b>Masa volumétrica</b>	1,395.75 kg/m <sup>3</sup>	1,386.32 kg/m <sup>3</sup>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1391.04 kg/m<sup>3</sup></b>	

**Normativa utilizada:**

(NMX-C-073-ONNCCE, 2004)

- **Masa volumétrica seca y varillada (MVSV)**

Determinar la masa por unidad de volumen de un material, cuando el material presenta una compactación, para esta prueba seguimos el procedimiento de la norma (NMX-C-073-ONNCCE, 2004).

**Equipo:**

- ✓ Muestra representativa de grava.
- ✓ Recipiente de masa y volumen conocido.

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

- ✓ Varilla punta de bala.
- ✓ Báscula de capacidad de 40 kg.
- ✓ Cucharones.

### **Procedimiento:**

1. Del procedimiento de cuarteo, se obtuvo una muestra representativa, se dividió en cuatro partes y se utilizó los dos cuarteos opuestos para hacer la prueba.
2. Se vació la grava dentro del recipiente, dejándose caer a una altura de 5cm aproximadamente a partir de la arista superior del recipiente, intercalando en cada uno de los cuarteos opuestos seleccionados, llenando el recipiente en 3 capas y dando 25 compactaciones con la varilla en cada capa de grava (**Ilustración 23**), cuidando no penetrar la capa inferior al dar las compactaciones.
3. Se retiró el exceso de material y se enrasó con la varilla o con la mano como se observa en la **Ilustración 24**.
4. Se llevó a obtener la masa de la muestra.



Ilustración 23 Compactación con la varilla de la grava. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 24 enrasado de la grava. Fuente: Elaboración propia.

### **Cálculos:**

$$MVSV = \frac{M}{V}$$

Dónde:

MVSV= Masa volumétrica suelta y varillada (g/cm<sup>3</sup>).

M= Masa de la arena (g).

V=Volumen del recipiente (cm<sup>3</sup>).

**Resultados:**

Tabla 18 MVSV de la grava triturada para el prediseño de la mezcla.

<b>Grava "Roka" prediseño</b>		
<b>DATOS</b>	<b>M.V.S.V.</b>	
<b>Masa total</b>	20,140.00 g	19,950.00 g
<b>Masa del recipiente</b>	2,930.00 g	2,930.00 g
<b>Masa de grava</b>	17,210.00 g	17,020.00 g
<b>Volumen recipiente</b>	10,600.00 cm <sup>3</sup>	10,600.00 cm <sup>3</sup>
<b>Masa Volumétrica</b>	1,623.58 kg/m <sup>3</sup>	1,605.66 kg/m <sup>3</sup>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1614.62 kg/m<sup>3</sup></b>	

Tabla 19 MVSV de la grava RCD para la mezcla.

<b>Grava "RCD"</b>		
<b>DATOS</b>	<b>M.V.S.V.</b>	
<b>Masa total</b>	15,550.00 g	15,450.00 g
<b>Masa del recipiente</b>	2,930.00 g	2,930.00 g
<b>Masa de grava</b>	12,620.00 g	12,520.00 g
<b>Volumen recipiente</b>	10,600.00 cm <sup>3</sup>	10,600.00 cm <sup>3</sup>
<b>Masa Volumétrica</b>	1,190.57 Kg/m <sup>3</sup>	1,181.13 Kg/m <sup>3</sup>
<b>PROMEDIO</b>	<b>1185.85 kg/m<sup>3</sup></b>	

Tabla 20 MVSV de la grava triturada para el diseño de la mezcla.

<b>Grava "Roka" diseño</b>		
<b>DATOS</b>	<b>M.V.S.V.</b>	
<b>Masa total</b>	19,100.00 g	19,050.00 g
<b>Masa del recipiente</b>	2,895.00 g	2,895.00 g
<b>Masa de arena</b>	16,205.00 g	16,155.00 g
<b>Volumen recipiente</b>	10,600.00 cm <sup>3</sup>	10,600.00 cm <sup>3</sup>
<b>Masa Volumétrica</b>	1,528.77 kg/m <sup>3</sup>	1,524.06 kg/m <sup>3</sup>

<b>PROMEDIO</b>	<b>1526.42 kg/m<sup>3</sup></b>
-----------------	---------------------------------

**Normativa utilizada:**

(NMX-C-073-ONNCCE, 2004)

La norma (NMX-C-111-ONNCCE, 2018) específica la masa volumétrica compactada con varilla debe ser mayor que 1120 kg/m<sup>3</sup>.

- **Humedad de absorción**

La absorción es definida como el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es saturado en agua durante un tiempo determinado a temperatura ambiente; este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas. Dicha absorción, se expresa como por ciento de la masa seca (NMX-C-164-ONNCCE, 2014).

**Equipo:**

- ✓ Muestra representativa de grava.
- ✓ Franela.
- ✓ Parrilla.
- ✓ Espátulas.
- ✓ Vidrio
- ✓ Báscula con aproximación de 0.2 g.
- ✓ Mallas ¾ y 3/8".

**Procedimiento:**

1. Se toma la muestra del material que pasa la malla ¾ y se retiene en la malla 3/8, de ese material obtenido se dejó saturando de 20 a 28 horas, como se muestra en la ilustración 25.
2. Una vez pasado el tiempo de saturado, se seca el material superficialmente con una franela una masa de aproximadamente 500g. registramos ese valor como masa saturada y superficialmente seca (Mh).
3. Se coloca el material en una charola dejándolo en la parrilla para eliminar el exceso de agua, cuándo está completamente seco se coloca el vidrio sobre la

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

muestra y si no se empaña o se forman pequeñas gotas de agua, el material alcanzó el estado seco y se retira de la parrilla.

4. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se registró este dato como masa seca (Ms).



Ilustración 25 Saturación de la grava triturada. Fuente: Elaboración propia.

### **Cálculos:**

$$A = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Dónde:

A= Humedad de absorción (%).

Mh= Masa de muestra y superficialmente seca (g).

Ms= Masa seca (g).

### **Resultados:**

Tabla 21 Humedad de absorción de la grava triturada para el prediseño de la mezcla.

DATOS	Grava "Roka" prediseño	
	Masa húmeda	519.40 g
Masa Seca	512.50 g	515.60 g

<b>Humedad</b>	6.90 g	6.60 g
<b>% Absorción</b>	1.35%	1.28%
<b>PROMEDIO</b>	1.31%	

Tabla 22 Humedad de absorción de la grava RCD para la mezcla.

<b>DATOS</b>	<b>Grava "RCD"</b>	
<b>Masa húmeda</b>	507.40 g	507.20 g
<b>Masa Seca</b>	473.90 g	474.00 g
<b>Humedad</b>	33.50 g	33.20 g
<b>% Absorción</b>	7.07%	7.00%
<b>PROMEDIO</b>	7.04%	

Tabla 23 Humedad de absorción de la grava triturada para el diseño de la mezcla.

<b>DATOS</b>	<b>Grava "Roka" diseño</b>	
<b>Masa húmeda</b>	504.00 g	504.90 g
<b>Masa Seca</b>	495.90 g	496.00 g
<b>Humedad</b>	8.10 g	8.90 g
<b>% Absorción</b>	1.63%	1.79%
<b>PROMEDIO</b>	1.71%	

**Normativa utilizada:**

(NMX-C-164-ONNCCE, 2014)

- **Densidad**

La densidad del agregado grueso, de acuerdo con la norma(NMX-C-164-ONNCCE, 2014), es la relación de la densidad del agregado saturado y superficialmente seco a la densidad del agua, equivalente a la relación de la masa del agregado saturado superficialmente seco a la masa del volumen del agua desalojada, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas y la masa de las partículas de agua que se incluyen en los poros que se encuentran dentro de las mismas.

**Equipo:**

- ✓ Muestra representativa de grava.
- ✓ Franela.
- ✓ Picnómetro.

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

- ✓ Probeta graduada.
- ✓ Báscula con aproximación de 0.2 g.
- ✓ Mallas  $\frac{3}{4}$  y  $\frac{3}{8}$ "

### **Procedimiento:**

1. Se toma la muestra del material que pasa la malla  $\frac{3}{4}$  y se retiene en la malla  $\frac{3}{8}$ , se pone a saturar de 20 a 28 horas.
2. Una vez pasado el tiempo de saturado, se seca superficialmente con una franela una muestra de aproximadamente 500g. registramos ese valor como masa de la muestra (M).
3. Se coloca picnómetro en una superficie plana, se llena de agua hasta el nivel del orificio, esperamos a que deje de escurrir el exceso de agua y se procede a colocar la muestra de grava dentro, como se muestra en la ilustración 26.
4. Se recibe el agua desalojada en una probeta graduada durante hasta que deje de caer el agua.
5. El volumen de agua desalojada en la probeta corresponde al volumen (V) de las partículas de grava.



Ilustración 26 Densidad con picnómetro. Fuente: Elaboración propia.

### **Cálculos:**

$$D = \frac{M}{V}$$

Donde.

D= Densidad (g/cm<sup>3</sup>).

M= Masa de la grava (g).

V= Volumen de la grava (cm<sup>3</sup>).

**Resultados:**

Tabla 24 Densidad de la grava triturada para el prediseño de la mezcla.

<b>Grava "Roka" prediseño</b>		
<b>Volumen desalojado</b>	189.00 cm <sup>3</sup>	190.00 cm <sup>3</sup>
<b>Masa húmeda</b>	511.20 g	516.50 g
<b>Densidad relativa</b>	2.70 g/cm <sup>3</sup>	2.72 g/cm <sup>3</sup>
<b>PROMEDIO</b>	2.712 g/cm <sup>3</sup>	

Tabla 25 Densidad de la grava RCD para la mezcla.

<b>Grava "RCD"</b>		
<b>Volumen desalojado</b>	235.00 cm <sup>3</sup>	236.00 cm <sup>3</sup>
<b>Masa húmeda</b>	507.40 g	510.80 g
<b>Densidad relativa</b>	2.16 g/cm <sup>3</sup>	2.16 g/cm <sup>3</sup>
<b>PROMEDIO</b>	2.162 g/cm <sup>3</sup>	

Tabla 26 Densidad de la grava triturada para el diseño de la mezcla.

<b>Grava "Roka" diseño</b>		
<b>Volumen desalojado</b>	200.00 cm <sup>3</sup>	195.00 cm <sup>3</sup>
<b>Masa húmeda</b>	512.80 g	502.50 g
<b>Densidad relativa</b>	2.56 g/cm <sup>3</sup>	2.58 g/cm <sup>3</sup>
<b>PROMEDIO</b>	2.570 g/cm <sup>3</sup>	

**Normativa utilizada:**

(NMX-C-164-ONNCCE, 2014)

- **Granulometría y tamaño máximo del agregado grueso.**

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

El tamaño de las partículas de la grava, se determinan por medio del tamizado en mallas o cribas con unas aberturas especificadas en la norma (NMX-C-077-ONNCCE, 2019).

El tamaño máximo de agregado que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para mayores tamaños.

El tamaño máximo de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual todo el agregado debe pasar.

### **Equipo:**

- ✓ Muestra representativa de grava.
- ✓ Un juego de mallas o cribas con abertura cuadrada de 1", ¾", ½", 3/8" y No.4.
- ✓ Charolas metálicas.
- ✓ Balanza.

### **Procedimiento:**

1. De la prueba de cuarteo en gravas, obtenemos una muestra representativa, secada previamente.
2. Colocamos las mallas de mayor a menor.
3. Pasamos el material por las mallas, agitándolas con las manos, para que las partículas más pequeñas pasen a la malla siguiente como se observa en la **Ilustración 36**.
4. Este procedimiento mencionado en el paso 3 se repite hasta terminar la muestra de grava.

### **Cálculos:**

1. El porcentaje retenido se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{masa retenida en la malla}}{\text{masa de la muestra}} \times 100$$

2. Porcentaje acumulado se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ acumulado de la malla} = \% \text{ acumulado} + \% \text{ retenido en la malla}$$

3. Porcentaje de la malla que pasa:

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{ acumulado de la malla}$$

4. Tamaño máximo de la grava se obtiene observando en la columna de los % retenidos y el tamaño máximo será el tamaño de la malla que retenga el 5% o más de la masa de la muestra.



Ilustración 27 Granulometría de la grava triturada. Fuente: Elaboración propia.

### **Resultados:**

Tabla 27 Granulometría de la grava triturada para el prediseño de la mezcla.

<b>Masa de la muestra:</b>		15,635.00 g		
<b>Malla</b>	<b>Masa retenida parcial</b>	<b>% Retenido parcial</b>	<b>% Retenido acumulado</b>	<b>% Pasa</b>
	<b>(g)</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
<b>1 1/2 "</b>	0.00	0.00	0.00	100.00
<b>1 "</b>	0.00	0.00	0.00	100.00
<b>3/4 "</b>	9550.00	61.08	61.08	38.92
<b>1/2"</b>	5090.00	32.56	93.64	6.36
<b>3/8 "</b>	795.00	5.08	98.72	1.28
<b>No. 4</b>	190.00	1.22	99.94	0.06
<b>PASA No.4</b>	10.00	0.06	100.00	0.00
<b>SUMAS</b>	<b>15,635.00</b>	100.00	---	---

Tabla 28 Granulometría de la grava RCD para la mezcla.

Masa de la muestra:		11,485.00 g		
Malla	Masa retenida parcial	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasa
	(g)	%	%	%
1 1/2 "	0.00	0.00	0.00	100.00
1 "	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4 "	2272.50	19.79	19.79	80.21
1/2"	3330.00	28.99	48.78	51.22
3/8 "	1827.50	15.91	64.69	35.31
No. 4	3515.00	30.61	95.30	4.70
PASA No.4	540.00	4.70	100.00	0.00
<b>SUMAS</b>	<b>11,485.00</b>	<b>100.00</b>	<b>---</b>	<b>---</b>

Tabla 29 Granulometría de la grava combinada de 80% triturada y 20 % de RCD para el prediseño de la mezcla.

Masa de la muestra:		13,965.00 g		
Malla	Masa retenida parcial	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasa
	(g)	%	%	%
1 1/2 "	0.00	0.00	0.00	100.00
1 "	20.00	0.14	0.14	99.86
3/4 "	7255.00	51.95	52.09	47.91
1/2"	4312.50	30.88	82.98	17.02
3/8 "	1120.00	8.02	91.00	9.00
No. 4	1115.00	7.98	98.98	1.02
PASA No.4	142.50	1.02	100.00	0.00
<b>SUMAS</b>	<b>13,965.00</b>	<b>100.00</b>	<b>---</b>	<b>---</b>

Tabla 30 Granulometría de la grava triturada para el diseño de la mezcla.

Masa de la muestra:		14,725.00 g		
Malla	Masa retenida parcial	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasa
	(g)	%	%	%
1 1/2 "	0.00	0.00	0.00	100.00
1 "	37.50	0.25	0.25	99.75
3/4 "	4900.00	33.28	33.53	66.47
1/2"	4917.50	33.40	66.93	33.07
3/8 "	2815.00	19.12	86.04	13.96
No. 4	1667.50	11.32	97.37	2.63
PASA No.4	387.50	2.63	100.00	0.00

<b>SUMAS</b>	<b>14,725.00</b>	100.00	---	---
--------------	------------------	--------	-----	-----

**Gráfica granulométrica:**

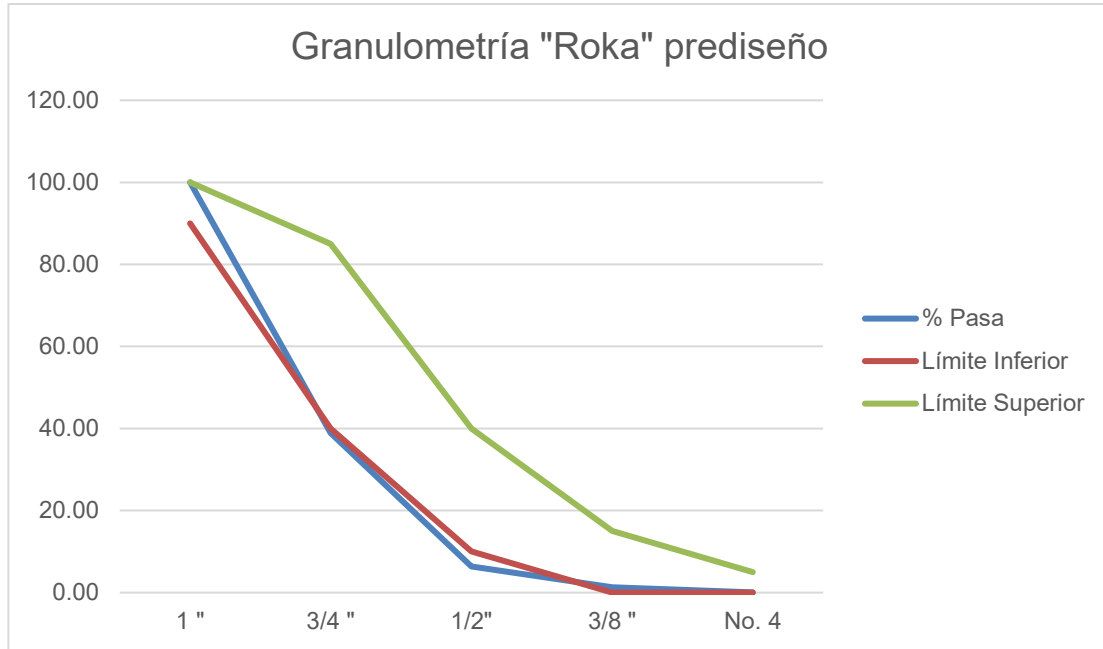


Figura 4 Curva granulométrica de la grava triturada para el prediseño de la mezcla.

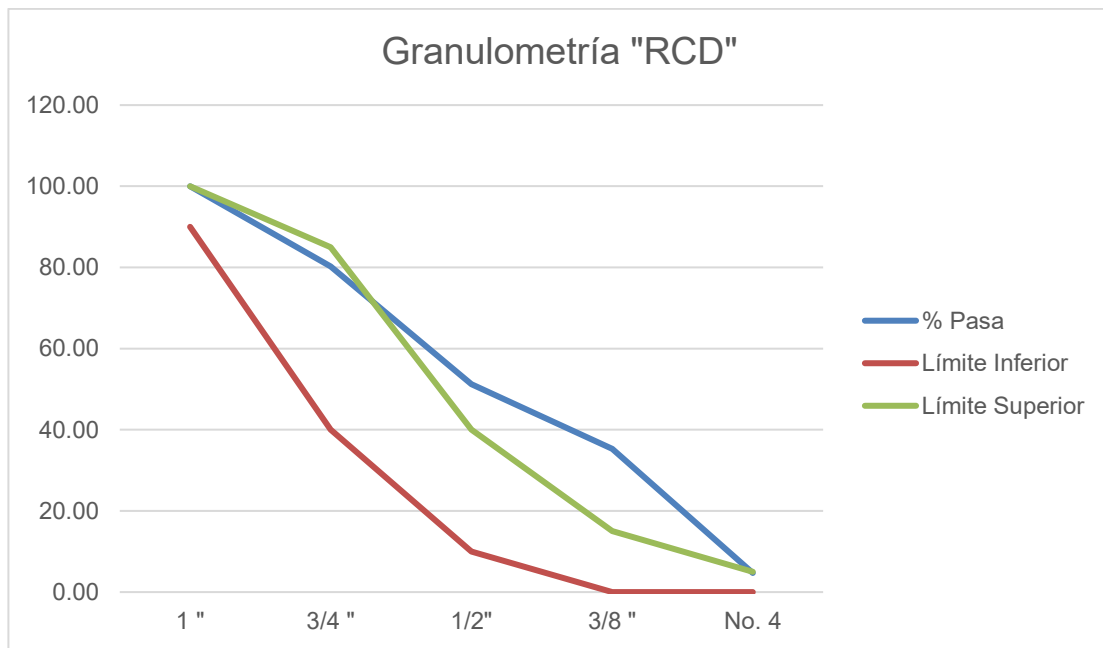


Figura 5 Curva granulométrica de la grava RCD para la mezcla.

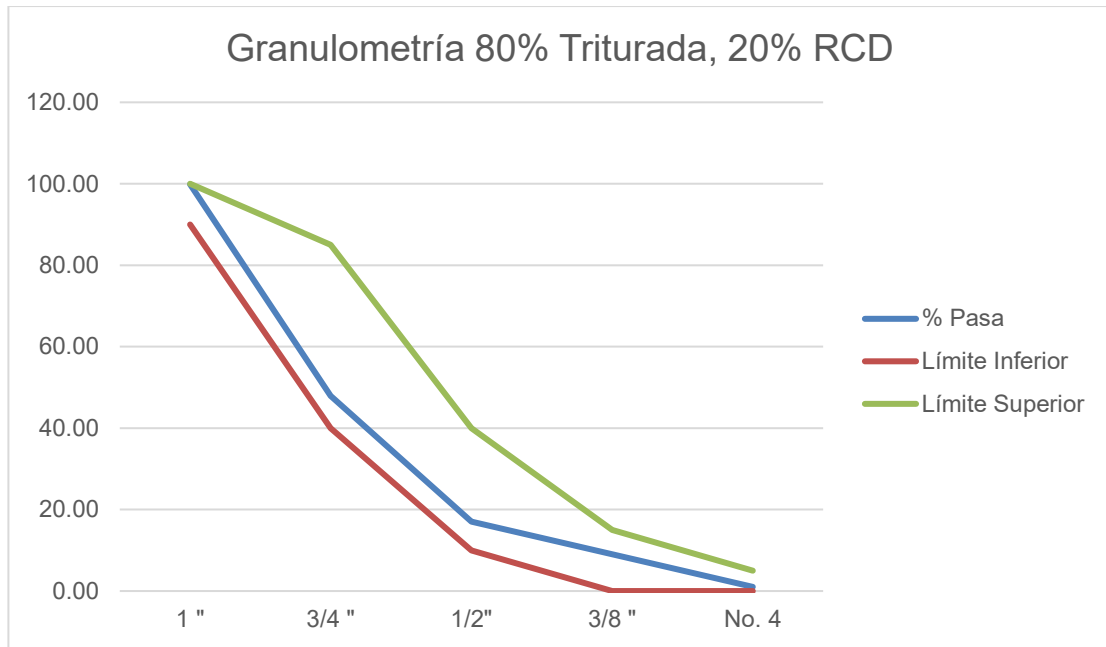


Figura 6 Curva granulométrica de la grava combinada de 80% triturada y 20 % de RCD para el prediseño de la mezcla.

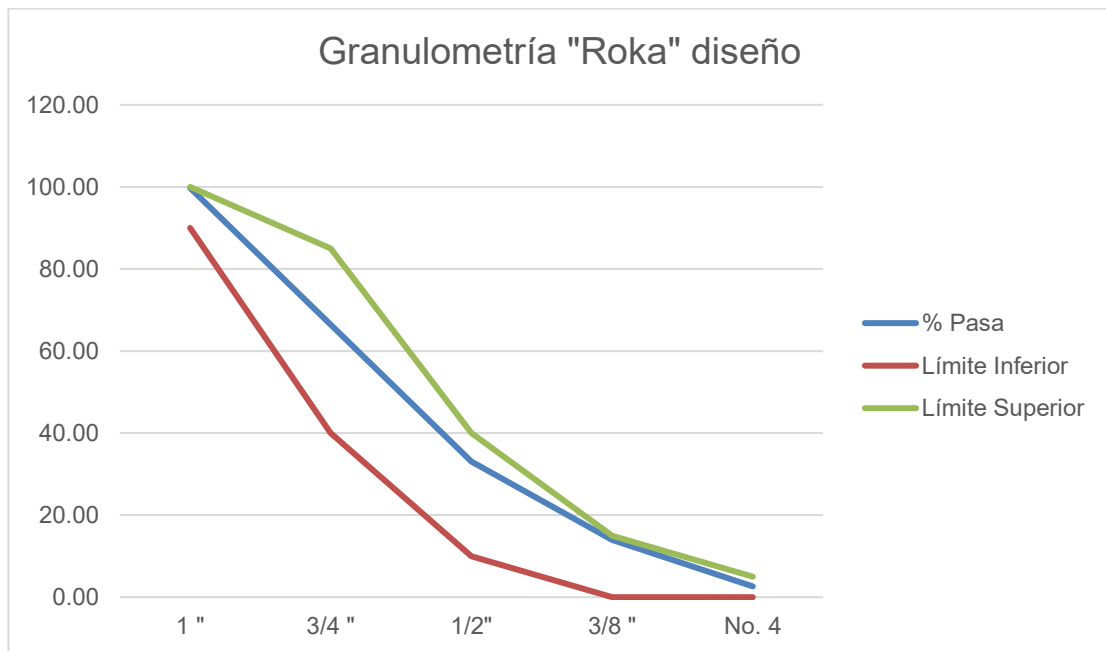


Figura 7 Curva granulométrica de la grava triturada para el prediseño de la mezcla

**Normativa utilizada:**

(NMX-C-077-ONNCCE, 2019)

- **Nota:**

A cada uno de los muestreos de la grava triturada se le realizó las pruebas de MVSS, MVSV, densidad, absorción y granulometría, ya que al ser diferentes muestreos por normativa se les debe de realizar las pruebas de calidad de los agregados. En el caso de la grava de RCD, al utilizarse el mismo material tanto en la etapa de prediseño como de diseño solo se le hizo una vez la prueba de calidad de material, en granulometría en la etapa de prediseño al estar la grava triturada con tendencia a las mallas superiores, se obtuvo una mezcla para ver como se comportaban los tamaños ya mezclados, ya en la etapa de diseño no se hizo la mezcla ya que la grava triturada sus tamaños estaban dentro de los rangos de la granulometría.

### **5.2. Obtención de fibras textiles.**

El material que fue donado por la empresa RETEX, localizada como se muestra en la **ilustración 28** cerca de la localidad de Moroleón, Guanajuato. Fueron varios residuos textiles, los primeros fueron mediante un proceso en el cual iban deshilando los residuos textiles, para volverlos a utilizar, el cual contaba con el primer proceso que los cortaba mediante una desfibriladora los residuos textiles y después las pasaba a la maquina que se muestra en la **ilustración 29**, la cual las volvía a deshilar 3 veces más hasta obtener el tamaño para poder volver a reutilizarse. Otros residuos como los de hilo de alquitrán nos lo dieron de lo que les quedaba de los rollos de hilos, el de relleno de colchón nos lo proporcionaron tal y cual rellenan las almohadas o colchones. Por ultimo los residuos spandex y poliéster que estaban mezclados y tal cual como se lo entregaron a ellos nos lo proporcionaron. Los residuos fueron clasificados en bolsas según su nivel de procesamiento para utilizarlos en las mezclas de concreto, como se muestra en la **ilustración 30**.

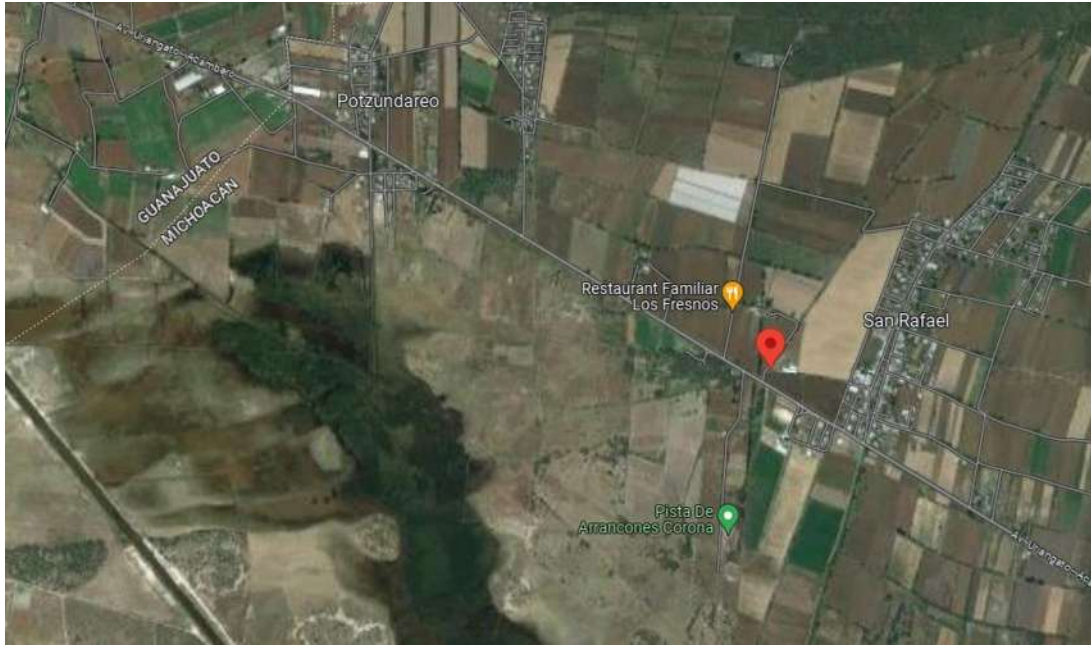


Ilustración 28 Localización de la fábrica RETEX, Google Maps, septiembre del 2023



Ilustración 29 Procesos de trituración de los residuos textiles. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 30 Llenado de bolsas de los diferentes residuos textiles. Fuente: Elaboración propia

### **Incorporación de fibras textiles en el concreto.**

Las fibras textiles se utilizaron tanto en la etapa de prediseño y diseño tal cual fueron entregadas por la empresa RETEX. Esto para observar su comportamiento tal cual fueron entregadas y si no era necesario modificarlas para la elaboración de mezclas de concreto.

En la etapa de prediseño se hizo manualmente la mezcla con palas y para no hacer corrección por humedad de absorción se dejaron saturando como un material pétreo común, quitando el excedente de agua y que estuviera húmeda únicamente superficialmente. Por lo cual las fibras tendieron a formar grumos entre ellas y complicaba que se homogenizara la mezcla, por consiguiente, al momento de elaborar los especímenes de concreto, se encontraba un acomodo preferencial en ciertas zonas del cilindro por heterogeneidad de la mezcla.

Ya en la etapa del diseño final se hizo el mezclado mediante proceso mecánico de revoladora, y al observar que la mayoría de las fibras textiles superaba el 100% de humedad de absorción, se optó por dejar el 100% de absorción de todas las fibras textiles que se continuo en esta etapa del proyecto, para evitar que al momento de saturarse las fibras textiles se formaran grumos, se optó mejor por hacer corrección por humedad de absorción como se observa en las **tablas 31 a 36**, aun así, las fibras textiles se llegaron a enredar en las aspas de la revoladora, pero las fibras al no haber sido saturadas previamente, la mezclas con fibras textiles fueron un más homogéneas que en la etapa de prediseño, lo que disminuyó el acomodo preferencial en los especímenes de concreto.

Las fibras que se les sacó la absorción fueron las siguientes:

1. Residuo de segunda trituración (RST).
2. Residuo de tercera trituración (RTT).
3. Residuo de ultima trituración (RUT).
4. Residuo de poliéster y spandex (RPS).
5. Residuo de hilo de alquitrán (RHA)
6. Residuo de relleno de colchón (RRC).

Tabla 31 Absorción de RST.

DATOS	RST
Masa húmeda	188.50 g
Masa Seca	94.40 g
Humedad	94.10 g
% Absorción	99.68%

Tabla 32 Absorción de RTT.

DATOS	RTT
Masa húmeda	293.20 g
Masa Seca	145.70 g
Humedad	147.50 g
% Absorción	101.24%

Tabla 33 Absorción de RUT.

DATOS	RUT
Masa húmeda	87.00 g
Masa Seca	42.50 g
Humedad	44.50 g
% Absorción	104.71%

Tabla 34 Absorción de RPS.

DATOS	RPS
Masa húmeda	160.00 g
Masa Seca	74.40 g
Humedad	85.60 g
% Absorción	115.05%

Tabla 35 Absorción de RHA.

DATOS	RHA
Masa húmeda	258.10 g
Masa Seca	128.20 g
Humedad	129.90 g
% Absorción	101.33%

Tabla 36 Absorción de RRC.

DATOS	RRC
Masa húmeda	152.00 g
Masa Seca	74.30 g
Humedad	77.70 g
% Absorción	104.58%

El promedio de todos los tipos de fibras textiles es de 104.43%, por lo que por practicidad para el diseño de la mezcla por corrección de humedad se utilizara una corrección por humedad de absorción de las fibras del 100%.

### 5.3. Diseño de mezcla.

Para esta investigación se realizaron 7 mezclas de concreto en el prediseño, las mezclas fueron adicionadas con 2% de fibras textiles con respecto a la masa del cemento. Todas las mezclas en esta parte de la investigación fueron 80% de agregado triturado y 20% de agregado reciclado respecto a su MVSV. Las mezclas fueron las siguientes:

1. Mezcla testigo (Testigo).
2. Residuo de segunda trituración (RST).
3. Residuo de tercera trituración (RTT).
4. Residuo de ultima trituración (RUT).
5. Residuo de relleno de colchón (RRC).

6. Residuo de poliéster y spandex (RPS).
7. Residuo de hilo de alquitrán (RHA).

Ya en la etapa de diseño se eligieron la que mejor comportamiento tuvieron a compresión, para continuar la investigación se dejó la misma cantidad de fibras adicionadas con respecto al cemento y la misma proporción de grava, pero en esta etapa se realizó un testigo con el 100% de material triturado. Las mezclas fueron las siguientes.

1. Mezcla testigo (Testigo).
2. Mezcla testigo reciclado (Testigo R).
3. Residuo de tercera trituración (RTT).
4. Residuo de ultima trituración (RUT).
5. Residuo de hilo de alquitrán (RHA).

**Nota:** aunque la mezcla RST obtuvo los buenos resultados, siendo la segunda mezcla en compresión, solo por debajo de la mezcla testigo, se descartó, ya que se hizo preselección de las fibras, ya que algunas fibras textiles tenían grosores y tamaños grandes, al ser de los primeros procesos de trituración. Como resultado de dicha preselección de tamaños las fibras incorporadas a la mezcla eran muy similares a fibras de tercera trituración (RTT).

### 5.3.1 Prediseño.

Tabla 37 Características de los materiales para el prediseño de la mezcla.

Material	MVSS	MVSV	Absorción	Densidad	Módulo de finura	Tamaño máximo
Arena	1117.00	1197.00	12.49	2.15	3.20	
Grava "Roka"	1480.00	1615.00	1.31	2.71		3/4"
Grava "RCD"	1083.00	1186.00	7.04	2.16		3/4"
Cemento	1490.00			3.10		

1. Se tienen las características físicas de los agregados pétreos y del cemento que se estarán implementando a la mezcla de concreto, **tabla 38**. Los materiales pétreos, antes de la mezcla, pasaron por un proceso de secado total, por lo que, no presentan humedad actual. Se propuso un diseño de mezcla de 300 kgf/cm<sup>2</sup>.

2. Se propuso un revenimiento de 15 cm para ser una mezcla trabajable.

Calculamos la cantidad de agua que debe tener un metro cubico de concreto y el aire atrapado que se encuentra a la hora del mezclado. De acuerdo al revenimiento propuesto (15 cm) y el tamaño máximo del agregado grueso (3/4”), obtenemos de la tabla 38 la cantidad de agua requerida en el diseño y el porcentaje aire atrapado.

Tabla 38 Cantidad de agua para el diseño de concreto hidráulico.

REQUISITOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS Y TAMAÑOS MAXIMOS NOMINALES DE AGREGADO.																
Agua, kg. / m <sup>3</sup> de Concreto																
Tamaños máximos nominales de agregado, en (mm).	3/8”	1/2”	3/4”	1”	1 1/2”	2”	3”	6”								
ò	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150								
Revenimiento en centímetros	Concreto sin aire incluido															
ò																
De 2.5 a 5									207	199	190	179	160	154	130	113
De 7.5 a 10									228	216	205	193	175	169	145	124
De 15 a 17.5	243	228	216	202	185	178	160	---								
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin inclusión de aire, expresado como un porcentaje.	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2								
Promedio recomendado de contenido de aire total, según el nivel de exposición (%)																
ò																
Exposición ligera									4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada									6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4								

El concreto de esta investigación es un concreto sin aire incluido, por lo que tenemos 216 L/m<sup>3</sup> de agua y 2% de aire atrapado en el concreto.

Cálculo de volumen de aire atrapado:

$$\text{volumen de aire atrapado} = 0.02 \times 1000 \text{ L/m}^3$$

$$\text{volumen de aire atrapado} = 20 \text{ L/m}^3$$

3. Cálculo de la relación agua-cemento por peso y la cantidad de cemento que se requiere por metro cúbico de mezcla, ingresando a la **tabla 39** recomendada por el ACI 211.

Se ingresó con la resistencia a compresión de diseño a los 28 días (300 kg/cm<sup>2</sup>) y como ya se ha mencionado, la mezcla es sin aire incluido.

Tabla 39 Relación Agua/Cemento.

<b>CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO</b>		
<b>Resistencia a la compresión a los 28 días, kgf./cm<sup>2</sup></b>	<b>Relación Agua/Cemento por peso</b>	
	<b>Concreto</b>	<b>Concreto</b>
	<b>Sin aire incluido</b>	<b>Con aire incluido</b>
450	0.38	0.31
400	0.43	0.34
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.72

Para obtener la relación agua-cemento tenemos que, la resistencia a la compresión a los 28 días de diseño es de 300 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que no tenemos que interpolar los valores.

$$Rel. a/c = 0.55$$

Teniendo la relación agua/cemento, calculamos el contenido de cemento.

$$Cantidad\ de\ cemento\ en\ peso = \frac{\text{litros de agua (kg/m}^3\text{)}}{\text{Relación agua - cemento}}$$

$$Cantidad\ de\ cemento\ en\ peso = \frac{216\ kg/m^3}{0.55}$$

$$Cantidad\ de\ cemento\ en\ peso = 392.727\ kg/m^3$$

Calculamos el volumen de cemento requerido para la mezcla

$$Volumen\ de\ cemento = \frac{\text{Cantidad de cemento (kg/m}^3\text{)}}{\text{Densidad de cemento}}$$

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{392.727 \text{ kg/m}^3}{3.10}$$

$$\text{Volumen de cemento} = 126.69 \text{ L/m}^3$$

4. Contenido de agregado grueso por volumen unitario de concreto, para esto ingresamos a la tabla mostrada a continuación, con el tamaño máximo del agregado (19 mm) y el módulo de finura (3.20), **tabla 40**.

Tabla 40 Volumen de agregado grueso varillado en seco, por diferentes módulos de finura.

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO							
Tamaño máximo del Agregado (mm)	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para diferentes <b>módulos de finura</b> de la arena.						
	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40	0.38
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.47
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60	0.58	0.56	0.54
25(1")	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59
37.5(1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
50(2")	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66
75(3")	0.82	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70
150(6")	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75

Al valor de módulo de finura está dentro de la **tabla 40**, no es necesario interpolar.

$$\text{Volumen de agregado grueso varillado en seco} = \frac{(0.62 - 0.64)(2.67 - 2.60)}{(2.80 - 2.60)} + 0.64$$

$$\text{Volumen de agregado grueso varillado en seco} = 0.58$$

Calculamos la masa del agregado grueso para un metro cubico de mezcla, a partir del volumen de agregado varillado en seco. En el prediseño todas las mezclas que se realizaron tuvieron un 80% de agregado triturado un y 20% de agregado reciclado.

$$\text{Masa de la grava} = \text{Volumen del agregado varillado en seco} \times \text{MVS}$$

$$\text{Masa de la grava triturada} = 0.58 \times 1615 \text{ kg/m}^3 \times 0.8$$

$$\text{Masa de la grava} = 749.36 \text{ kg/m}^3$$

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

$$\text{Masa de la grava reciclada} = 0.58 \times 1186 \text{ kg/m}^3 \times 0.2$$

$$\text{Masa de la grava} = 137.58 \text{ kg/m}^3$$

Para obtener el volumen de grava por metro cubico de mezcla se debe dividir la masa de la grava entre la densidad, como se muestra a continuación.

$$\text{Volumen de la grava} = \frac{\text{masa de la grava (kg/m}^3\text{)}}{\text{densidad}}$$

$$\text{Volumen de la grava} = \frac{749.36 \text{ kg/m}^3}{2.71} + \frac{137.58 \text{ kg/m}^3}{2.16}$$

$$\text{Volumen de la grava} = 340.21 \text{ L/m}^3$$

6. Cálculo del volumen y masa del agregado fino para un metro cúbico de concreto.

$$\text{Volumen de arena} = 1000 \text{ L/m}^3 - (V_{\text{cemento}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{aire}} + V_{\text{grava}})$$

$$\text{Volumen de arena} = 1000 - (126.69 + 216 + 20 + 340.21)$$

$$\text{Volumen de arena} = 297.10 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Masa de la arena} = \text{Volumen de arena} \times \text{densidad}$$

$$\text{Masa de la arena} = 297.10 \text{ L/m}^3 \times 2.15$$

$$\text{Masa de la arena} = 638.77 \text{ kg/m}^3$$

A continuación, se muestra un resumen de las propiedades de los agregados (tabla 41).

Tabla 41 Cantidad de materiales para m<sup>3</sup> del prediseño.

Material	Masa (kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (l)
Cemento	392.73	2150.00	126.69
Grava "Roka"	749.36	2710.00	276.52
Grava "RCD"	137.58	2160.00	63.69
arena	638.77	2150.00	297.10
agua	216.00	1000.00	216.00
aire	0.00	0.00	20.00
suma	2134.44	0.00	1000.00

7. Corrección por humedad de absorción, el porcentaje de agua que absorben los materiales, debe ser el porcentaje de agua adicional en la mezcla de concreto. A continuación, se muestran los ajustes.

$$\text{Absorción de la arena} = \frac{\text{Masa del agregado} \times \% \text{ de absorción}}{100}$$

$$\text{Absorción de la arena} = \frac{638.77 \times 12.49}{100}$$

$$\text{Masa corregida de la arena} = 79.78 \text{ litros}$$

$$\text{Absorción de la grava triturada} = \frac{\text{Masa del agregado} \times \% \text{ de absorción}}{100}$$

$$\text{Absorción de la grava triturada} = \frac{749.36 \times 1.31}{100}$$

$$\text{Masa corregida de la grava triturada} = 9.82 \text{ litros}$$

$$\text{Absorción de la grava RCD} = \frac{\text{Masa del agregado} \times \% \text{ de absorción}}{100}$$

$$\text{Absorción de la grava RCD} = \frac{137.58 \times 7.04}{100}$$

$$\text{Masa corregida de la grava RCD} = 9.69 \text{ litros}$$

$$\text{Masa corregida del agua} = \text{Masa total del agua} + \Sigma (\% \text{ de absorción del agregado})$$

$$\text{Masa corregida del agua} = 216 \text{ l} + 79.78 \text{ l} + 9.82 \text{ l} + 9.69 \text{ l}$$

$$\text{Masa corregida del agua} = 315.29 \text{ litros}$$

Las cantidades de los materiales para un metro cúbico de mezcla de concreto se muestran en la **tabla 42**.

Tabla 42 Cantidad de materiales para el prediseño de un m<sup>3</sup>, corregidos por la humedad de absorción.

Corrección por humedad de absorción			
Materiales	Masa	Absorción	
		%	kg
Cemento	392.73	N/D	N/D
Grava "Roka"	749.36	1.31	9.82
Grava "RCD"	137.58	7.04	9.69
Arena	638.77	12.49	79.78
Agua	216.00	N/D	N/D

Suma	2134.44	Suma Corregida	2233.72
------	---------	----------------	---------

### 5.3.2 Diseño.

Tabla 43 Características de los materiales para el diseño de la mezcla.

Material	MVSS	MVSV	Absorción	Densidad	Módulo de finura	Tamaño máximo
Arena	1390.00	1508.00	5.13	2.28	3.04	
Grava "Roka"	1391.00	1526.00	1.71	2.57		3/4"
Grava "RCD"	1083.00	1186.00	7.04	2.16		3/4"
Cemento	1490.00			3.10		

En este caso al tener el mismo  $f'c$ , el mismo revenimiento y la misma densidad del cemento empezamos desde el paso número 4 en el cálculo de los agregados pétreos con el módulo de finura.

- Contenido de agregado grueso por volumen unitario de concreto, para esto ingresamos a la tabla mostrada a continuación, con el tamaño máximo del agregado (19 mm) y el módulo de finura (3.04), **tabla 40**

Al valor de módulo de finura está no está dentro de la **tabla 40**, es necesario interpolar.

$$\text{Volumen de agregado grueso varillado en seco} = \frac{(0.58 - 0.60)(3.04 - 3.00)}{(3.20 - 3.00)} + 0.60$$

$$\text{Volumen de agregado grueso varillado en seco} = 0.596$$

- Calculamos la masa del agregado grueso para un metro cubico de mezcla, a partir del volumen de agregado varillado en seco. En diseño una mezcla fue con el 100% de grava triturada y 4 mezclas se realizaron con 80% de agregado triturado un y 20% de agregado reciclado.

$$\text{Masa de la grava} = \text{Volumen del agregado varillado en seco} \times \text{MVSV}$$

$$\text{Masa de la grava triturada 100\%} = 0.596 \times 1526 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa de la grava} = 909.50 \text{ kg/m}^3$$

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

$$\text{Masa de la grava triturada 80\%} = 0.596 \times 1526 \text{ kg/m}^3 \times 0.8$$

$$\text{Masa de la grava} = 727.60 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa de la grava reciclada 20\%} = 0.596 \times 1186 \text{ kg/m}^3 \times 0.2$$

$$\text{Masa de la grava} = 141.37 \text{ kg/m}^3$$

Para obtener el volumen de grava por metro cubico de mezcla se debe dividir la masa de la grava entre la densidad, como se muestra a continuación.

$$\text{Volumen de la grava} = \frac{\text{masa de la grava (kg/m}^3\text{)}}{\text{densidad}}$$

$$\text{Volumen de la grava 100\% triturada} = \frac{909.50 \text{ kg/m}^3}{2.57}$$

$$\text{Volumen de la grava} = 353.89 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Volumen de la grava 80\% triturada y 20\% RCD} = \frac{727.60 \text{ kg/m}^3}{2.57} + \frac{141.37 \text{ kg/m}^3}{2.16}$$

$$\text{Volumen de la grava} = 348.56 \text{ L/m}^3$$

6. Cálculo del volumen y masa del agregado fino para un metro cúbico de concreto.

$$\text{Volumen de arena} = 1000 \text{ L/m}^3 - (V_{\text{cemento}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{aire}} + V_{\text{grava}})$$

$$\text{Volumen de arena Triturada} = 1000 - (126.69 + 216 + 20 + 353.89)$$

$$\text{Volumen de arena Triturada} = 283.42 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Volumen de arena 80\% y 20\%} = 1000 - (126.69 + 216 + 20 + 348.56)$$

$$\text{Volumen de arena 80\% y 20\%} = 288.75 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Masa de la arena} = \text{Volumen de arena} \times \text{densidad}$$

$$\text{Masa de la arena Triturada} = 283.42 \text{ L/m}^3 \times 2.28$$

$$\text{Masa de la arena Triturada} = 646.20 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Masa de la arena 80\% y 20\%} = 288.75 \text{ L/m}^3 \times 2.28$$

$$\text{Masa de la arena 80\% y 20\%} = 658.35 \text{ kg/m}^3$$

A continuación, se muestra un resumen de las propiedades de los agregados (tablas 44 y 45).

Tabla 44 Cantidad de materiales para m<sup>3</sup> con 100% de triturado.

Material	Masa (kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (l)
Cemento	392.73	2280.00	126.69
Grava "Roka"	909.50	2570.00	353.89
arena	646.20	2280.00	283.42
agua	216.00	1000.00	216.00
aire	0.00	0.00	20.00
suma	2164.42	0.00	1000.00

Tabla 45 Cantidad de materiales para m<sup>3</sup> con 20% de sustitución de RCD.

Material	Masa (kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (l)
Cemento	392.73	2280.00	126.69
Grava "Roka"	727.60	2570.00	283.11
Grava "RCD"	141.37	2160.00	65.45
arena	658.35	2280.00	288.75
agua	216.00	1000.00	216.00
aire	0.00	0.00	20.00
suma	2136.05	0.00	1000.00

7. Corrección por humedad de absorción, el porcentaje de agua que absorben los materiales, debe ser el porcentaje de agua adicional en la mezcla de concreto. A continuación, se muestran los ajustes.

#### Triturada

$$\text{Absorción de la arena} = \frac{\text{Masa del agregado} \times \% \text{ de absorción}}{100}$$

$$\text{Absorción de la arena} = \frac{646.20 \times 5.13}{100}$$

$$\text{Masa corregida de la arena} = 33.15 \text{ litros}$$

$$\text{Absorción de la grava} = \frac{\text{Masa del agregado} \times \% \text{ de absorción}}{100}$$

$$\text{Absorción de la grava} = \frac{909.50 \times 1.71}{100}$$

$$\text{Masa corregida de la grava} = 15.55 \text{ litros}$$

$$\text{Masa corregida del agua} = \text{Masa total del agua} + \Sigma (\% \text{ de absorcion del agregado})$$

$$\text{Masa corregida del agua} = 216 \text{ l} + 33.15 \text{ l} + 15.55 \text{ l}$$

$$\text{Masa corregida del agua} = 264.70 \text{ litros}$$

Las cantidades de los materiales para un metro cubico de mezcla de concreto se muestran en la tabla 44.

### 80% Triturada y 20% RCD

$$\text{Absorción de la arena} = \frac{\text{Masa del agregado} \times \% \text{ de absorción}}{100}$$

$$\text{Absorción de la arena} = \frac{658.35 \times 5.13}{100}$$

$$\text{Masa corregida de la arena} = 33.77 \text{ litros}$$

$$\text{Absorción de la grava triturada} = \frac{\text{Masa del agregado} \times \% \text{ de absorción}}{100}$$

$$\text{Absorción de la grava triturada} = \frac{727.60 \times 1.71}{100}$$

$$\text{Masa corregida de la grava triturada} = 12.44 \text{ litros}$$

$$\text{Absorción de la grava RCD} = \frac{\text{Masa del agregado} \times \% \text{ de absorción}}{100}$$

$$\text{Absorción de la grava RCD} = \frac{141.37 \times 7.04}{100}$$

$$\text{Masa corregida de la grava RCD} = 9.95 \text{ litros}$$

$$\text{Masa corregida del agua} = \text{Masa total del agua} + \Sigma (\% \text{ de absorcion del agregado})$$

$$\text{Masa corregida del agua} = 216 \text{ l} + 33.77 \text{ l} + 12.44 \text{ l} + 9.95 \text{ l}$$

$$\text{Masa corregida del agua} = 272.16 \text{ litros}$$

Las cantidades de los materiales para un metro cúbico de mezcla de concreto se muestran en las **tablas 46 y 47**.

Tabla 46 Cantidad de materiales para el diseño de un m<sup>3</sup> con 100% triturado, corregidos por la humedad de absorción.

Corrección por humedad de absorción			
Materiales	Masa	Absorción	
		%	kg
Cemento	392.73	N/D	N/D

Grava "Roka"	909.50	1.71	15.55
Arena	646.20	5.13	33.15
Agua	216.00	N/D	N/D
Suma	2164.42	Suma Corregida	2213.13

Tabla 47 Cantidad de materiales para el diseño de un m<sup>3</sup> con 20% de RCD de sustitución, corregidos por la humedad de absorción.

Corrección por humedad de absorción			
Materiales	Masa	Absorción	
		%	kg
Cemento	392.73	N/D	N/D
Grava "Roka"	727.60	1.71	12.44
Grava "RCD"	141.37	7.04	9.95
Arena	658.35	5.13	33.77
Fibras textiles	7.85	100.00	7.85
Agua	216.00	N/D	N/D
Suma	2143.90	Suma Corregida	2207.93

## 5.4. Ensayos al concreto fresco

### 5.4.1 Muestreo de concreto fresco.

Establecer el método para obtener muestras representativas de concreto fresco y con el cual se realizan los ensayos para determinar el cumplimiento de calidad del concreto.

#### Equipo:

- ✓ Carretilla.
- ✓ Cucharón.
- ✓ Pala.
- ✓ Revolvedora.

**Procedimiento:**

1. Antes de tomar la muestra se verifica que tengamos el equipo completo para realizar la prueba de muestreo.
2. La muestra de concreto, se toma hasta que se agreguen todos los componentes (si se añaden aditivos químicos) y se homogenice la mezcla (**Ilustración 31**),
3. Antes de tomar la muestra de concreto se humedece la carretilla para evitar que pierda humedad al contacto con las paredes secas.
4. Se toma la muestra interceptando con la carretilla el flujo completo de la descarga de la mezcladora o desviando el flujo sin segregarse el concreto, aproximadamente a la mitad de la descarga, Se utilizará una sola muestra representativa para los ensayos.
5. La muestra será el volumen suficiente para realizar los ensayos programados, pudiendo en todos los casos tomar varias porciones para generar la muestra adecuada que sea representativa del lote del concreto.
6. El intervalo entre la obtención de la primera y última porción de la muestra no debe exceder de 15 minutos. Una vez obtenida la muestra se procede a protegerla muestra del sol, el viento, la lluvia y otras fuentes con la finalidad de no alterar la muestra, con la ayuda de una lona.



Ilustración 31 Muestreo de concreto fresco. Fuente: Elaboración propia.

**Referencia:**

(NMX-C-161-ONNCCE, 2013)

### **5.4.2 Revenimiento.**

El ensayo de revenimiento o asentamiento del cono de Abrams, es el método más ampliamente aceptado y utilizado para medir la consistencia del concreto (Kosmatka et al., 2004). La consistencia depende de la trabajabilidad o manejabilidad de la mezcla en sus primeros 15 minutos de ser elaborada, midiendo el asentamiento que presenta al quitarle el cono en el que inicialmente se ha vertido dicha mezcla.

#### **Equipo:**

- ✓ Molde de revenimiento.
- ✓ Varilla punta de bala de 5/8" de diámetro.
- ✓ Pala.
- ✓ Cucharón.
- ✓ Flexómetro.
- ✓ Placa de metal de revenimiento.

#### **Procedimiento:**

1. Humedecer el molde; colocarlo sobre una superficie horizontal, plana, rígida y no absorbente. Mantenerlo firme en su lugar durante la acción del llenado, apoyar los pies en los estribos que tiene para ello en el molde.
2. Se llena el molde en 3 capas aproximadamente de igual volumen. La primera capa corresponde a una altura de 7 cm, la segunda capa debe llegar a una altura de aproximadamente de 15 cm y la tercera, al extremo del molde.
3. Compactar cada capa con 25 penetraciones de la varilla, introduciéndola por el extremo redondeado, distribuidos uniformemente sobre la sección de cada capa, por lo que es necesario inclinar la varilla ligeramente en la zona perimetral aproximadamente la mitad de las penetraciones se hacen cerca del perímetro, después, con la varilla vertical se avanza en espiral hacia el centro del cono.
4. Compactar la segunda capa y la superior a través de todo su espesor, de manera que la varilla penetre en cada capa anterior aproximadamente 2 cm, para el llenado de la última capa colocar un ligero excedente de concreto por encima del borde superior del molde.

5. Si a consecuencia de la compactación de la última capa, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde, a la décima o vigésima penetración, se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del borde del molde todo el tiempo.
6. Ya terminada la compactación de la última capa, enrasar el concreto mediante un movimiento de rodamiento de la varilla. Limpiar la superficie exterior de la base del asiento, e inmediatamente levantar el molde con cuidado.
7. La operación para levantar completamente el molde de 30 cm de su altura debe hacerse de 3 a 7 segundos, alzándose verticalmente sin movimiento lateral o torsional. La realización de esta prueba completa desde el comienzo del llenado hasta que se levanta el molde, debe hacerse sin interrupción y en un tiempo no mayor de 2.5 min.
8. Medir inmediatamente el revenimiento (**Ilustración 32**), determinando el asentamiento del concreto a partir del nivel original de la base superior del molde, midiendo esta diferencia de alturas en el centro desplazado de la superficie superior del espécimen. Si alguna porción del concreto se desliza o cae hacia un lado, se desecha el ensayo y se efectúa otra con una nueva porción de la misma muestra.



Ilustración 32 Revenimiento de concreto fresco. Fuente: Elaboración propia.

**Referencia:**

(NMX-C-156-ONNCCE, 2010)

### 5.4.3 Elaboración de especímenes.

Establecer los procedimientos a seguir para elaborar y curar los especímenes de concreto adecuadamente.

#### Equipo:

- ✓ Aceite para engrasar los moldes.
- ✓ Moldes cilíndricos, de 10 cm de diámetro x 20 cm de altura.
- ✓ Moldes para vigas, de sección transversal de 15 cm x 15 cm y longitud de 60 cm.
- ✓ Varilla punta de bala de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud.
- ✓ Varilla punta de bala de 3/8" de diámetro y 60 cm de longitud.
- ✓ Cucharón.
- ✓ Mazo de goma
- ✓ Carretilla

#### Procedimiento:

1. El concreto se vacía con un cucharón en los moldes, cada porción de concreto debe ser representativa de la muestra contenida, debe moverse el cucharón alrededor del borde superior del molde a medida que el concreto se vaya descargando para asegurar una distribución uniforme y minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde.
2. Debe distribuirse el concreto usando la varilla antes de iniciar la compactación, durante el colado de la capa final y añadir una cantidad de concreto tal que sobrepase y lo llene totalmente después de la compactación.

- **Molde cilíndrico 10 x 20 cm**

En la etapa de prediseño se realizaron únicamente 6 cilindros probando a compresión 2 cilindros a las edades de 7, 14 y 28 días. Con la finalidad de reducir la cantidad de mezclas para hacer más especímenes en la etapa de diseño.

En la etapa de diseño se realizaron 35 especímenes de los cuales 16 cilindros (4 a cada edad) de cada mezcla fueron sometidos a compresión simple a las edades de 7, 28, 90 y 180 días, 6 cilindros de cada mezcla (3 a cada edad) fueron sometidos a tensión por compresión diametral a las edades de 28 y 180 días. También se les

realizo a los cilindros antes mencionados las pruebas no destructivas. Y se cortaron 4 cilindros en 3 partes para las pruebas de Fagerlund, ataque por sulfatos, permeabilidad rápida por cloruros y cántabro. Los especímenes que sobraron se dejaron en la pila de curado para edades tardías. Mientras que se le tomo lecturas de pruebas no destructivas a las edades de 7, 28, 90 y 180 días a 4 cilindros de cada mezcla que se dejaron a edades tardías. Se eligieron estos moldes, para tener mas especímenes utilizando el menor material posible.

1. Llenar en 2 capas de aproximadamente igual volumen (10 cm de altura cada una), compactar cada capa con 25 penetraciones con la varilla de 3/8" por el extremo redondeado, distribuir las penetraciones uniformemente en toda la sección transversal del molde, permitiendo que la varilla penetre aproximadamente 2 cm dentro de la capa inmediata inferior como se muestra en la **Ilustración 33**.
2. Después de compactar cada capa se deben golpear ligeramente las paredes del molde con el mazo, para eliminar las oquedades producidas por la varilla.
3. Si a consecuencia de la compactación de la última capa, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde, antes de la vigésima penetración, se agrega concreto en una sola ocasión para mantener su nivel por encima del borde del molde todo el tiempo.
4. Se enraza la superficie del concreto, si no se especifica el tipo de acabado, se termina la superficie con un enrasador rígido de metal o en con la varilla y terminarlo con acabado con el mínimo de pasadas necesarias que produzca una superficie plana y uniforme que este a nivel de las orillas del molde.



Ilustración 33 Elaboración de cilindros 15 x 30. Fuente: Elaboración propia.

- **Moldes prismáticos 15 x 15 x 60 cm**

Las vigas solo se hicieron solo en la etapa de diseño, por ocupar más volumen de material. Se realizaron 12 vigas de cada mezcla, de las cuales 8 (4 por edad) vigas de cada mezcla fueron sometidas a flexión a las edades de 28 y 180 días con sus respectivas pruebas no destructivas, mientras que las otras 4 se dejaron en la pila de curado. Estos especímenes se eligieron, aunque ocupan mayor cantidad de material, una vez realizado la prueba de módulo de ruptura, las mitades sobrantes se pueden reutilizar el material para la obtención de más pruebas, como la extracción de núcleos y obtener así la resistencia a la compresión simple. Entre más pruebas que se pueden realizar.

1. Llenar en dos capas de aproximadamente igual volumen, la primera a la mitad de la profundidad del molde, la segunda al borde superior, compactar con la varilla larga con el extremo redondeado distribuidas uniformemente procurando que en el varillado de la segunda capa penetre 2 cm de la capa inferior, el número de compactaciones por capa es una por cada 14 cm<sup>2</sup> de superficie del espécimen (64 penetraciones).
2. Después del varillado, introducir y sacar una cuchara de albañil u otra herramienta adecuada en la zona de contacto de concreto y el molde en todo

su perímetro; Al final golpear ligeramente las paredes del molde con el mazo, para eliminar las oquedades que deja la varilla.

3. Si a consecuencia de la compactación de la última capa, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde, antes del 80% de las penetraciones, se agrega concreto en una sola ocasión para mantener su nivel por encima del borde del molde todo el tiempo.
4. Se enrasa la superficie del concreto, si no se especifica el tipo de acabado, se termina la superficie con un enrasador rígido de metal o con varilla y terminarlo con acabado con el mínimo de pasadas necesarias que produzca una superficie plana y uniforme que este a nivel de las orillas del molde como se muestra en la **Ilustración 34**.



Ilustración 34 Elaboración de vigas de dimensiones 15 cm x 15 cm y longitud de 60 cm. Fuente: Elaboración propia.

**Referencia:**

(NMX-C-159-ONNCCE, 2016)

**5.4.4 Desmolde y curado de especímenes.**

Los especímenes de concreto endurecido, deben descimbrarse entre 20 y 48 horas después de su elaboración y almacenarse inmediatamente en una condición húmeda.

**Equipo:**

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

- ✓ Moldes cilíndricos, de 10 cm de diámetro x 20 cm de altura.
- ✓ Moldes para vigas, de sección transversal de 15 cm x 15 cm y longitud de 60 cm.
- ✓ Tanque de almacenamiento.
- ✓ Llave T.
- ✓ Espátula.
- ✓ Cepillo de alambre.
- ✓ Fibras de cocina.

### **Procedimiento:**

1. Se descimbran los especímenes después de haber pasado el tiempo del fraguado del concreto.
2. Se limpian los moldes con el cepillo de alambre hasta retirar el concreto adherido en los moldes y posteriormente se pasa con la fibra para retirar en las zonas angostas de los moldes.
3. Se llevan a una pila de curado y se dejan ahí hasta el día que toque realizar las pruebas correspondientes.

### **Referencia:**

(NMX-C-159-ONNCCE, 2016)

- **Tanque de almacenamiento**

Se establece las condiciones de diseño y operación de los tanques de almacenamiento se utilizan para la conservación de especímenes de concreto para su posterior ensayo.

### **Equipo:**

- ✓ Tanque de almacenamiento
- ✓ Termómetro.
- ✓ Cal.

### **Procedimiento:**

1. Verificar la temperatura del tanque de almacenamiento.

2. El agua en el tanque de almacenamiento está saturada con cal para prevenir la lixiviación del hidróxido de calcio de los especímenes. El agua no saturada con hidróxido de calcio puede afectar los resultados.
3. Para lograr que el agua esté saturada de hidróxido de calcio es necesario añadirle mínimo una cantidad de 3 gramos de cal por litro de agua para asegurar la saturación de hidróxido. El tanque se lava y se cambia el agua cada 12 meses aproximadamente.
4. El agua del tanque debe mezclarse en intervalos no mayores a un mes.
5. No deben usarse tanques que contengan flujo continuo de agua, lo ideal es un sistema cerrado de recirculación de agua saturada con cal.

**Referencia:**

(NMX-C-148-ONNCCE, 2010)

**5.5. Ensayos al concreto endurecido**

**5.5.1. Pruebas no destructivas.**

• **Resistividad eléctrica.**

La resistividad eléctrica húmeda es una propiedad intrínseca de cada material, depende en gran parte del grado de saturación de los poros interconectados de la mezcla de concreto y en menor grado de la hidratación de la pasta, en función a las variables tales como: el tipo de cemento, la adición, la relación agua-cemento y la porosidad de los agregados pétreos (NMX-C-514-ONNCCE, 2019).

La resistividad eléctrica húmeda es solo uno de los parámetros que controla la corrosión del acero de refuerzo en el concreto, por lo tanto, no se considera como único criterio para definir el posible daño en la estructura.

**Equipo:**

- ✓ Especímenes de concreto de 10 cm Ø x 20 cm de espesor y vigas 15 x 15 x 60.
- ✓ Resistómetro.
- ✓ Tela absorbente de agua.
- ✓ Vernier
- ✓ Flexómetro

**Procedimiento:**

1. Extraemos las muestras de la pila de curado, las enumeramos para su identificación y obtenemos el diámetro y la longitud de cada una.
2. En una superficie plana y de un material que no conduzca corriente eléctrica. Colocamos las bases del espécimen, las telas absorbentes presionadas con las placas de metal, colocamos un cilindro que haga presión extra en la base superior para garantizar el contacto eléctrico.
3. Instalamos el equipo como se muestra en la siguiente **ilustración 35**.
4. Sometemos las muestras a una corriente eléctrica y registramos la resistencia (Re) dada (**Ilustración 36**).



Ilustración 35 Equipo de resistividad eléctrica.  
Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 36 Resistividad eléctrica del espécimen. Fuente: Elaboración propia.

**Cálculos:**

$$\rho = Re \left( \frac{A}{L} \right)$$

Dónde:

$\rho$  = Resistividad eléctrica, en  $K\Omega\text{-cm}$  (ohm-m).

$Re$  = Resistencia eléctrica, en  $K\Omega$ .

$A$  = Área transversal del espécimen, en  $\text{cm}^2$ .

$L$  = Longitud del espécimen, en cm.

**Criterio de evaluación**

Tabla 48. (NMX-C-514-ONNCCE, 2019)

Resistividad	Probabilidad de corrosión
>100-200 kΩ-cm	El concreto es muy denso, por lo que su porosidad interconectada es extremadamente baja, al igual que el transporte de agentes agresivos hacia el acero de refuerzo y una velocidad de corrosión baja independientemente de la presencia de carbonatación.
50-100 kΩ-cm	El concreto tiene una porosidad interconectada baja, dificultando el transporte de agentes agresivos al acero de refuerzo y una velocidad de corrosión baja.
10-50 kΩ-cm	El concreto tiene una porosidad interconectada considerable, por lo que el transporte de agentes agresivos hacia al acero de refuerzo es alto, con una velocidad de corrosión alta en concretos carbonatados.
<10 kΩ-cm	El concreto tiene una porosidad interconectada excesiva, por lo que permite el transporte de agentes agresivos hacia al acero de refuerzo de forma extremadamente rápida. La velocidad de corrosión es muy alta en concretos carbonatados.

**Referencia:**

(NMX-C-514-ONNCCE, 2019)

- **Velocidad de pulso ultrasónico (VPU).**

La velocidad de pulso ultrasónico se define como la relación entre la distancia que recorren las ondas ultrasónicas a través del concreto y el tiempo que tarda de recorrer el espécimen (NMX-C-275-ONNCCE, 2020).

Al igual que en la prueba de resistividad eléctrica los especímenes deben de estar saturados. La prueba se realizó a lo especificado en la norma (NMX-C-275-ONNCCE, 2020).

**Equipo:**

- ✓ Especímenes de concreto de 10 cm Ø x 20 cm de espesor.
- ✓ Equipo de VPU.
- ✓ Gel.
- ✓ Flexómetro

**Procedimiento:**

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

1. Se deben conectar y calibrar los transductores, posteriormente se selecciona la longitud de espécimen, que será la propagación de onda.
2. Se selecciona la cantidad de pulsos que se le desea dar a las muestras, para esta investigación son 3 pulsos en 2 segundos.
3. Se coloca gel en las caras del espécimen y en los transductores (**ilustración 37**), para que los transductores se adhieran al espécimen de concreto y cuidando que siempre estén en contacto.
4. Con la ayuda del VPU nos da la velocidad onda del espécimen, como se muestra en la ilustración. La cual nos da en m/s. Se tomo la lectura 10 veces y se promedió, como se muestra en la **ilustración 38**.



Ilustración 37 Equipo de VPU. Fuente: Elaboración propia.

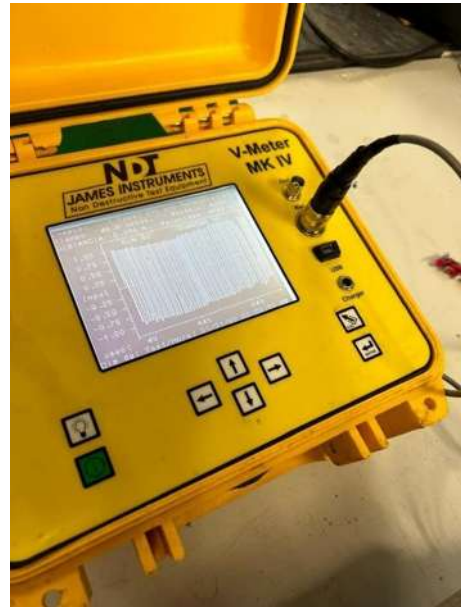


Ilustración 38 Lectura del equipo de VPU. Fuente: Elaboración propia.

### Criterio de evaluación

Tabla 49. (NMX-C-275-ONNCCE, 2020).

Velocidad de propagación (m/s)	Calidad del concreto
< 2000	Deficiente
2001 a 3000	Normal
3001 a 4500	Alta
> 4500	Durable

**Referencia:**

(NMX-C-275-ONNCCE, 2020)

- **Frecuencia de Resonancia.**

La frecuencia de resonancia establece el procedimiento para determinar las frecuencias fundamentales, transversal, longitudinal y torsional de prismas y cilindros de concreto con el propósito de calcular el módulo de elasticidad dinámico.

Su objetivo es detectar los cambios significativos en los módulos dinámicos de elasticidad en especímenes de laboratorio, o de campo, que se sometan a la exposición de intemperismo u otros tipos de influencias potencialmente deteriorantes (NMX-C-089-ONNCCE, 2019).

**Equipo:**

- ✓ Vigas de concreto de 15 x 15 x 60 cm.
- ✓ Equipo e-meter.
- ✓ Franela.
- ✓ Flexómetro.
- ✓ Báscula de capacidad de 40 kg.

**Procedimiento:**

1. Se coloca el espécimen en el soporte de tal manera, que pueda vibrar sin restricciones.
2. La posición del espécimen es aquella que la fuerza impulsora sea normal y del centro de la superficie de un extremo.
3. Se coloca el equipo con la superficie del espécimen de tal manera, que actúe de vibración.
4. Se observa la salida amplificada del captador. Se registra la frecuencia de vibración del espécimen en prueba que resulte en la indicación máxima que tenga un pico definido sobre el indicador y en la cual la observación de puntos indique la vibración longitudinal fundamental, como se muestra en la **ilustración 39**.



Ilustración 39 Lectura del equipo de e-meter, para obtener la frecuencia de resonancia del espécimen de concreto. Fuente: Elaboración propia.

### **Cálculos:**

$$G_D = 4t^2 \times l^2 \times p^{-12} \times 10.1972$$

Dónde:

$G_D$  = Módulo de elasticidad dinámico, en  $\text{kgf/cm}^2$ .

$t$  = Frecuencia fundamental del espécimen, en Hz.

$l$  = Longitud del espécimen, en mm.

$p$  = Densidad del espécimen, en  $\text{kg/cm}^3$ .

### **Referencia:**

(NMX-C-089-ONNCCE, 2019)

#### **5.5.2. Pruebas destructivas.**

- **Cabeceo de especímenes cilíndricos.**

Obtener la planicidad y perpendicularidad en sus bases de ensayo para que la carga sometida a compresión sea uniformemente en toda el área del cilindro.

**Equipo:**

- ✓ Platos metálicos.
- ✓ Alineador para cabeceo de especímenes cilíndricos.
- ✓ Recipiente para fundir azufre.
- ✓ Estopa o brocha.
- ✓ Aceite.
- ✓ Equipo de seguridad.

**Procedimiento:**

1. Una vez que los especímenes cumplieron la edad especificada para su ensayo, se sacan del tanque de almacenamiento, se miden, se pesan y se tapan con una manta húmeda.
2. Colocamos los platos en las bases guías, verificamos que estos estén bien guiados.
3. Con la ayuda de una estopa o brocha colocamos una capa de aceite para evitar que el azufre de cabeceo se adhiera al plato de cabeceo.
4. Verter el azufre para cabeceo sobre la superficie del plato de cabecear, levantar el cilindro por las guías sobre el plato mientras se mantiene en contacto constante con las guías de alineamientos. El extremo del cilindro debe continuar reposando en el plato para cabecear con los lados del cilindro en contacto constante con las guías de alineamiento.

**Referencia:**

(NMX-C-109-ONNCCE, 2013)

- **Resistencia a la compresión simple.**

Establecer los pasos para realizar el ensayo y la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

**Equipo:**

- ✓ Prensa calibrada.
- ✓ Cilindros cabeceados.
- ✓ Báscula.

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

- ✓ Flexómetro y vernier.
- ✓ Libreta.
- ✓ Placas cuadradas y platinas.

### Procedimiento:

1. Se determina el diámetro y la altura del espécimen de ensayo, con aproximación de 1 mm.
2. Cabeceas los cilindros con azufre.
3. Se limpia la superficie de la placa superior e inferior de la máquina de ensayo, se limpian las bases de los especímenes de ensayo.
4. Se coloca sobre la placa inferior alineando su eje con el centro de la placa de carga con asiento esférico.
5. La carga se aplica con una velocidad continua sin producir impacto, ni perdida de carga como se muestra en la **Ilustración 40**.
6. Una vez que la carga empieza a disminuir se retira la carga y el cilindro de la prensa.



Ilustración 40 prueba de resistencia a la compresión simple en cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de longitud. Fuente: Elaboración propia.

### Cálculos:

$$f'c = \frac{F}{A}$$

Dónde:

$f'c$  = Es la resistencia a compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)

F = Es la carga máxima (kgf)

A = Es el área del espécimen (cm<sup>2</sup>)

**Referencia:**

(NMX-C-083-ONNCCE, 2014)

- **Resistencia a la tensión por compresión diametral.**

Establecer los pasos para realizar el ensayo y la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

**Equipo:**

- ✓ Prensa calibrada.
- ✓ Cilindros.
- ✓ Báscula.
- ✓ Flexómetro y vernier.
- ✓ Libreta.
- ✓ Placas cuadradas y platinas.
- ✓ Tiras de madera o cartón.

**Procedimiento:**

1. Se determina el diámetro y la altura del espécimen de ensayo, con aproximación de 1 mm.
2. Se limpia la superficie de la placa superior e inferior de la máquina de ensayo, se limpian las bases de los especímenes de ensayo.
3. Se coloca sobre la placa inferior, y después una tira de madera alineando su eje con el centro de la placa de carga con asiento esférico, se coloca otra tira de madera en la parte superior y después la otra placa metálica.
4. Se le aplica la carga con una velocidad continua sin producir impacto, ni pérdida de carga como se muestra en la **Ilustración 40**.

5. Una vez que la carga empieza a disminuir se retira la carga y el cilindro de la prensa.



Ilustración 41 prueba de resistencia a la tensión por compresión diametral en cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de longitud. Fuente: Elaboración propia.

**Cálculos:**

$$f'c = \frac{2P}{\pi l D}$$

Dónde:

$f'c$  = Es la resistencia a la tensión por compresión diametral (kgf/cm<sup>2</sup>)

P = Es la carga máxima (kgf)

l = Longitud de contacto del espécimen (cm)

D = espesor del espécimen (cm)

**Referencia:**

(NMX-C-163-ONNCCE, 2019)

- **Módulo de ruptura.**

Establecer los pasos para realizar el ensayo y la determinación de la resistencia a la flexión en vigas de concreto.

**Equipo:**

- ✓ Prensa calibrada.
- ✓ Vigas de 15 cm por 15 cm y longitud de 60 cm.
- ✓ Tiras de cuero.
- ✓ Regla metálica.
- ✓ Marcadores.
- ✓ Flexómetro.

**Procedimiento:**

1. Se determina el ancho y peralte del espécimen con aproximación al milímetro
2. Una vez retirado del proceso de curado, se elimina el agua excedente de la superficie, se marca en las paredes de espécimen la distancia entre apoyos, esta distancia debe ser tres veces el peralte; esto se realiza, marcando el centro de la longitud total del espécimen, se traza una línea transversal y a partir de esta se miden 75 mm y 225 mm a cada extremo, en seguida con la escuadra se hace una marca transversal en el espécimen en la medición de 75 mm y otra marca en la medición de 225 mm.
3. Debe prevenirse el secado de la superficie de la viga del momento en que se retira del curado, hasta su ensayo, zonas secas de la superficie en especímenes para flexión, puede disminuir considerablemente la resistencia a la flexión.
4. Se coloca el dispositivo en la máquina de ensayo, en seguida el espécimen se voltea sobre un lado con respecto a la posición de moldeado, se centra en los bloques de apoyo del dispositivo y a la vez centrado en el dispositivo a la placa de aplicación de carga; Se debe asegurar que se tenga contacto entre la aplicación de la carga y los bloques de apoyo con la superficie de la viga.
5. Antes de aplicar la fuerza, se verifica que la superficie de contacto con los apoyos no se aparte en un plano en más de 0.1 mm.
6. Se debe aplicar una carga uniforme, tal que el aumento de esfuerzo de las fibras extremas no exceda de 10 kgf/ cm<sup>2</sup>/ min como se muestra en la **Ilustración 42.**

7. Localizar si la falla está dentro o fuera del tercio medio.



Ilustración 42 Módulo de ruptura de la viga de 15 x 15 x 60 cm. Fuente: Elaboración propia

**Cálculos:**

Primer tercio medio del claro de la viga:

$$MR = \frac{P * L}{b * d^2}$$

Dónde:

MR = Módulo de ruptura (kgf/cm<sup>2</sup>)

P = Carga máxima aplicada (kgf).

L = Distancia entre apoyos (cm).

b = Ancho promedio del espécimen (cm).

d = Peralte promedio del espécimen (cm).

Fuera del tercio medio de la viga:

$$MR = \frac{3P * a}{b * d^2}$$

Dónde:

a = Es la distancia promedio entre línea de fractura y el apoyo más cercano de la superficie de la viga (cm).

**Referencia:**

(NMX-C-191-ONNCCE, 2015)

- **Módulo de elasticidad estático del concreto.**

Es el parámetro que establece la relación entre esfuerzo y deformación del concreto en un ensayo de carga axial en compresión en intervalo comprendido entre 50 millonésimas de deformación unitaria y 40% de la resistencia máxima. Se determina como la pendiente de la secante definida por los dos puntos sobre la curva esfuerzo-deformación antes señalados (NMX-C-128-ONNCCE, 2020).

**Equipo:**

- ✓ Prensa calibrada.
- ✓ Cilindros.
- ✓ Báscula.
- ✓ Flexómetro y vernier.
- ✓ Libreta.
- ✓ Nivel de burbuja.
- ✓ Deformímetro y micrómetro.

**Procedimiento:**

1. Se toman las lecturas de masa, diámetro, altura y cabécar el espécimen.
2. Se dejan dos especímenes y el de menor carga obtenida se le deja la precarga del 12% y una carga máxima del 60%.
3. Se le coloca los anillos, junto con sus barras separadoras, teniendo precaución de no retirar el azufre del espécimen, los anillos se fijan al espécimen con los tornillos y con la ayuda del nivel se verifica la verticalidad y se procede a retirar las barras separadoras.
4. Se le coloca el micrómetro y se lleva a la prensa para realizar la prueba.
5. Se pone el micrómetro en 0 y se procede a poner una recarga del 12% de la carga final previamente obtenido, para verificar el adecuado funcionamiento del micrómetro, el cual debe quedar en 0.

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

6. A continuación, se aplica la carga al espécimen a una velocidad constante (**Ilustración 43**) hasta alcanzar el 60% antes de la carga final y se toman deformaciones a cada 0.001 mm junto su carga correspondiente.
7. Se hace la gráfica esfuerzo- deformación para obtener el módulo de elasticidad del espécimen.



Ilustración 43 prueba de módulo de elasticidad estática en cilindros de 10 cm de diámetro y 20 cm de longitud. Fuente: Elaboración propia.

### Cálculos:

$$E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - 0.000050}$$

Dónde:

E = Módulo de elasticidad estático del espécimen (kgf/cm<sup>2</sup>).

S<sub>2</sub> = Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga máxima.

S<sub>1</sub> = Esfuerzo correspondiente a la deformación 0.000050.

e<sub>2</sub> = deformación al 40% de la carga máxima.

### Referencia:

(NMX-C-128-ONNCCE, 2020)

### **5.5.3. Pruebas de durabilidad.**

Para las pruebas de durabilidad después de haber pasado 90 días de curado, se cortaron 4 cilindros de cada mezcla, en tres rodajas de aproximadamente 5 cm de altura. Se dejaron en el horno a una temperatura de alrededor de 50grados centígrados para que las fibras textiles no se calcinaran, se dejaron las muestras de concreto a masa constante para o hasta la realización de su prueba correspondiente. 3 rodajas de los cilindros de la parte inferior, se utilizaron en la prueba de porosidad efectiva, tres rodajas de la parte del medio se utilizaron en la prueba de permeabilidad rápida por cloruros, 3 rodajas de la parte superior se utilizaron en la prueba de ataque por sulfatos, y las tres partes restantes 1 de cada parte se utilizaron en la prueba de cántabro. Cada destacar que en estas pruebas se utilizaron las 3 rodajas de diferentes cilindros.

- **Porosidad efectiva**

Las propiedades de la absorción capilar del concreto están relacionadas directamente con su porosidad y a su vez con la durabilidad o vida útil de servicio de una estructura. La absorción capilar, aunada al fenómeno de difusión, contribuye al transporte de iones cloruro y otras sustancias nocivas o neutras hacia el interior del concreto (NMX-C-504-ONNCCE, 2015).

#### **Equipo:**

- ✓ Muestras de concreto de 10 cm Ø x 5 cm de espesor.
- ✓ Horno de secado.
- ✓ Balanza con aproximación de 0.1 g.
- ✓ Vernier y cronómetro.
- ✓ Parrilla de gas.
- ✓ Material de sellado (80% parafina + 20% brea).
- ✓ Ligas.
- ✓ Brocha.
- ✓ Tela absorbente.
- ✓ Recipiente de almacenamiento con tapa.
- ✓ Esponja.

- ✓ Agua.
- ✓ Bolsas de plástico

**Procedimiento:**

1. Colocamos las muestras en el horno a una temperatura alrededor de 50° hasta alcanzar masa constante como se muestra en la **ilustración 44**.
2. Después de alcanzar masa constante, se pasaron a medir y obtener la masa de las muestras de cada una de las mezclas de concreto.
3. Preparamos el recipiente que mantendrá las muestras durante todo el ensayo, colocando la esponja en el fondo y cubriendo con agua ésta hasta un nivel de  $3\pm 1$  mm por encima.
4. Calentamos el material de sellado hasta conseguir el estado líquido.
5. Sellamos los laterales completamente de cada espécimen.
6. Colocamos la bolsa sujeta con la liga sobre la superficie que no estará expuesta al agua, **ilustración 45**.
7. Obtenemos la masa de la muestra muestras, registrando como masa inicial ( $m_0$ ), como en la **ilustración 47**.
8. Con ayuda del cronómetro, iniciamos la medida del tiempo, inmediatamente colocamos las muestras sobre la esponja, anotando hora y fecha del contacto con el agua, **ilustración 46**.
9. Registramos cada masa en intervalos de tiempo de 60s, 5min, 10min, 20min, 30min, 60min, 2 horas, 3 horas, 4 horas, 5 horas, 6 horas, 24 horas, 48 horas, 72 horas, 96 horas, 120 horas, 144 horas, 168 horas, 192 horas después el primer contacto con el agua. Retirando el espécimen del recipiente, secándose con la tela y colocando en la pesa de forma invertida (La cara que está en contacto con el agua no está en contacto con el platillo de la balanza). Registramos la masa como  $m_i$  de cada una de las muestras.
10. Al finalizar el ensayo, calculamos la absorción capilar y el índice de absorción.



Ilustración 44 Muestras de concreto en el horno. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 45 Rodajas de concreto con bolsa y selladas por los lados. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 46 Rodajas puestas en el recipiente con agua. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 47 Obtención de masa de la muestra Fuente: Elaboración propia.

### Cálculos:

- **Resistencia a la penetración del agua (m)**

$$m = \frac{t}{z^2}$$

Donde:

m = Resistencia a la penetración del agua, en s/m<sup>2</sup>.

t = Tiempo de absorción del agua, en s

z = Espesor de la muestra de concreto, en m

- **Coeficiente de absorción capilar (k)**

$$k = \frac{(W_t - W_0)/A}{\sqrt{t}}$$

Donde:

k = coeficiente de absorción capilar, en  $\text{kg/m}^2 \text{s}^{1/2}$ .

$W_t$  = masa del espécimen después de cada intervalo de tiempo, en kg.

$W_0$  = masa inicial del espécimen antes de ingresar al contacto con el agua, en kg.

A = Área del espécimen, en  $\text{m}^2$ .

t = Tiempo de absorción del agua, en s.

- **Porosidad efectiva ( $\epsilon e$ )**

$$\epsilon e = \frac{k \sqrt{m}}{1000}$$

Donde:

$\epsilon e$  = Porosidad efectiva, en %.

- **Sorción capilar (S)**

$$S = \frac{1}{\sqrt{m}}$$

Donde:

S = La sorción capilar, en  $\text{m/s}^{1/2}$ .

**Referencia:**

(NMX-C-504-ONNCCE, 2015)

- **Ataque por sulfatos**

Las reacciones del sulfato con hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento, formando sulfatos de calcio (yeso) y la reacción del sulfato de calcio con el aluminato de calcio hidratado, formando sulfoaluminato de calcio (etringita) dan como resultado un incremento en el volumen de sólidos, causa de la expansión y descomposición de los concretos expuestos a soluciones de sulfatos.

**Equipo:**

- ✓ 3 muestras de concreto de 10 cm Ø x 5 cm de espesor.
- ✓ Recipientes de plástico con tapa.
- ✓ Horno.
- ✓ Rejillas de plástico.
- ✓ Balanza con aproximación de 0.1 gramos.
- ✓ Charolas metálicas.
- ✓ Taladro con aspas giratorias.
- ✓ Agua destilada.
- ✓ Sulfato de sodio.
- ✓ Recipientes con capacidad de 19 litros.
- ✓ Guantes de látex.

**Procedimiento:**

1. Colocamos las muestras en las charolas metálicas y las ingresamos al horno a una temperatura de  $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta una masa constante Ilustración 66.
2. Se realizó la solución de sulfato de acuerdo a la norma (NMX-C-128-ONNCCE, 2020) con una concentración de 350 g por litro de agua destilada a una temperatura de 25-30 °C medida con el termómetro de mercurio, **ilustración 48**.
3. Una vez alcanzada la temperatura del agua, incorporamos el sulfato y con ayuda del taladro con las aspas giratorias, se agitó la solución por un tiempo aproximado de 1 hora. Una vez que se tiene la solución tapamos el recipiente y lo dejamos enfriar a la temperatura del laboratorio hasta el momento de su uso.
4. Una vez teniendo la masa constante registramos el dato como “ms del ciclo 0”.
5. Colocamos la solución de sulfato en los recipientes de plástico, dejando la rejilla de plástico al fondo del recipiente.
6. Dejamos enfriar las muestras a la temperatura del laboratorio antes de colocarlas en la solución, manteniendo un tirante de aproximadamente 2 cm por encima de los especímenes durante toda la experimentación.

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

7. Dejamos las muestras en la solución con los recipientes sellados durante un tiempo aproximado de  $17 \pm 1$  hora, como se muestra en la **ilustración 50**.
8. Una vez pasado el tiempo mencionado en el paso 7, sacamos las muestras, las secamos y las colocamos nuevamente en el horno hasta alcanzar masa constante nuevamente, reconociendo este ciclo como “ciclo i”
9. Después del tiempo se secado, extraemos las muestras del horno, dejamos enfriar y registramos la masa seca como “ms del ciclo i”, como la **ilustración 49**.
10. Repetimos el procedimiento ya mencionado en los ciclos necesarios para registrar una pérdida de masa de 5%, **ilustración 51**.



Ilustración 48 Elaboración de la solución para realizar la prueba. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 49 Obtención de masa de las rodajas. Fuente: Elaboración propia.



## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

Ilustración 50 Rodajas sumergidas en la solución de sulfato. Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 51 Desprendimiento de material debido a la solución de sulfato. Fuente: Elaboración propia.

### Cálculos:

$$\% \text{ de pérdida de masa} = \frac{ms \text{ ciclo } 0 - ms \text{ ciclo } i}{ms \text{ ciclo } 0} \times 100$$

Dónde:

ms ciclo 0 = masa constante inicial de la muestra, en g.

ms ciclo i = masa constante del número de ciclo de la muestra, en g.

### Referencia:

(NMX-C-075-ONNCCE, 2018)

- **Ensayo de cántabro**

El ensayo permite valorar indirectamente la cohesión, así como la resistencia a la disgregación del espécimen, ante los efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

### Equipo:

- ✓ 3 muestras de concreto de 10 cm Ø x 5 cm de espesor.
- ✓ Horno.
- ✓ Máquina de desgaste de los ángeles
- ✓ Balanza con aproximación de 0.1 gramos.

### Procedimiento:

1. Se prepararon 3 probetas de cada una de las mezclas
2. Antes de meter a la máquina de desgaste de los ángeles, se les tomo lectura de la masa, la cual registramos como  $m_1$  como se muestra en la **ilustración 52**.
3. Se introdujeron individualmente cada una de las probetas en la máquina de desgaste de los ángeles, sin carga de abrasión, durante 300 vueltas, **ilustración 53**.

4. Se retiran de la máquina de los ángeles y se vuelve a tomar lectura de la masa como  $m_2$ .



Ilustración 52 Obtención de masa de las muestras antes de ser introducida a la máquina de desgaste de los ángeles. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 53 Muestra introducida a la máquina de desgaste de los ángeles. Fuente: Elaboración propia.

### Cálculos:

$$m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Dónde:

$m$  = valor de la pérdida por desgaste, en %

$m_1$  = masa inicial de la probeta, en g.

$m_2$  = masa final de la probeta, en g.

### Referencia:

(NLT-352, 2000)

- **Prueba de permeabilidad rápida de cloruros**

Este método mide la profundidad de penetración de iones cloruros del concreto, después de haber proporcionado un potencial eléctrico al espécimen.

**Equipo:**

- ✓ Bomba de vacío con trampa para agua.
- ✓ Desecador con dos válvulas y manómetro.
- ✓ Celdas para prueba.
- ✓ Fuente de poder con microprocesador.
- ✓ Mangueras.
- ✓ Solución de Cloruro de Sodio al 3% en masa (agua destilada).
- ✓ Solución de Hidróxido de Sodio 0.3 Normal (agua destilada).
- ✓ Empaques para las celdas.
- ✓ Sellador (vaselina).
- ✓ Equipo (marca Proove it).

**Procedimiento:**

1. Una vez que las probetas hay una masa constante, se dejan enfriar y después se colocan en el desecador, se dejan sellado con una ligera capa de vaselina con la tapa del desecador, **ilustración 54**.
2. Se coloca la manguera en una de las válvulas del desecador, se abre la válvula dejando la segunda válvula cerrada, se deja un tiempo para crear el mayor vacío posible, y se deja por 3 horas, **ilustración 55**.
3. Después del tiempo transcurrido en la segunda válvula del desecador se le coloca agua (previamente calentada por alrededor de 15 minutos). Se deja el agua hasta que cubra todos los especímenes de concreto.
4. Se le vuelva a colocar la bomba de vacío y se deja un tiempo hasta volver alcanzar el máximo vacío posible.
5. Se retira las mangueras y se dejan saturar por lo menos 18 horas **ilustración 56**.
6. Una vez pasado el tiempo se secan superficialmente, se le colocan los empaques con las celdas (**ilustración 57**), se sellan las celdas con los 4 pernos (**ilustración 58**), se les añade las soluciones en cada una de las celdas marcadas y se dejan en el equipo 6 horas para obtener la carga en coulombs, **ilustración 59**.

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

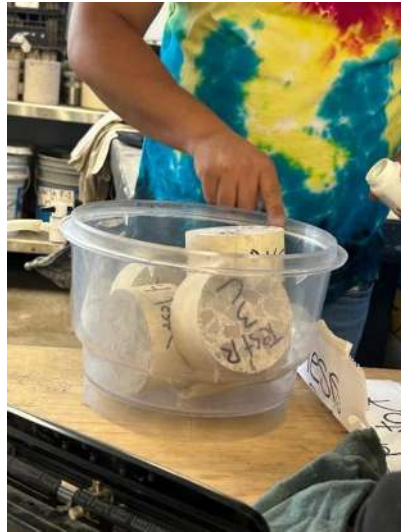


Ilustración 54 Colocación de los especímenes en la cámara de vacío. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 55 Dejando en vacío por 3 horas los especímenes. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 56 Especímenes una vez pasado el tiempo de saturación. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 57 Colocación de empaques al espécimen. Fuente: Elaboración propia.

Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles



Ilustración 58 Colocación de las celdas al equipo. Fuente: Elaboración propia.

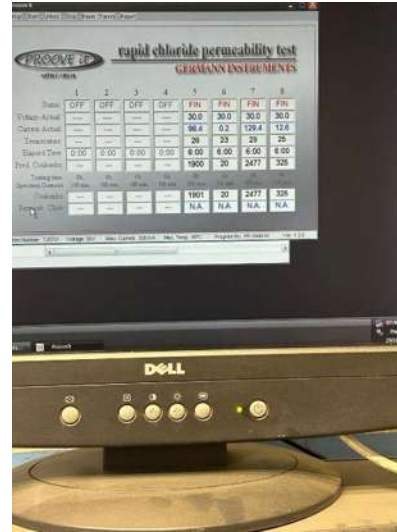


Ilustración 59 Obtención de los coulombs con el equipo provee it. Fuente: Elaboración propia.

**Criterio de evaluación**

Tabla 50 (ASTM-C-1202, 2012).

Coulombs	Clase de permeabilidad	Típico de
> 4000	Alta	a/c > 0.5
4000 - 2000	Moderada	a/c = 0.4 a 0.5
2000 - 1000	Baja	a/c < 0.4
1000 - 100	Muy baja	Concreto modificado con látex
< 100	Insignificante	Concreto Polimérico

**Referencia:**

(ASTM-C-1202, 2012)

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

### 6.1. Ensayos al concreto fresco.

#### 6.1.1. Revenimiento.

##### 6.1.1.1. Prediseño.

Tabla 51 Resultados del revenimiento de las mezclas de prediseño.

Mezcla	Revenimiento (cm)
Testigo	16.0
RST	16.5
RTT	11.5
RUT	14.0
RRC	17.0
RPS	15.0
RHA	14.0

##### 6.1.1.2. Diseño.

Tabla 52 Resultados del revenimiento de las mezclas de diseño.

Mezcla	Revenimiento (cm)
Testigo	13.0
Testigo R	15.5
RTT	13.0
RUT	16.5
RHA	12.0

Tanto en la etapa de prediseño, como en la etapa de diseño están en los parámetros del revenimiento de 15 cm que son más menos 3.5 cm, por lo que al adicionar las fibras textiles no afecta su trabajabilidad en las mezclas de concreto en estudio como se muestran en la **tabla 51 y 52**.

### 6.2. Ensayos al concreto endurecido.

La etapa de prediseño, consistió en hacer 6 cilindros de cada mezcla, obteniendo un promedio de resultados de 2 cilindros a las edades de 7, 14 y 28 días. Después de la elaboración, desmolde y curado de todos los especímenes. Las fibras que pasaron a la siguiente etapa fueron las que mejor comportamiento a la compresión tuvieron, exceptuando la mezcla RST, ya que hubo una preselección de las fibras textiles.

La etapa de diseño, constó en sacar un promedio de cuatro especímenes de cilindros y vigas por cada mezcla, con la finalidad de encontrar un valor promedio de resultados a las edades de 7, 28, 90 y 180 días, en el caso de los cilindros en la prueba de

resistencia en la compresión simple; en la de módulo de elasticidad fue un promedio de resultados de 2 cilindros a las edades de 28, 90 y 180 días; en la prueba de tensión por compresión diametral se hizo un promedio de resultados de 3 especímenes a las edades de 28 y 180 días, mientras que en el caso de las vigas sólo se evaluaron los resultados a edades de 28 y 180 días, después de la elaboración, desmolde y curado de todos los especímenes. Cada uno de los ensayos presentan los siguientes resultados.

### 6.2.1. Prediseño

#### 6.2.1.1. Resistividad eléctrica aparente.

Tanto en la etapa de prediseño como en la etapa de diseño, en esta prueba los saltos que se observa de las **Figuras 8 al 14** en las mezclas adicionadas con fibras textiles se deduce que son las partes de acomodo preferencial de las fibras textiles en el espécimen, ya que no se notan saltos significativos en las mezclas con solos agregados pétreos. Por lo que hacer en algún elemento de concreto, esta prueba nos ayuda a ver en qué parte hay más acomodo preferencial. La prueba se realizó como se muestra en la **ilustración 60**.



Ilustración 60. Realización de la prueba de resistividad eléctrica aparente. Fuente: Elaboración propia.

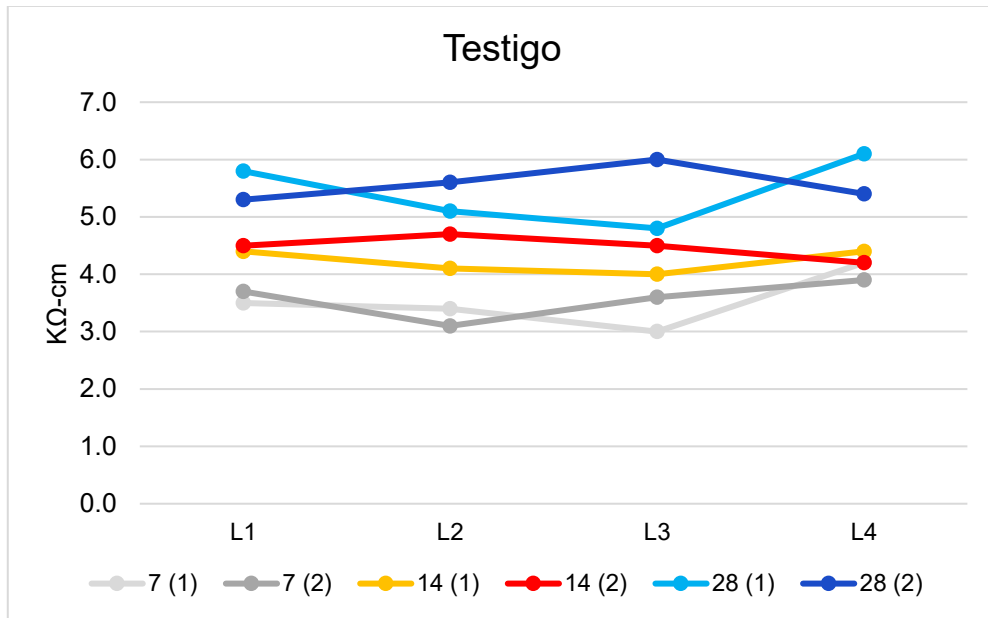


Figura 8 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla testigo a las edades de 7, 14 y 28 días en la etapa de prediseño.

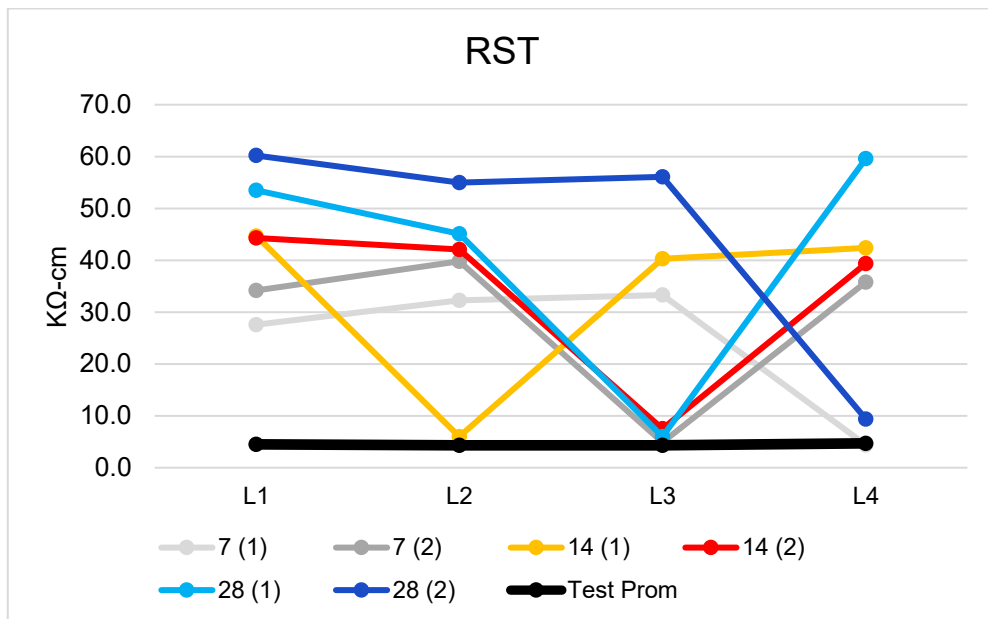


Figura 9 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RST a las edades de 7, 14 y 28 días en la etapa de prediseño.

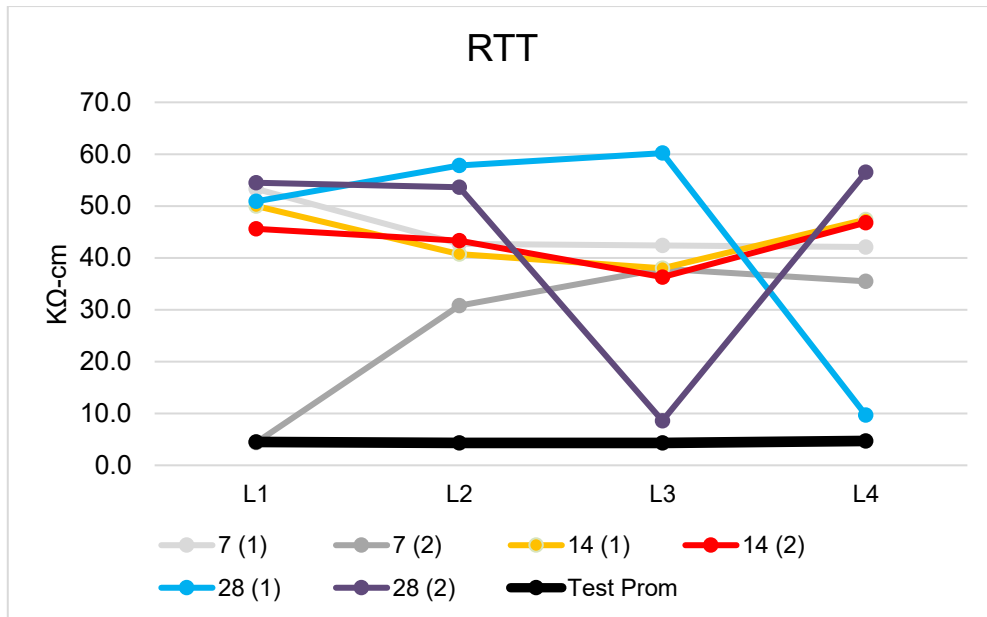


Figura 10 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RTT a las edades de 7, 14 y 28 días en la etapa de prediseño.

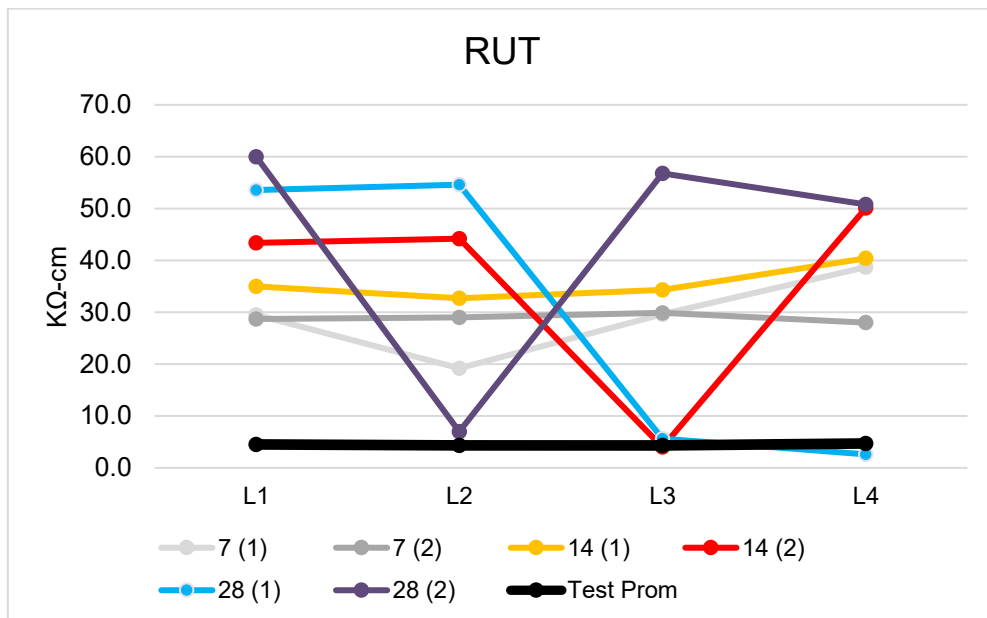


Figura 11 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RUT a las edades de 7, 14 y 28 días en la etapa de prediseño.

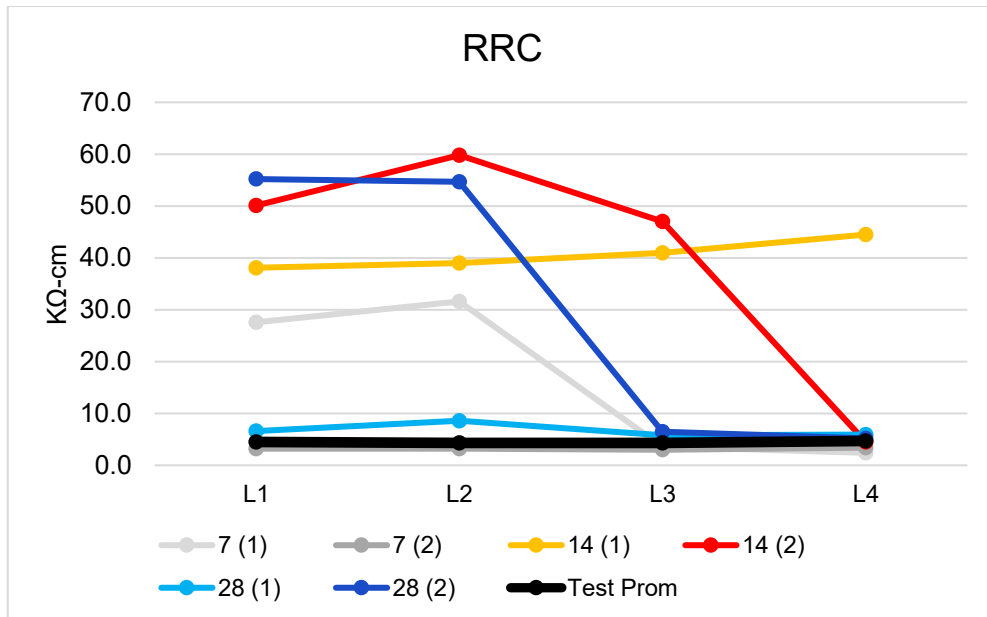


Figura 12 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RRC a las edades de 7,14 y 28 días en la etapa de prediseño.

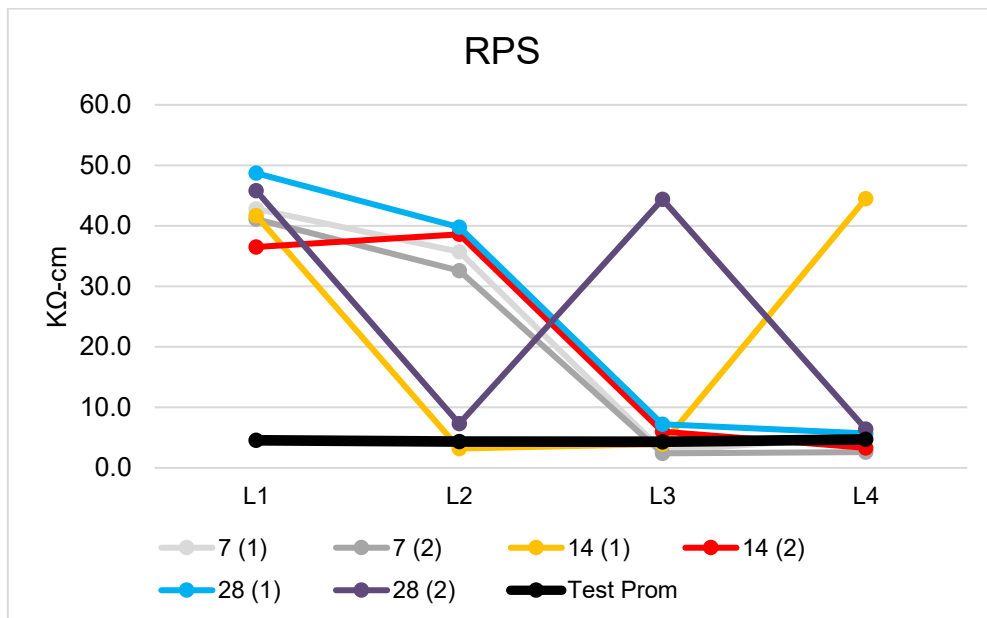


Figura 13 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RPS a las edades de 7,14 y 28 días en la etapa de prediseño.

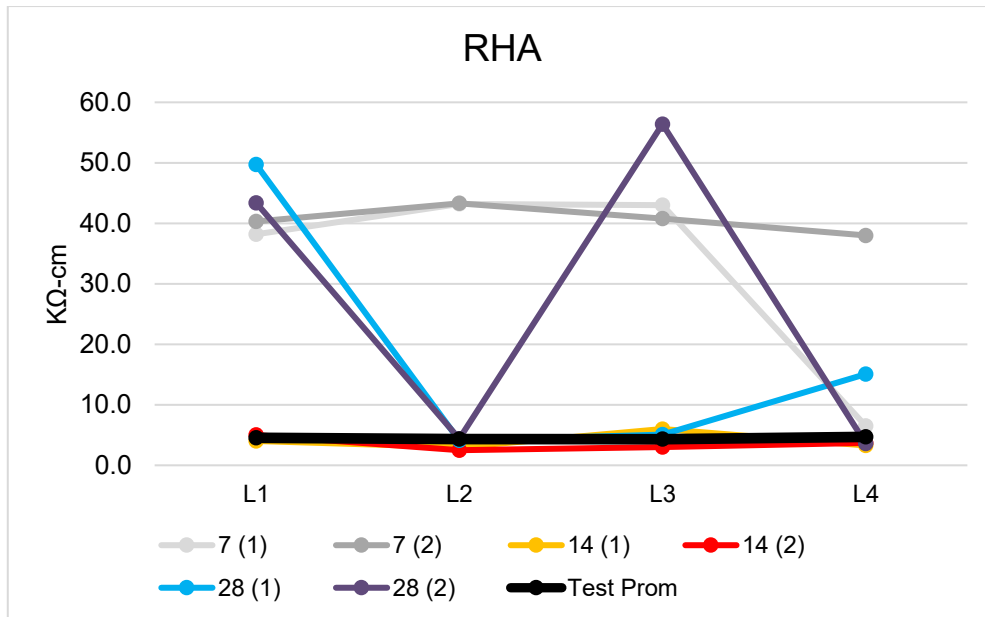


Figura 14 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RHA a las edades de 7, 14 y 28 días en la etapa de prediseño.

### 6.2.1.2. Compresión.

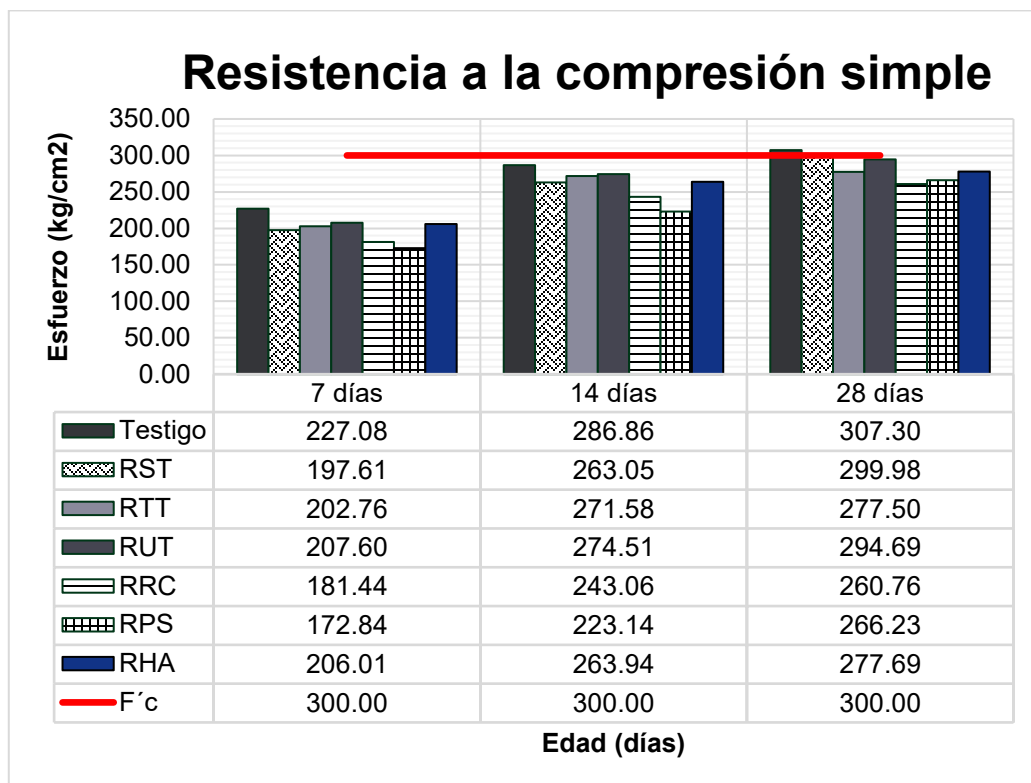


Figura 15 Resultados de resistencia a la compresión simple en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de prediseño.

En esta etapa de la investigación se hizo el mezclado de la mezcla mediante palas, por lo que las fibras textiles se incorporaron completamente a la mezcla. La mezcla Testigo fue la que mejores resultados tuvo en esta prueba ya que a los 28 días alcanzó 102.4 del diseño de 300 kgf/cm<sup>2</sup>. Aunque la mezcla RST, estuvo por debajo que la mezcla RTT y RUT a las edades de 7 y 14 días, a los 28 días la mezcla la mezcla RST alcanzó el 100% de diseño, mientras que las mezclas RTT (92.5%) y RUT (98.2%). Aun así, se optó que no siguiera en la etapa de diseño por que al momento de seleccionar las fibras textiles se quitaron algunas fibras que eran de gran tamaño y espesor, con esto quedaban las fibras parecidas a la mezcla RTT. Las mezclas que se decidió continuar fueran la que mejor comportamiento a esta prueba tuvieron después de la Testigo y RST que fueron las mezclas: RTT, RUT y RHA. Añadiendo una mezcla Testigo con el 100% de material triturado. Las mezclas RRC y RPS por sus bajos resultados a resistencia a la compresión simple, se optó que no siguiera en la siguiente etapa ya que estuvieron por debajo del 90% del diseño de la mezcla.

### **6.2.2. Diseño.**

#### **6.2.2.1. Pruebas no destructivas**

##### **6.2.2.1.1. Resistividad eléctrica húmeda.**

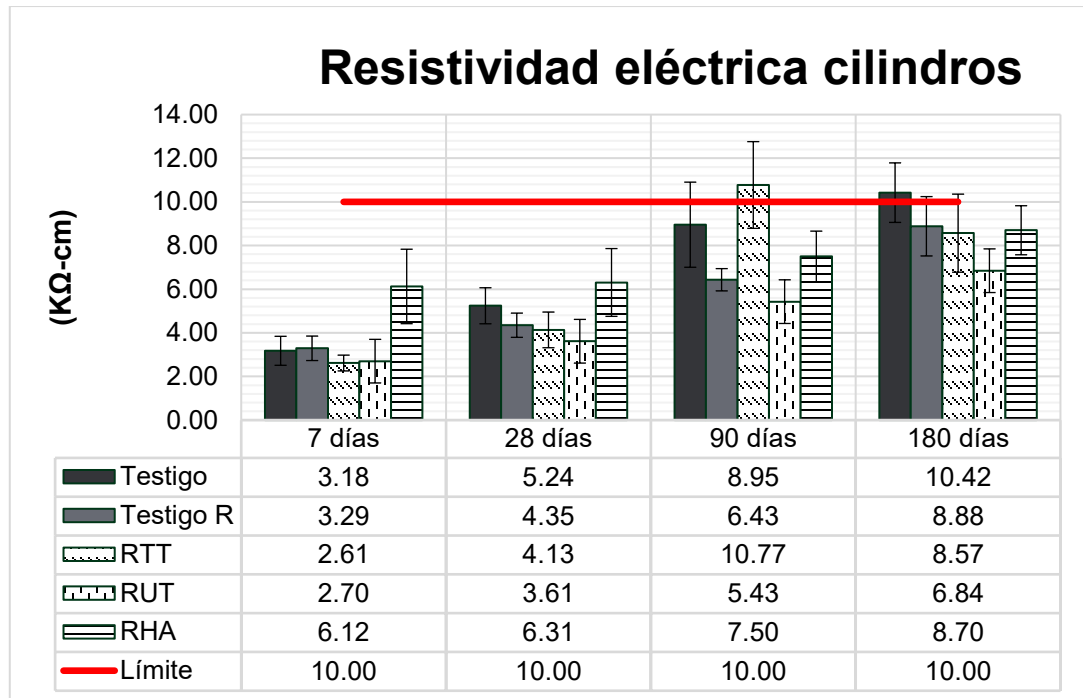


Figura 16 Resultados obtenidos de la prueba de resistividad eléctrica húmeda en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño.

Como se observa en la **Figura 16**, las mezclas que no tienen adiciones de fibras textiles, el concreto se sigue hidratando, por lo que su porosidad va disminuyendo y su resistividad eléctrica va aumentando, caso contrario con las mezclas adicionadas con fibras textiles, al tener acomodo preferencial en algunos especímenes como en la mezcla RTT que a los 90 días disminuyó 2.20 KΩ-cm a los 180 días, cuando en todas las demás mezclas de concreto al aumentar el tiempo de curado fue aumentando su resistividad eléctrica. Solamente la mezcla RTT a 90 días y la mezcla de Testigo a 180 días superaron el límite inferior de 10 KΩ-cm, por lo que el acomodo preferencial de las fibras textiles, así como la calidad de los agregados pétreos, influyen en esta prueba, como se observa en la desviación estándar la mayoría de las mezclas adicionadas con fibras textiles es mayor que las mezclas Testigo y Testigo R.

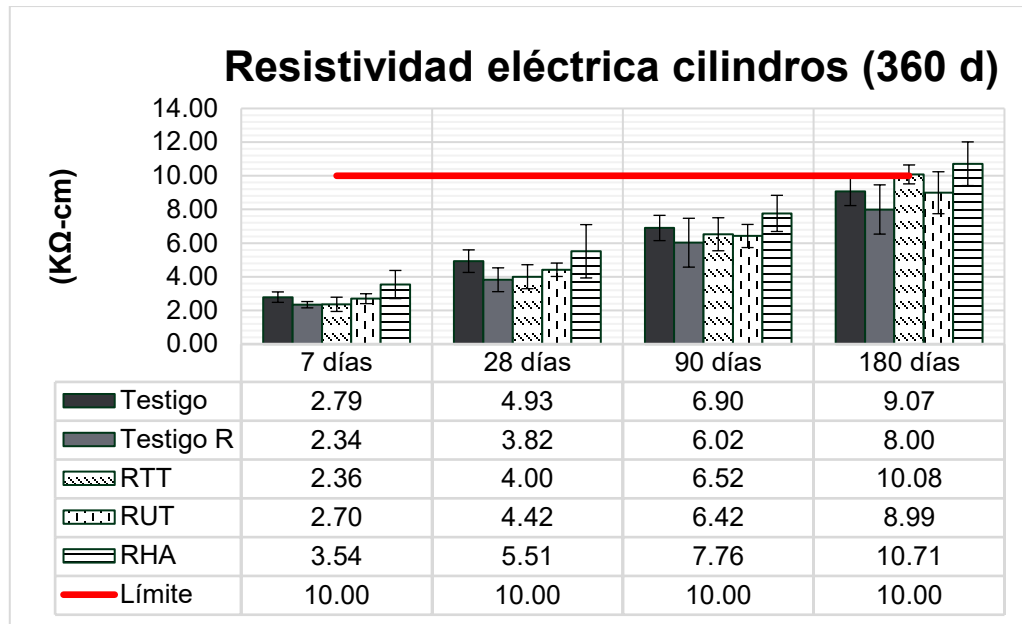


Figura 17 Resultados obtenidos de la prueba de resistividad eléctrica húmeda en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño a especímenes que se probaran a 360 días.

En los cilindros que sólo se les hicieron pruebas no destructivas se tuvo un incremento gradual en las mezclas, aunque de los 90 a 180 días la mezcla RTT fue mayor por 1.01 KΩ-cm, cuando en las demás edades era mayor la mezcla testigo, por lo que se deduce que las fibras textiles de esta mezcla al ser de mayor diámetro y grosor que las demás fibras, está teniendo curado interno, por lo que su porosidad va disminuyendo y su resistividad eléctrica va aumentando. Las mezclas RTT y RHA superaron el límite mínimo 10 KΩ-cm por lo que su riesgo de corrosión va disminuyendo en estas mezclas.

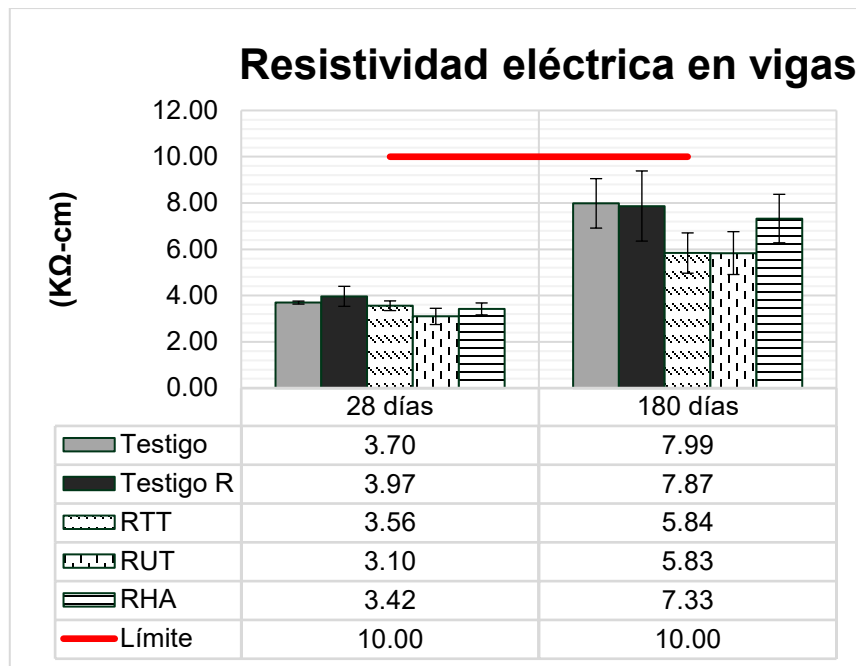


Figura 18 Resultados obtenidos de la prueba de resistividad eléctrica húmeda en vigas de 15 x 15 x 60 cm en la etapa de diseño.

En las vigas al tener un espécimen de mayor volumen de concreto, disminuyó el acomodo preferencial, ya que solo la mezcla RHA supero a la mezcla RTT de 28 a 180 días, por lo que en este caso el curado interno puede ser mayor en la mezcla RHA; aunque las fibras textiles están actuando como macro poros ya que están permitiendo el flujo de electricidad, ya que en ninguna de las mezclas adicionadas con fibras textiles en ambas edades fue mayor que las mezclas Testigo y Testigo R. Ninguna de las mezclas fue mayor que los 10 KΩ-cm, por lo que todas las mezclas de concreto tienen un alto peligro a la corrosión. Sólo en el caso de RHA se observa un repunte en la edad de 180 días, lo que puede ser atribuible al curado interno que se favorece con esta adicción. Dicho repunte se observa en las tres graficas presentadas de RE (**Figuras 16-18**).

#### 6.2.2.1.2. Resistividad eléctrica húmeda aparente.

En la etapa de diseño al ser más especímenes por edad se optó que en cada gráfica sea por mezcla y edad para poder apreciar los saltos que marca el equipo de los especímenes.

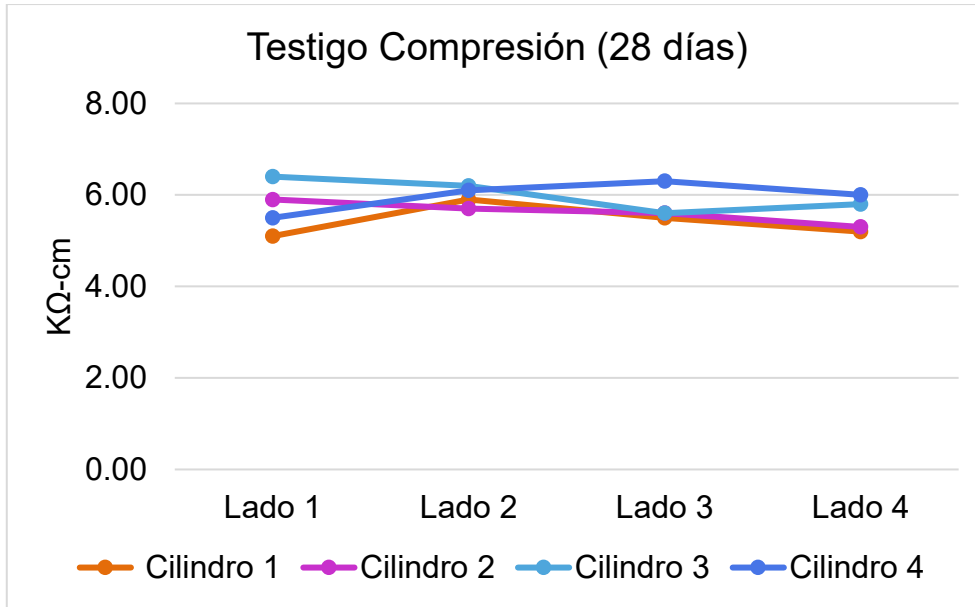


Figura 19 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple.

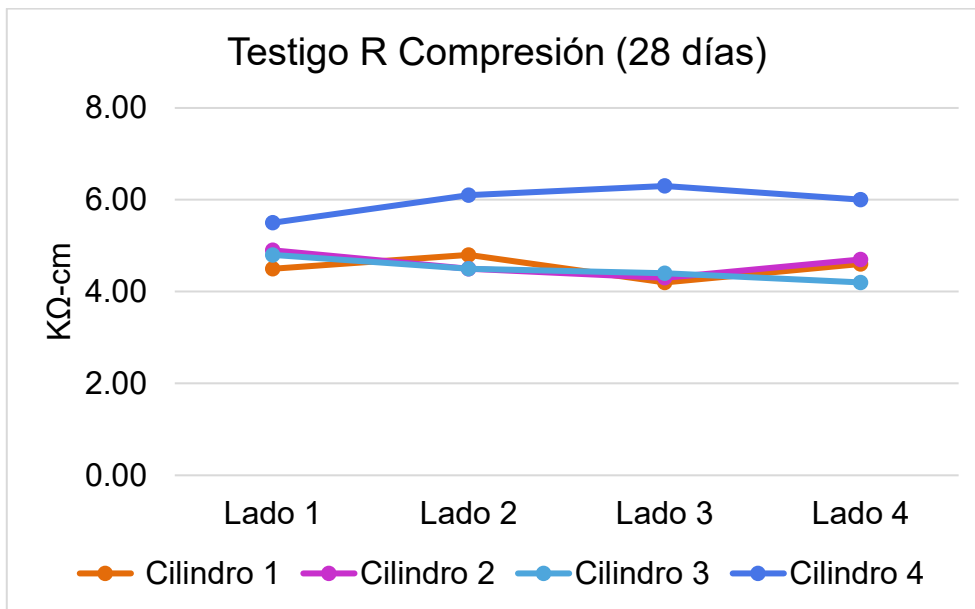


Figura 20 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo R a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple.

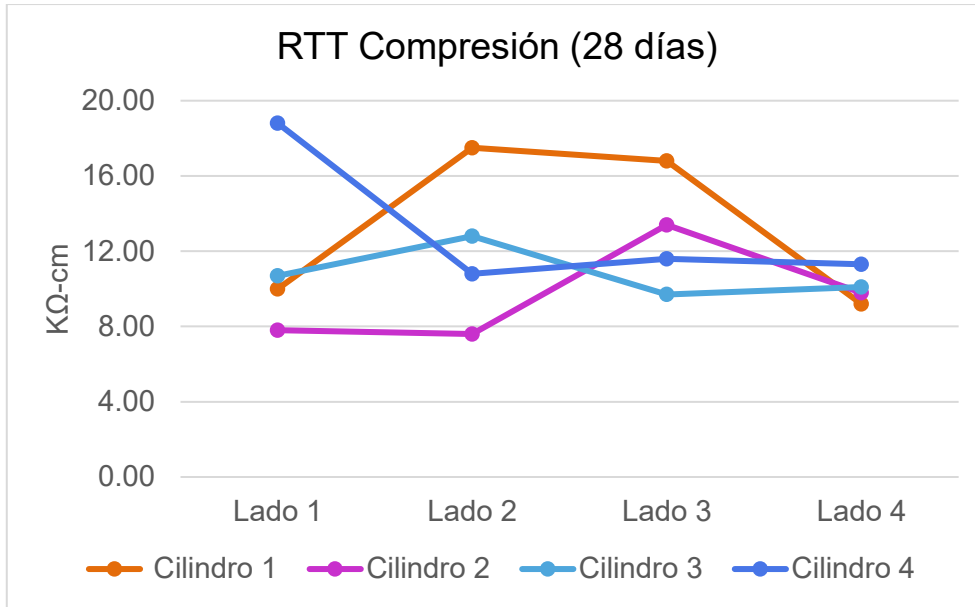


Figura 21 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RTT a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple.

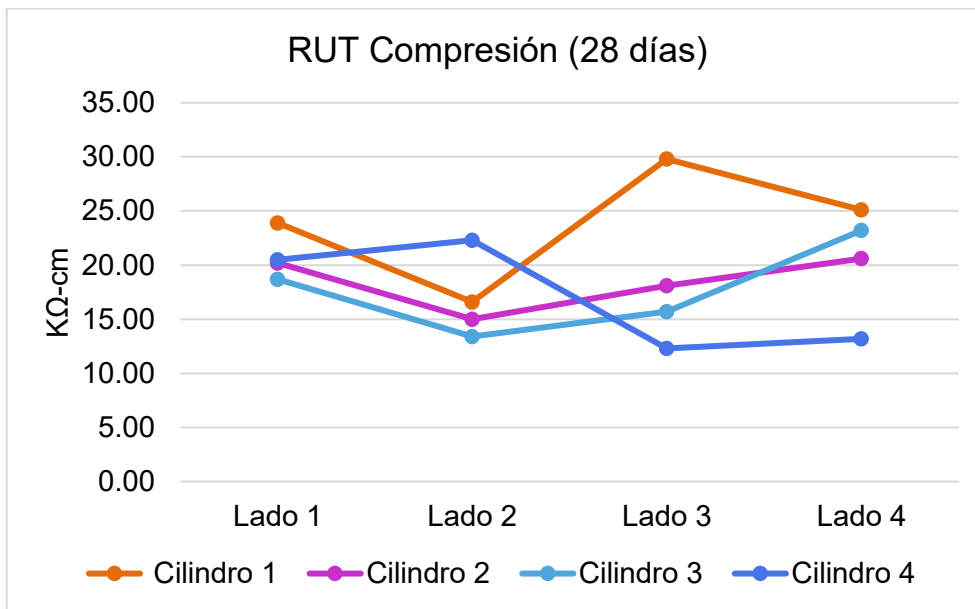


Figura 22 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RUT a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple.

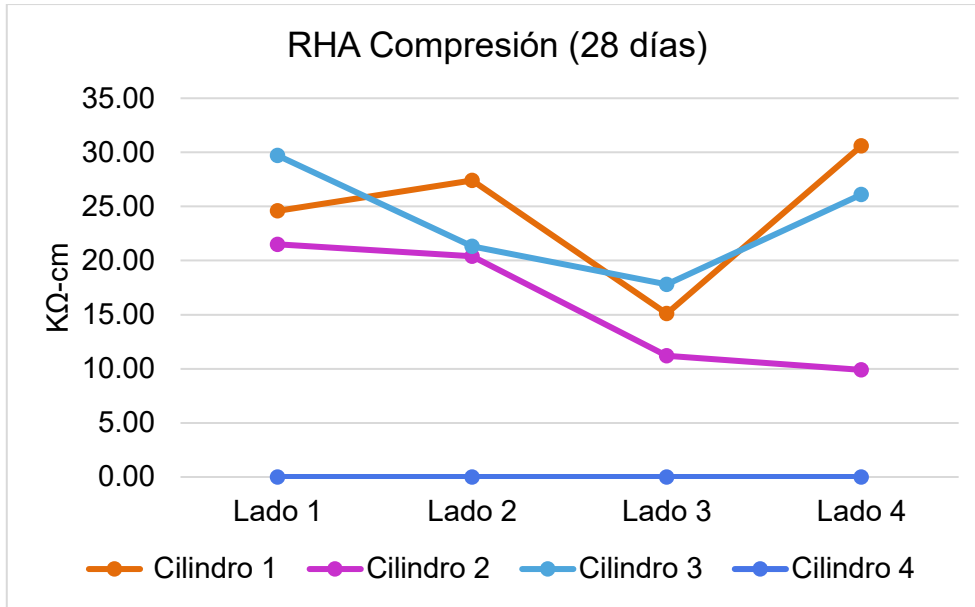


Figura 23 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RHA a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple.

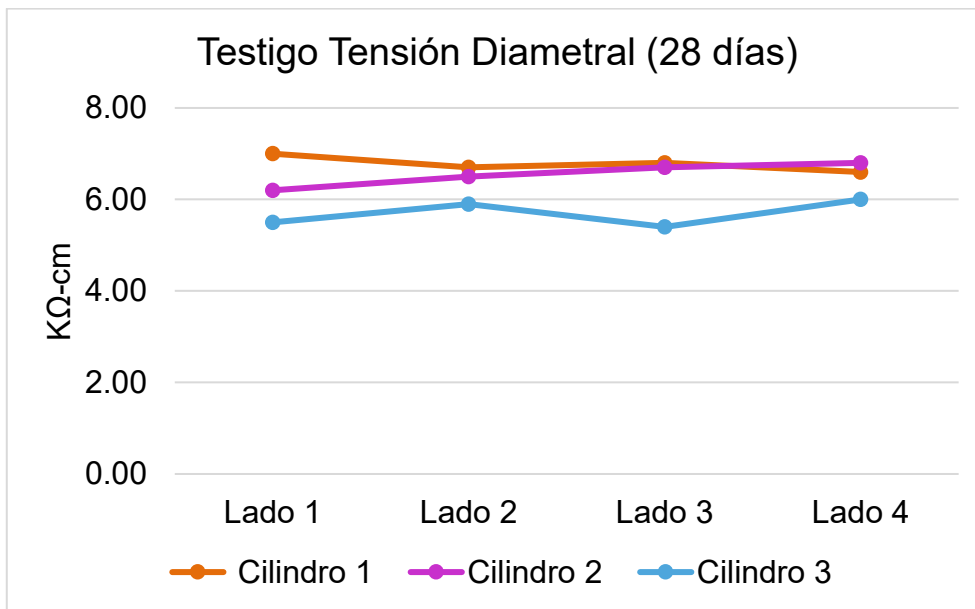


Figura 24 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de tensión por compresión diametral.

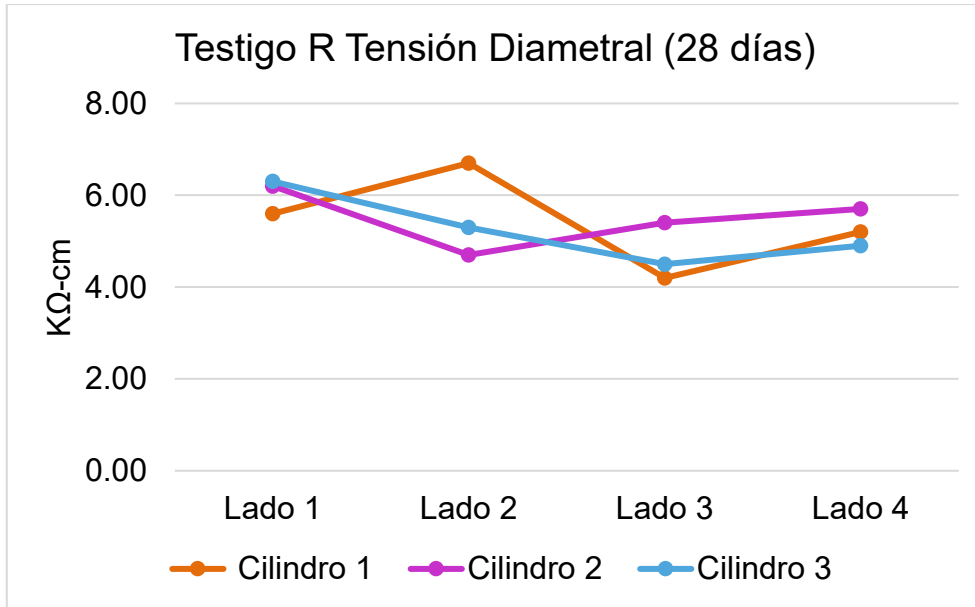


Figura 25 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo R a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de tensión por compresión diametral.

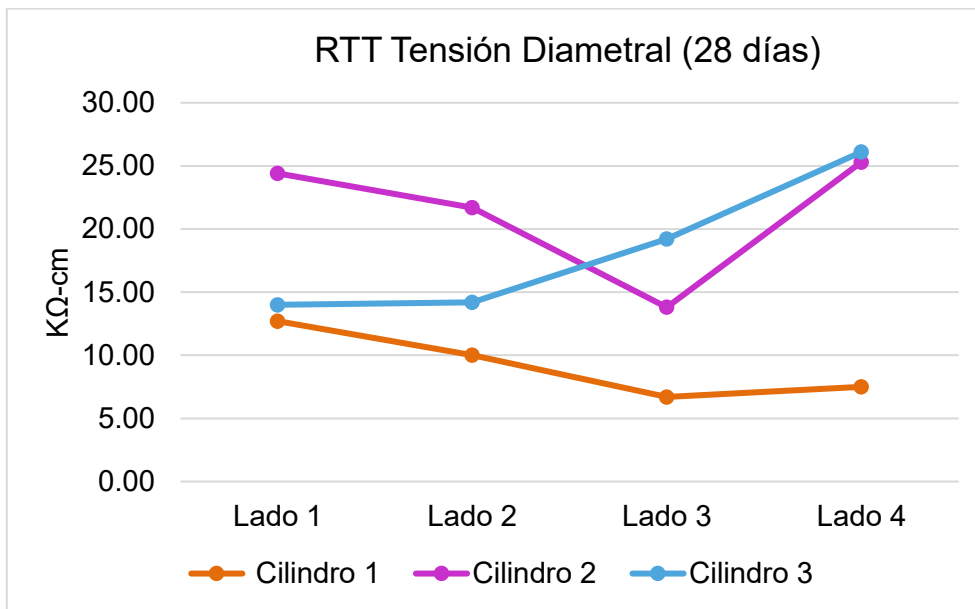


Figura 26 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RTT a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de tensión por compresión diametral.

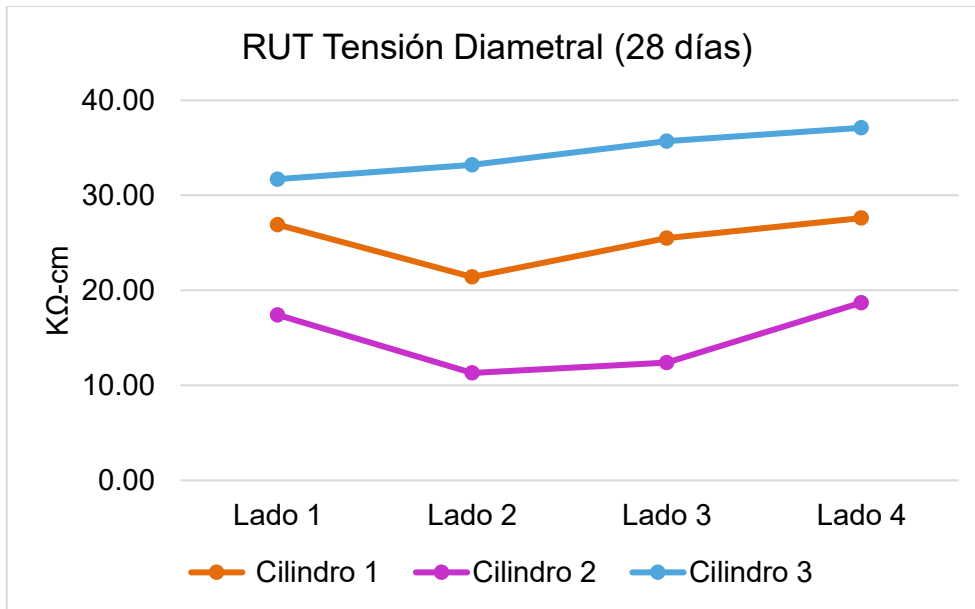


Figura 27 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RUT a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de tensión por compresión diametral.

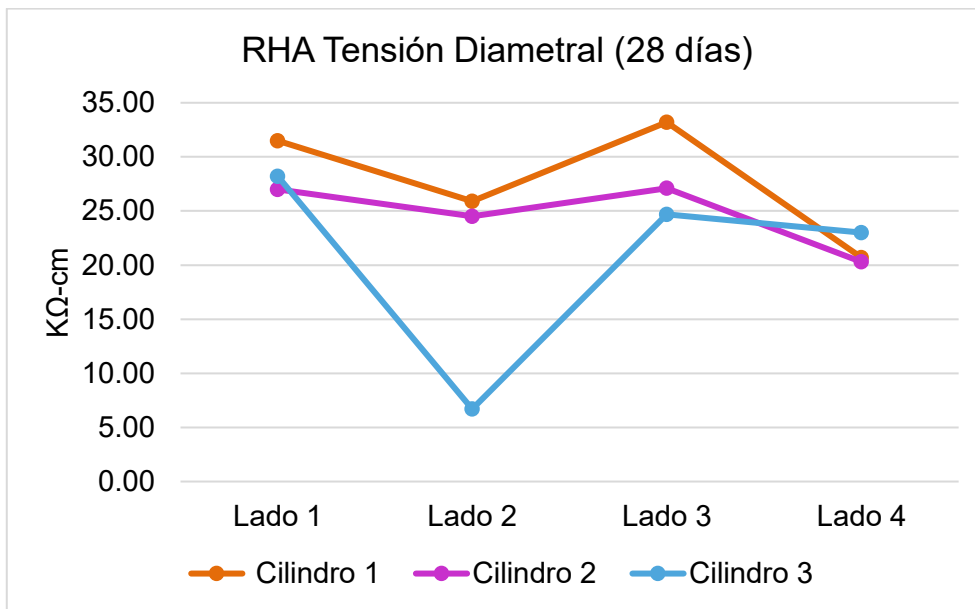


Figura 28 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RHA a la edad de 28 días en la etapa de diseño en la prueba de tensión por compresión diametral.

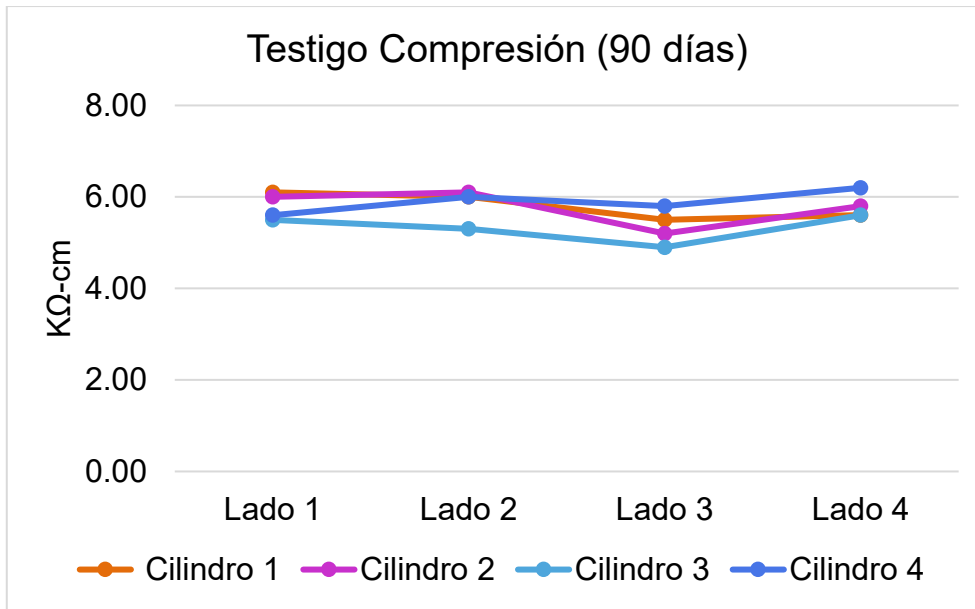


Figura 29 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo a la edad de 90 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple.

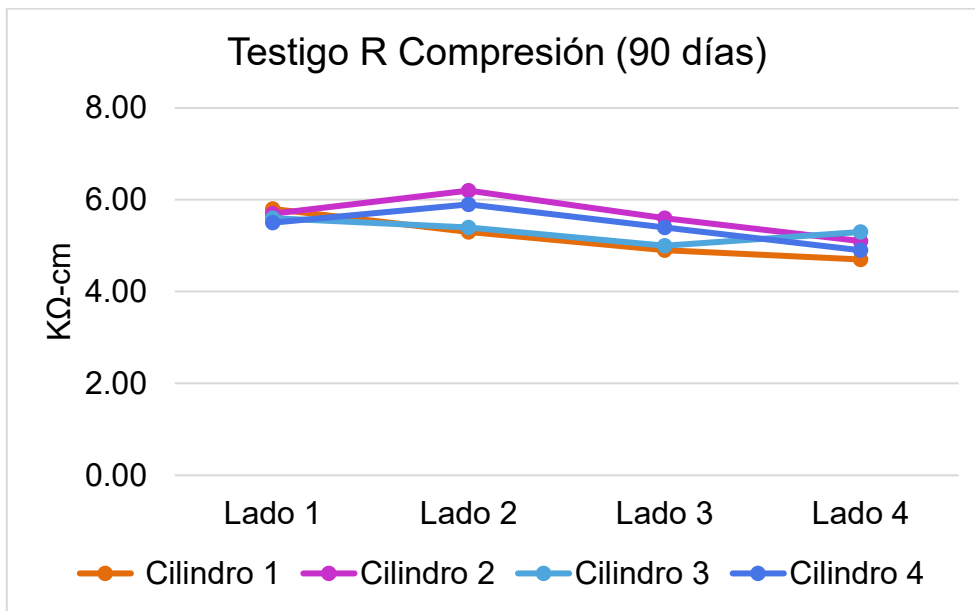


Figura 30 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo R a la edad de 90 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple.

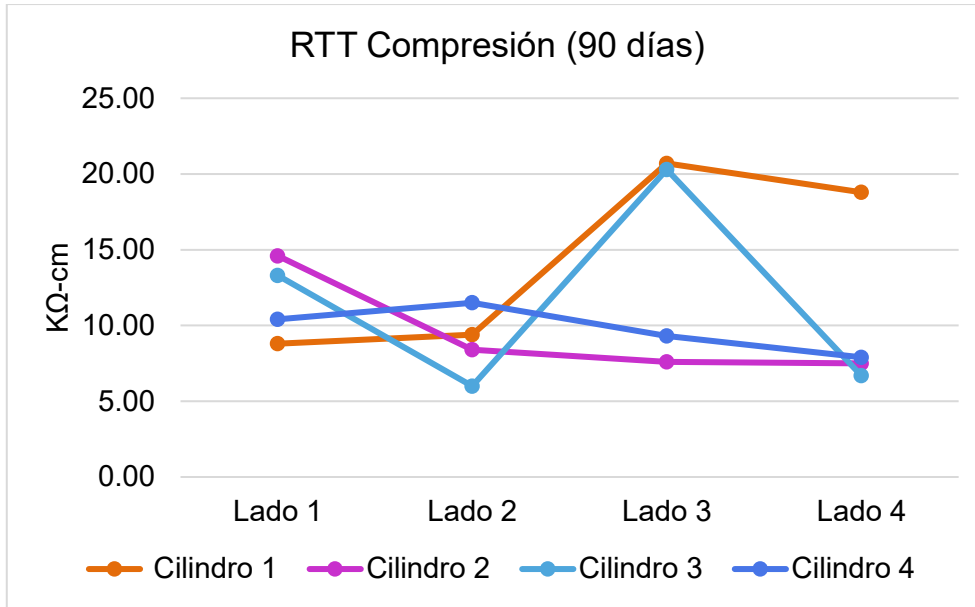


Figura 31 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RTT a la edad de 90 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple.

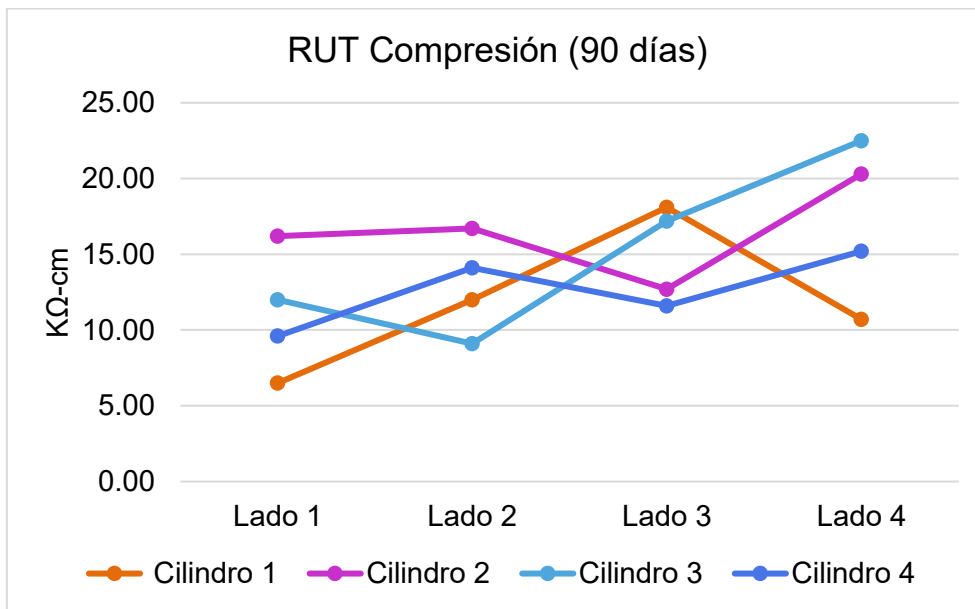


Figura 32 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RUT a la edad de 90 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple.

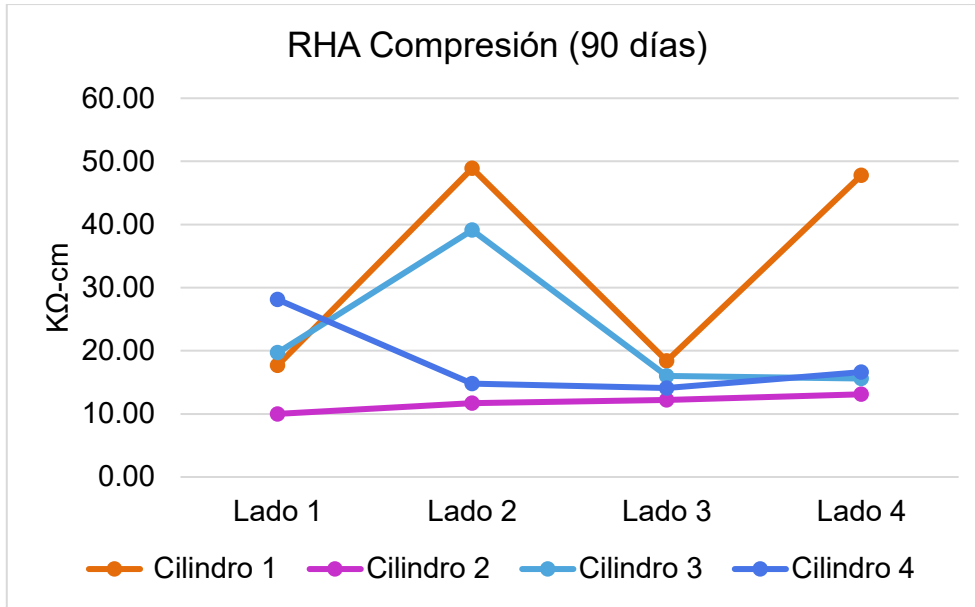


Figura 33 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RHA a la edad de 90 días en la etapa de diseño en la prueba de resistencia a la compresión simple.

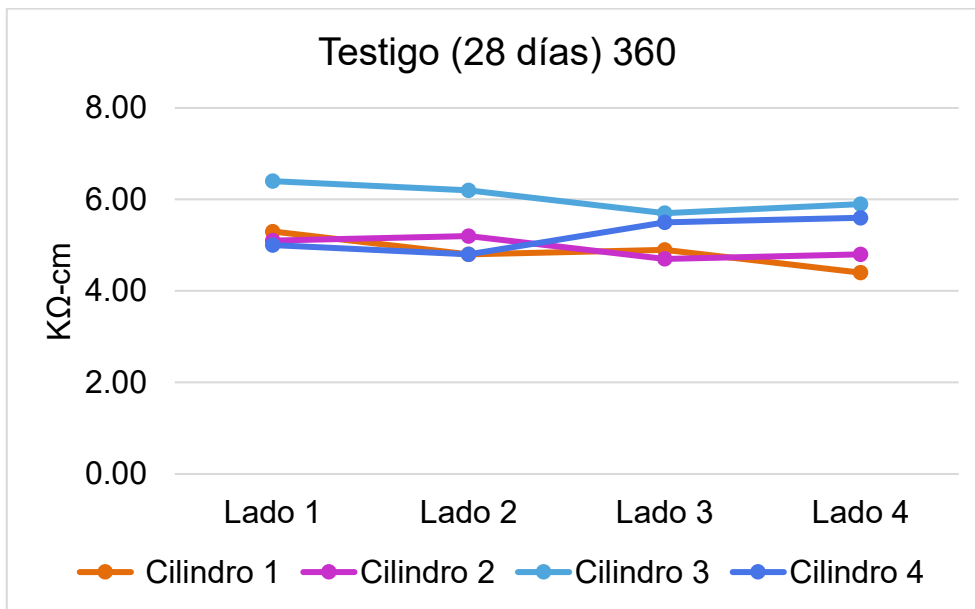


Figura 34 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo a la edad de 28 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días.

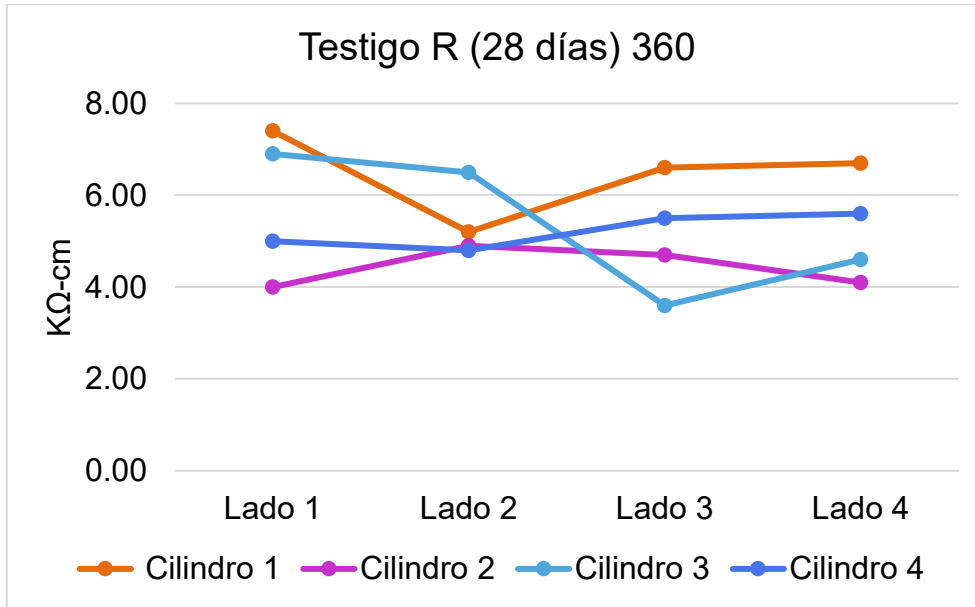


Figura 35 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo R a la edad de 28 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días.

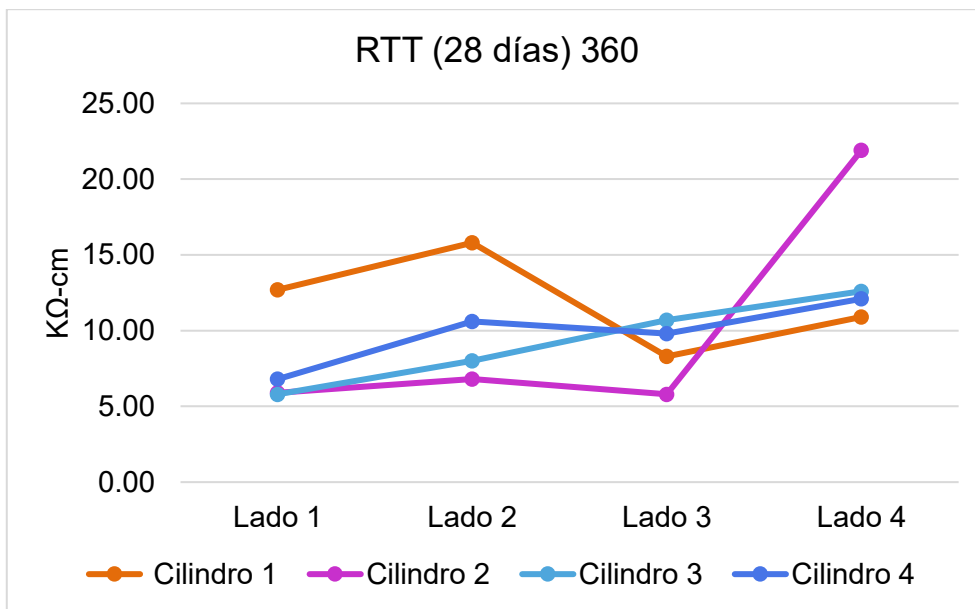


Figura 36 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RTT a la edad de 28 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días.

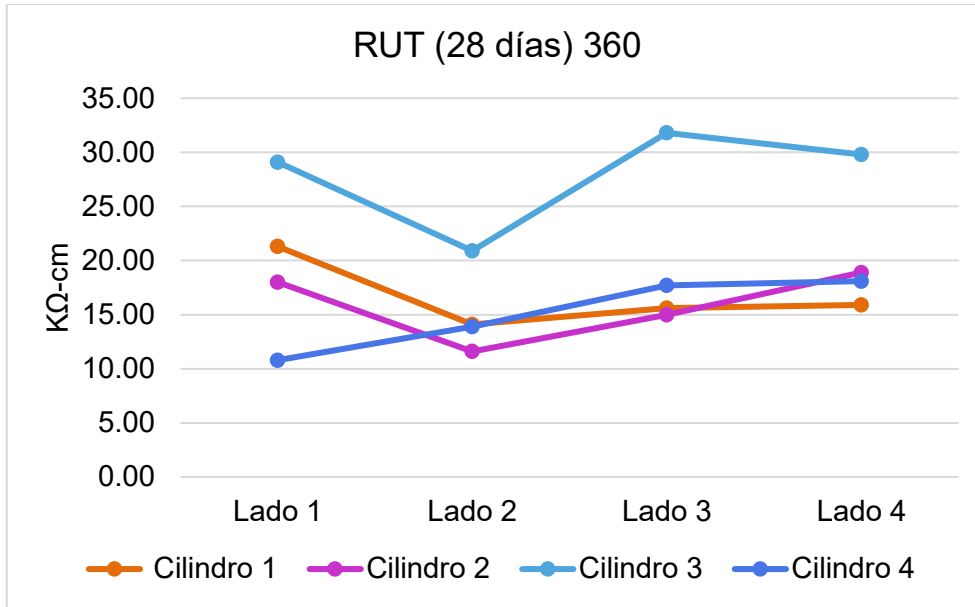


Figura 37 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RUT a la edad de 28 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días.

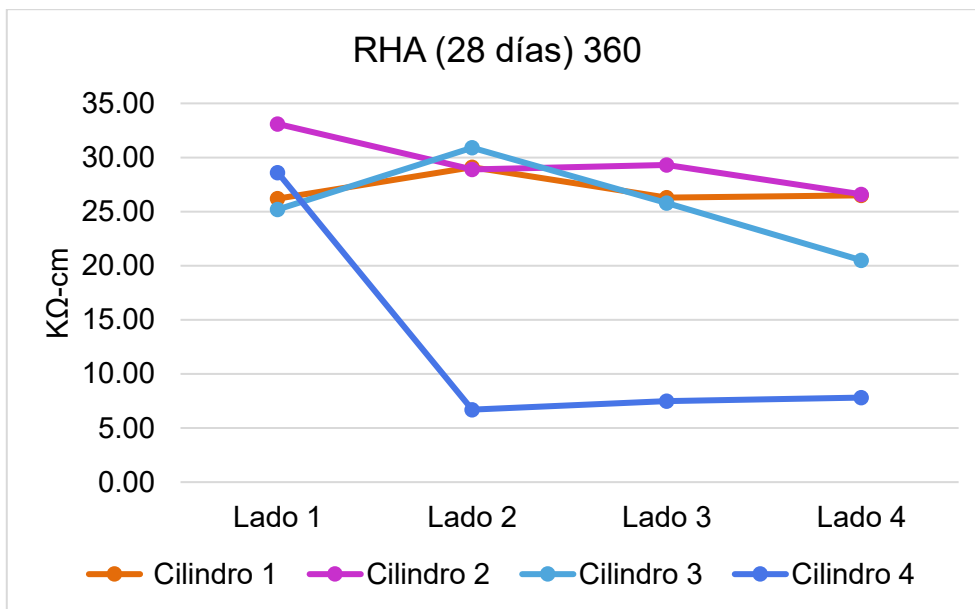


Figura 38 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RHA a la edad de 28 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días.

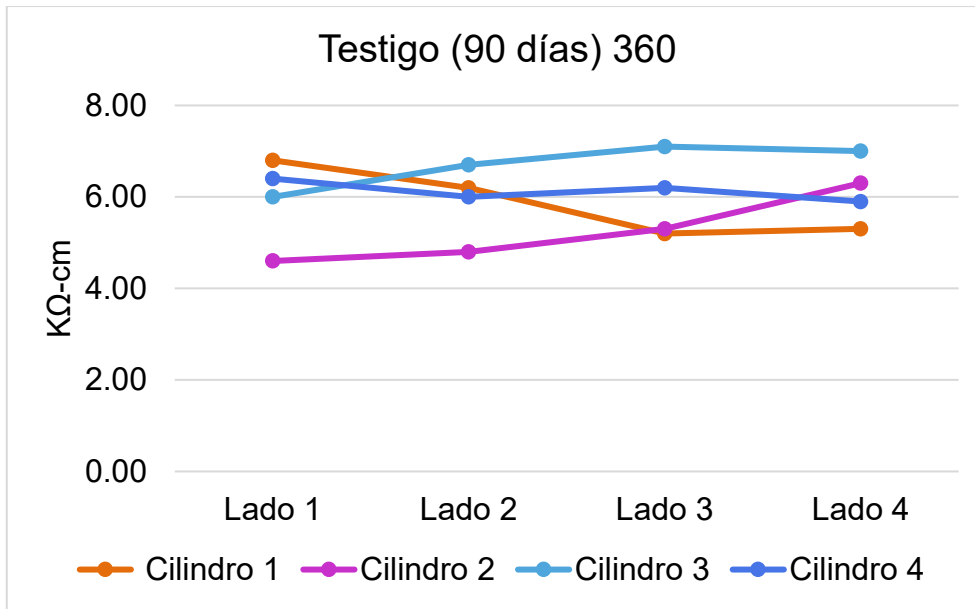


Figura 39 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo a la edad de 90 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días.

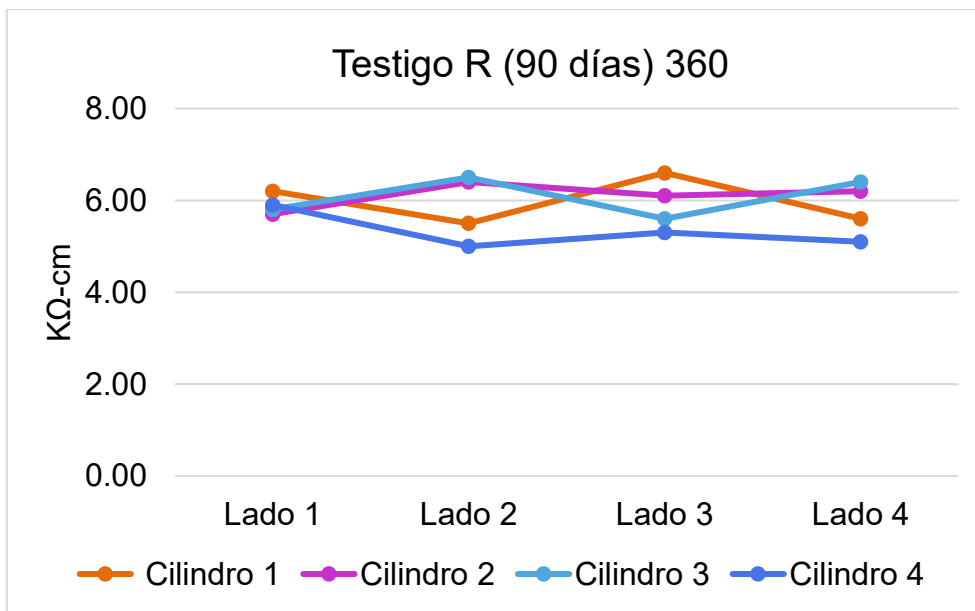


Figura 40 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla Testigo R a la edad de 90 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días.

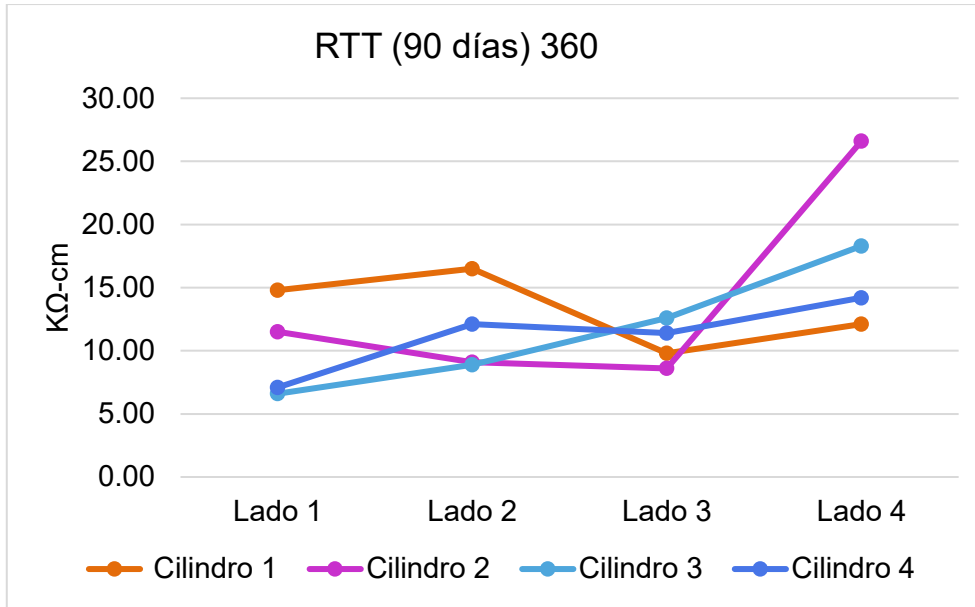


Figura 41 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RTT a la edad de 90 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días.

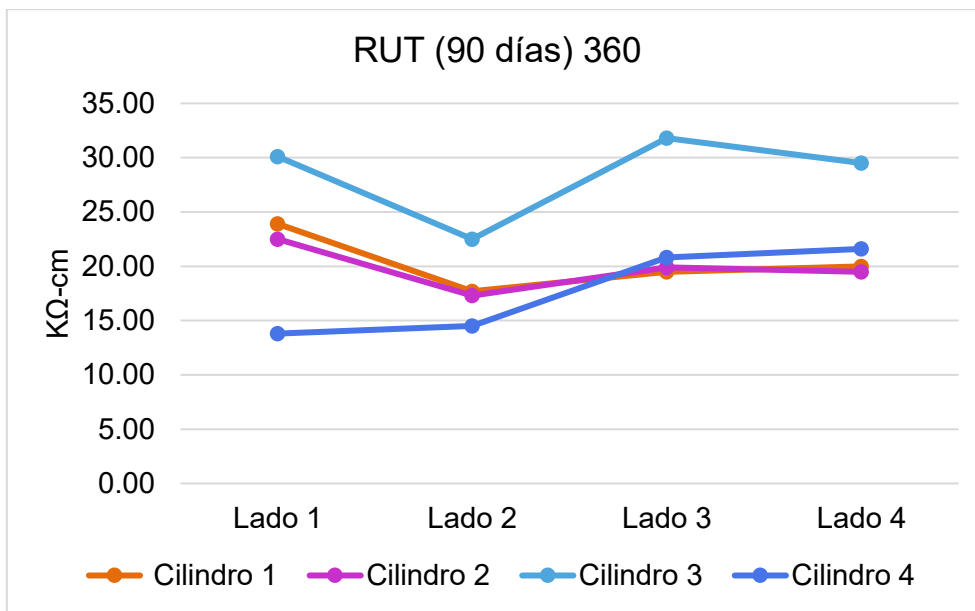


Figura 42 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RUT a la edad de 90 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días.

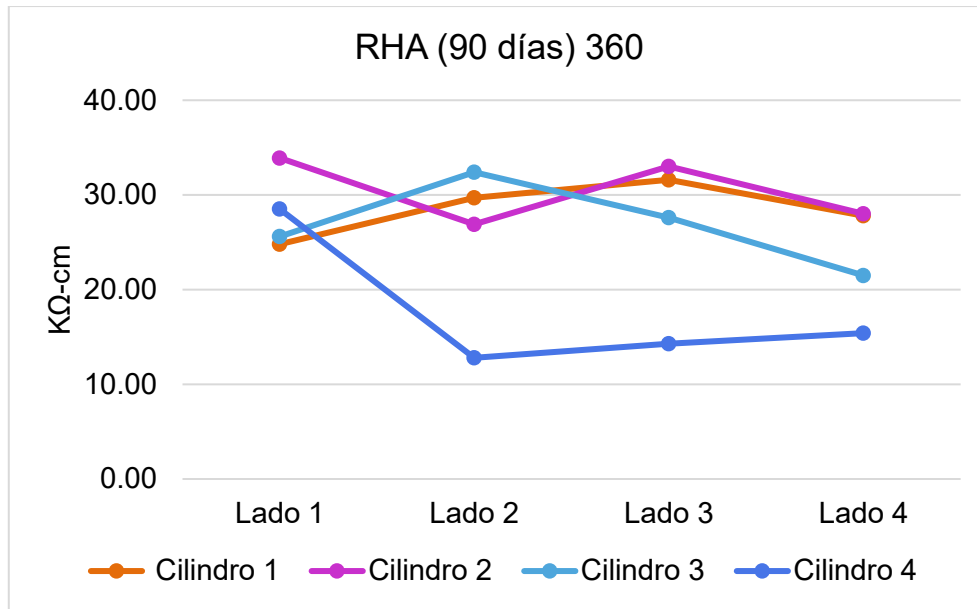


Figura 43 Resistividad eléctrica húmeda aparente de la mezcla RHA a la edad de 90 días en la etapa de diseño a cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días.

Como se puede observar en todas las gráficas anteriores (**Figuras 19- 43**), la resistividad eléctrica aparente o “método de Wenner”, puede ser una herramienta eficaz para determinar de forma rápida, sencilla y segura el acomodo preferencial de las fibras textiles incorporadas en el concreto.

**6.2.2.1.3. VPU.**

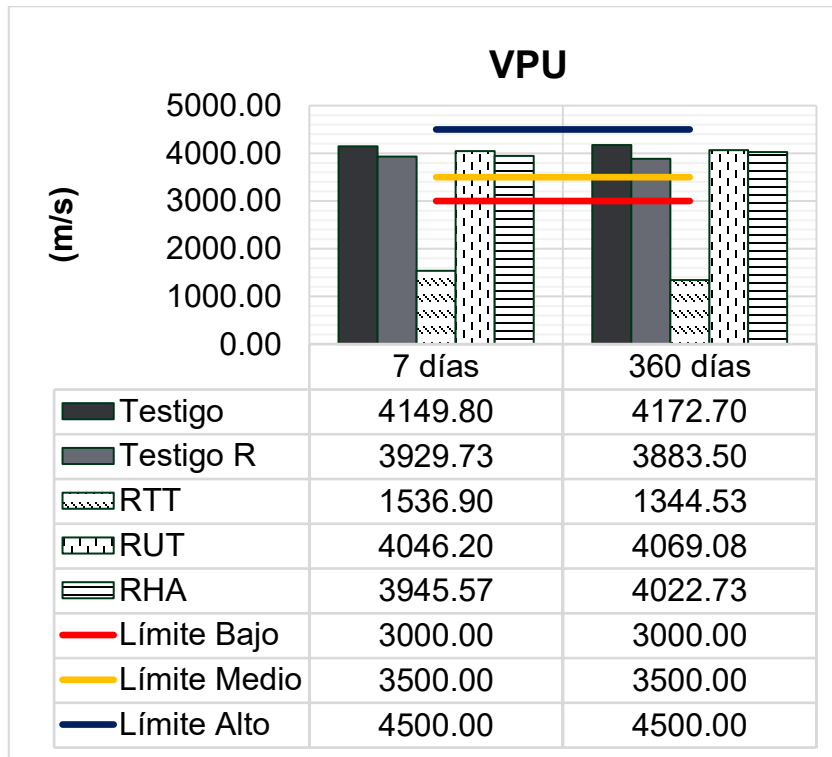


Figura 44 Resultados de velocidad de pulso ultrasónico de cilindros de 10 x 20 cm ensayados a 7 días y cilindros que serán sometidos a la prueba de resistencia a la compresión simple a la edad de 360 días en la etapa de diseño.

Como se observa en la **Figura 44** solamente la mezcla RTT está en el límite bajo, ya que las demás mezclas están arriba del límite medio, pero abajo del límite alto, por lo que en esta prueba se comprueba que el tamaño y grosor de las fibras afecta en la velocidad de propagación de la onda de sonido. La mezcla Testigo fue la que mejor comportamiento tuvo, aunque las mezclas RHA y RUT al adicionar fibras textiles obtuvo mejores resultados que la mezcla Testigo R.

**6.2.2.1.4. Frecuencia de Resonancia.**

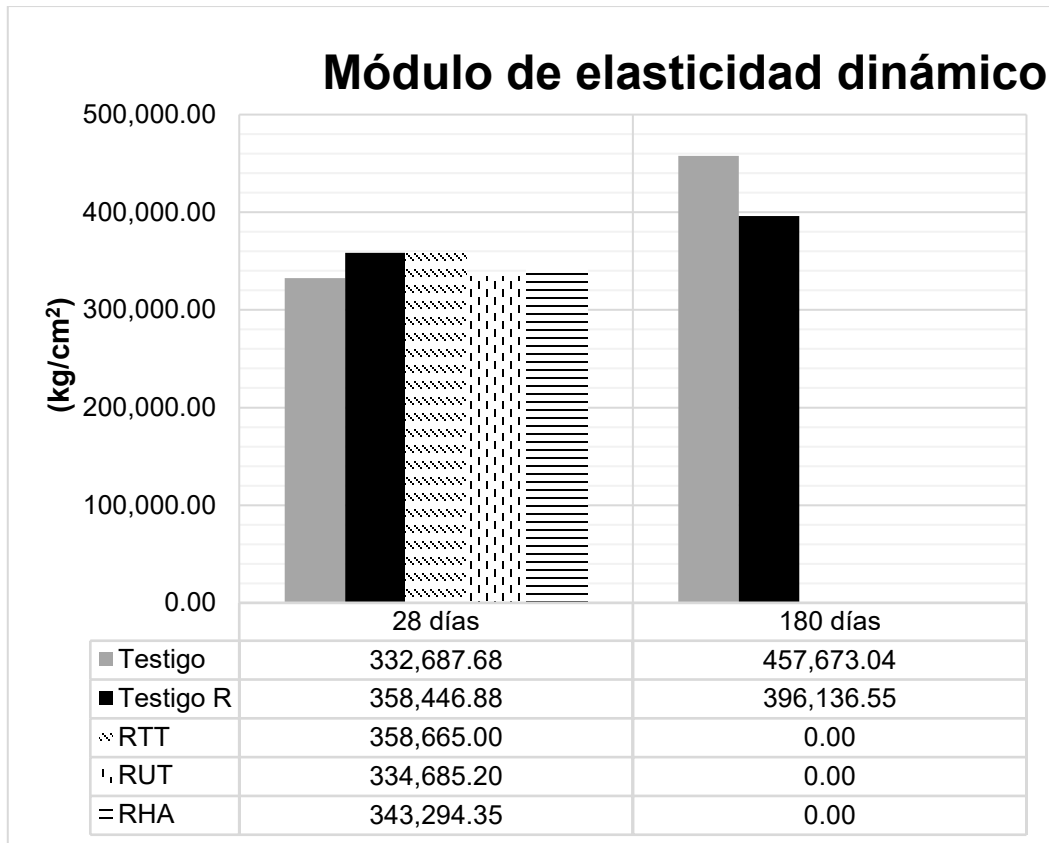


Figura 45 Resultados de módulo de elasticidad dinámico en vigas de 15 x 15 x 60 cm en la etapa de diseño.

En el módulo de elasticidad dinámico a la edad de 28 días la mezcla RTT tuvo el mejor comportamiento por lo que ser la fibra de mayor tamaño su módulo de elasticidad dinámico es mayor, como en las mezclas RTT y RHA tuvo mejor resultado que la mezcla Testigo. Aunque la mezcla Testigo R a la edad de 28 días obtuvo mejor resultado de la mezcla Testigo, a los 180 días la mezcla Testigo obtuvo mejor resultado en esta prueba. Mientras que en las mezclas adicionadas con fibras textiles no se pudieron obtener resultados ya que el equipo no sirvió al momento de intentar realizar la prueba.

### 6.2.2.2. Pruebas destructivas.

#### 6.2.2.2.1. Resistencia a la compresión simple.

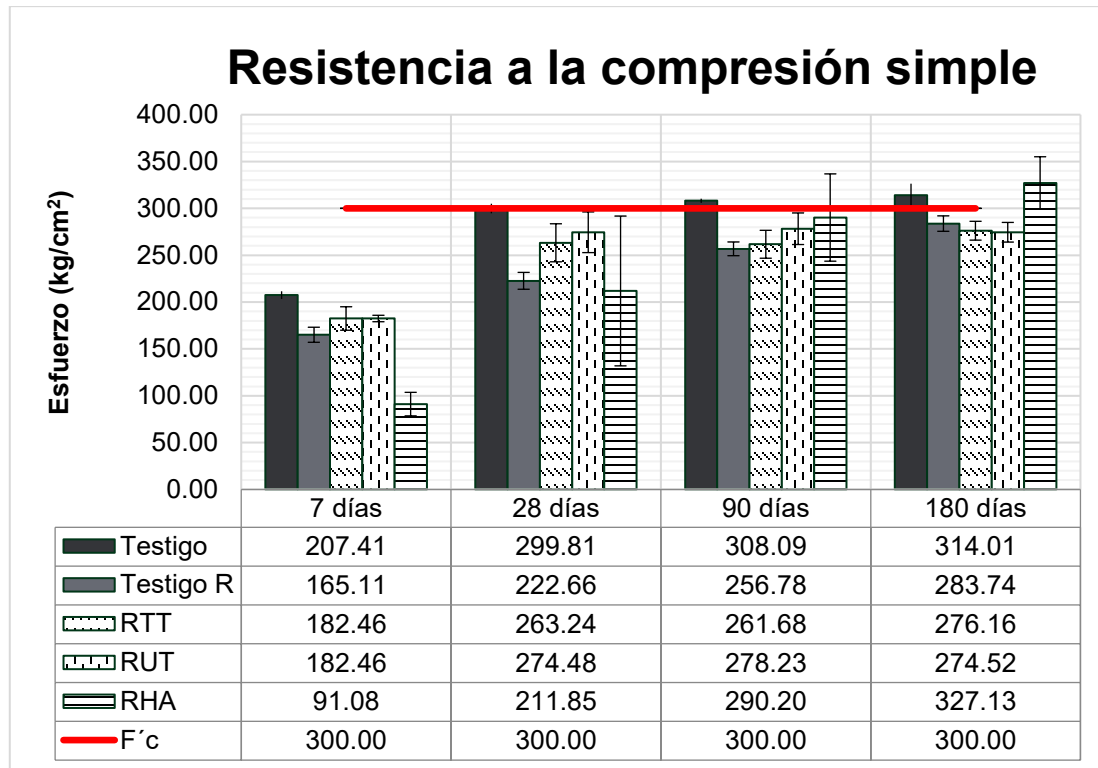


Figura 46 Resultados de resistencia a la compresión simple en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño.

En esta etapa de la investigación se hizo el mezclado por equipos mecánico (revolvedora de un bulto de cemento), por lo que, al momento de agregar las fibras textiles, por su longitud cierto porcentaje de las fibras quedo adherida a las aspas de la revolvedora (**ilustración 61**), por lo que estos especímenes tuvieron menor cantidad de fibras textiles que las mezclas de la etapa de prediseño. La mezcla Testigo fue la que mejor comportamiento tuvo a esta prueba a las edades de 7, 28 y 90 días, alcanzando el 99.9 a los 28 días y 102.7% a los 90 días del diseño de 300 kgf/cm<sup>2</sup>. Pero la mezcla RHA al ser la que peor comportamiento tuvo a en esta prueba a las edades de 7 y 28 días al dejar los especímenes que no se alcanzó el resultado deseado, mientras que a los 28 días alcanzo un 70.6% del diseño, además de la mayor desviación estándar en todas las edades de ensayo. Pero a los 90 días la mezcla RHA solo estuvo por debajo de la mezcla Testigo con un 96.7% del diseño. Mientras que a los 180 días la mezcla RHA supero a todas las mezclas en esta prueba alcanzando un 109%, superando el 104.7% de la mezcla Testigo. Las mezclas RTT

y RUT tuvieron mejores resultados que la mezcla Testigo R en las edades de 7, 28 y 90 días, pero ya a los 180 días la mezcla Testigo R alcanza 94.6% del diseño. Todas las mezclas a los 180 días estuvieron arriba del 90% diseño.



Ilustración 61. Fibras enredadas en las aspas de la revolvedora al momento de la elaboración de la mezcla. Fuente: elaboración propia.

#### 6.2.2.2. Tensión por compresión diametral.

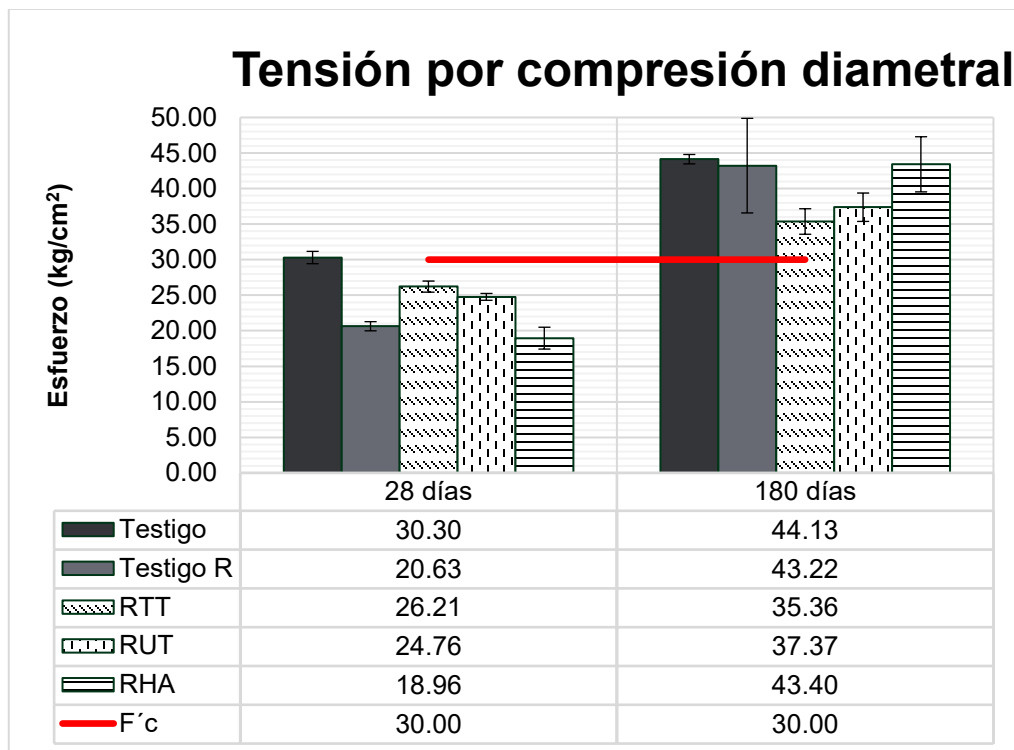


Figura 47 Resultados de tensión por compresión diametral en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño.

Como se muestra en la **Figura 47**, solo la mezcla Testigo superó el 10% del  $f'c$  de diseño de 300 kgf/cm<sup>2</sup> a los 28 días, aunque no hubo gran desviación estándar en las mezclas en esa edad, a los 180 días todas las mezclas estuvieron por arriba de los 30 kgf/cm<sup>2</sup>, por lo que en esta prueba todas las mezclas están cumpliendo, pero cabe destacar que la mezcla Testigo R y RHA aumentaron considerablemente su desviación estándar. La mezcla RHA de tener el más bajo de los resultados con 63.2%, paso a tener el segundo más alto a los 180 días con 144.7% solo por debajo de la mezcla Testigo con 147.1%, caso contrario que en la mezcla RTT (87.4%), de estar solo por debajo de la mezcla Testigo (101%), no aumento lo esperado a los 180 días con 117.9%. Algo importante a mencionar es que las mezclas adicionadas con fibras textiles su falla fue dúctil, ya que en las mezclas Testigo y Testigo R los especímenes tendía a desprenderse al momento de la falla, pero las adicionadas con fibras textiles tendía a que no se desprendiera los especímenes.

### 6.2.2.3. Módulo de elasticidad dinámico.

La prueba se realizó a las edades de 28, 90 y 180 días, a dos especímenes de cada mezcla, ya que previamente se sometían 2 a la prueba de resistencia a la compresión simple, para conocer su carga final y todo el procedimiento se realizó mediante la norma NMX-C-128-ONNCCE, 2020.

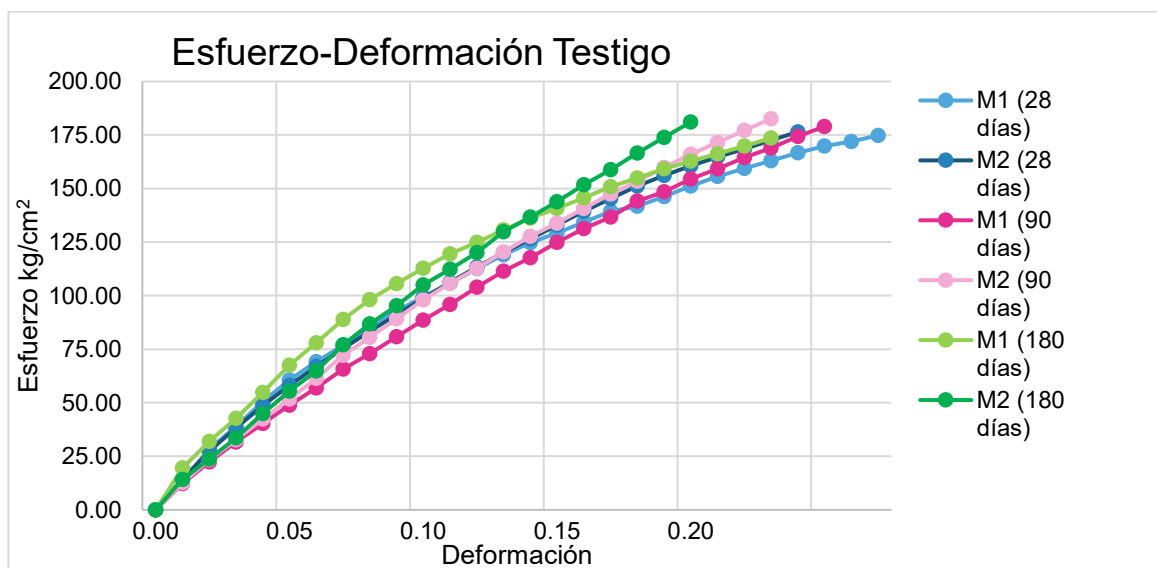


Figura 48 Gráfica esfuerzo-deformación de la mezcla Testigo de la prueba módulo de elasticidad estático en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño.

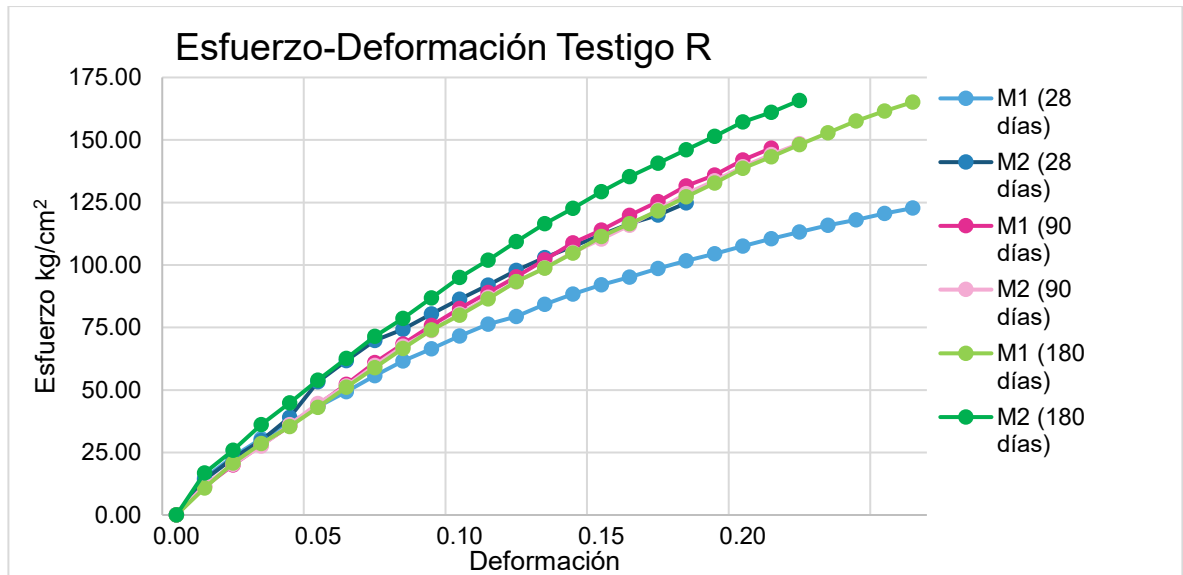


Figura 49 Gráfica esfuerzo-deformación de la mezcla Testigo R de la prueba módulo de elasticidad estático en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño.

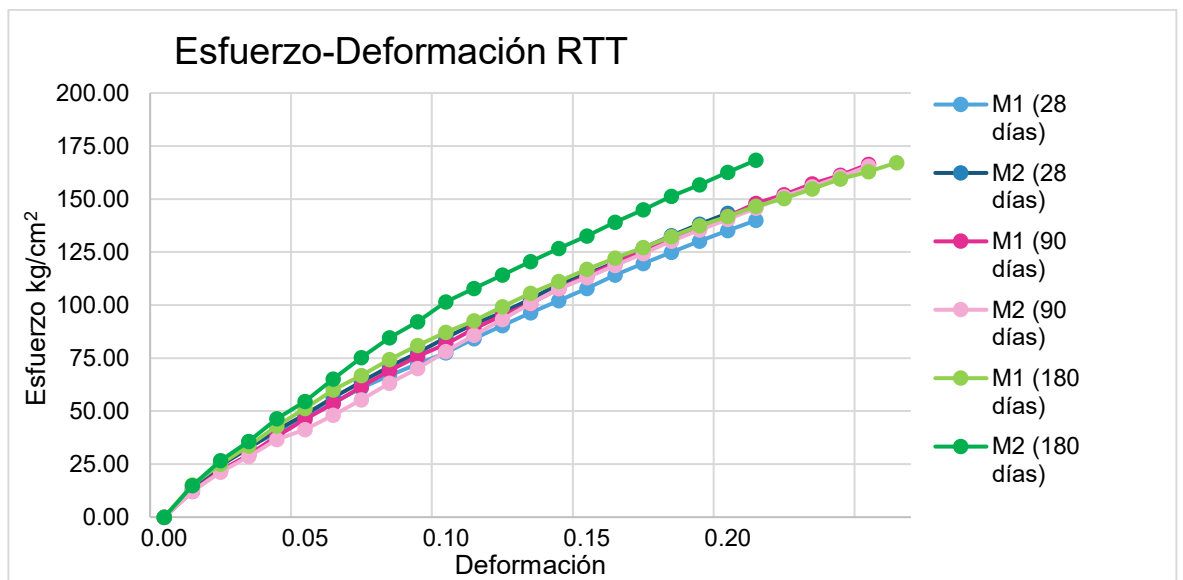


Figura 50 Gráfica esfuerzo- deformación de la mezcla RTT de la prueba módulo de elasticidad estático en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño.

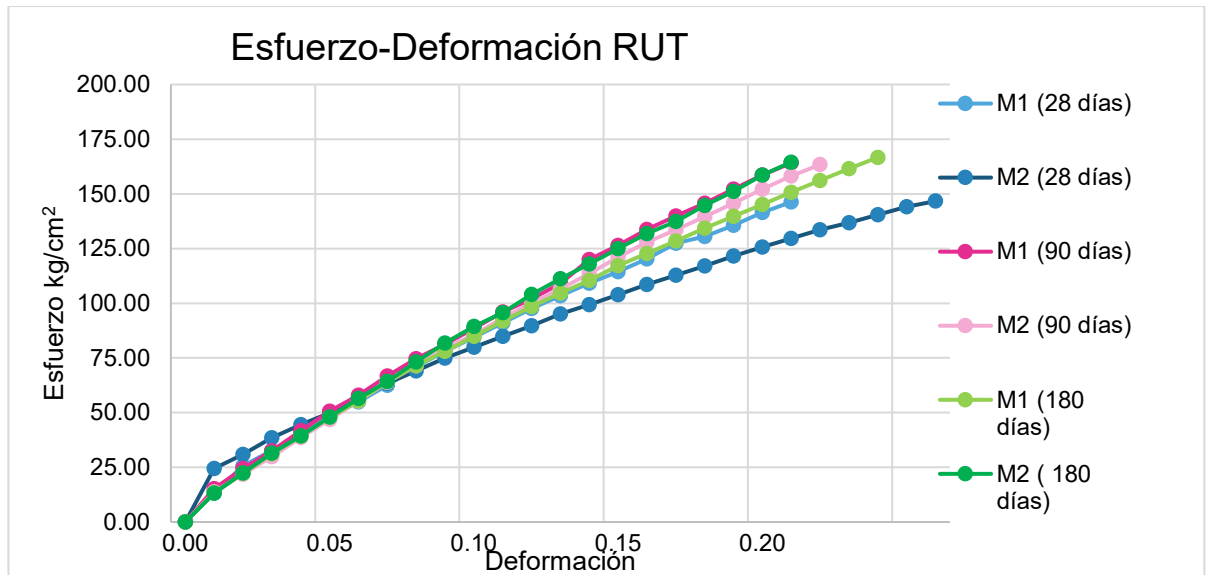


Figura 51 Gráfica esfuerzo- deformación de la mezcla RUT de la prueba módulo de elasticidad estático en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño.

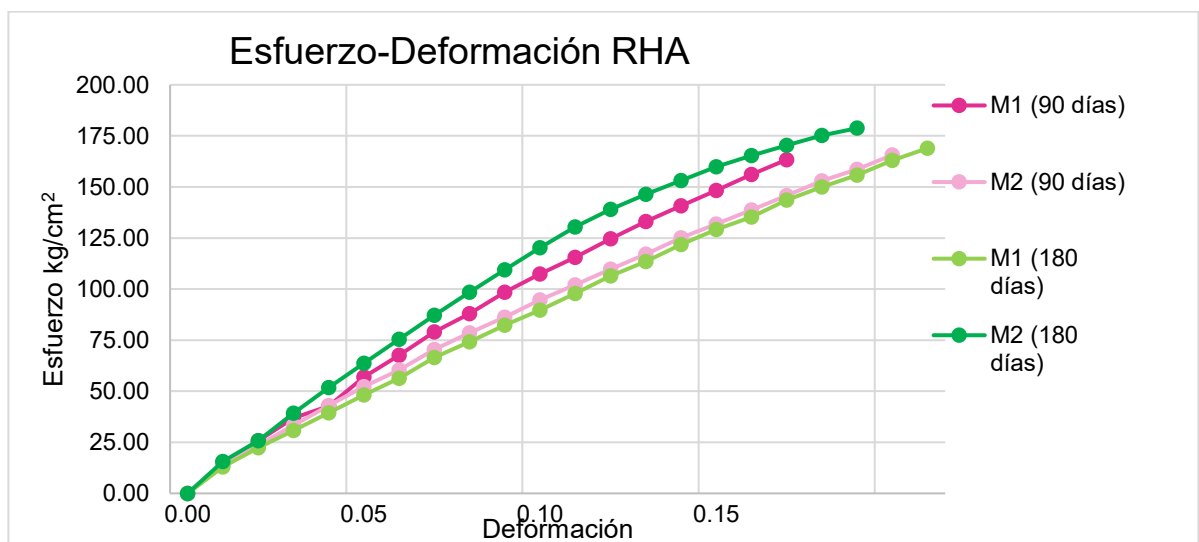


Figura 52 Gráfica esfuerzo- deformación de la mezcla RHA de la prueba módulo de elasticidad estático en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño.

En este caso no se realizó la prueba a los 28 días, ya que a 7 y 28 días los cilindros que se sometió a la prueba de resistencia a la compresión simple eran muy dispersos por lo que se optó no realizar la prueba, para no dañar el equipo.

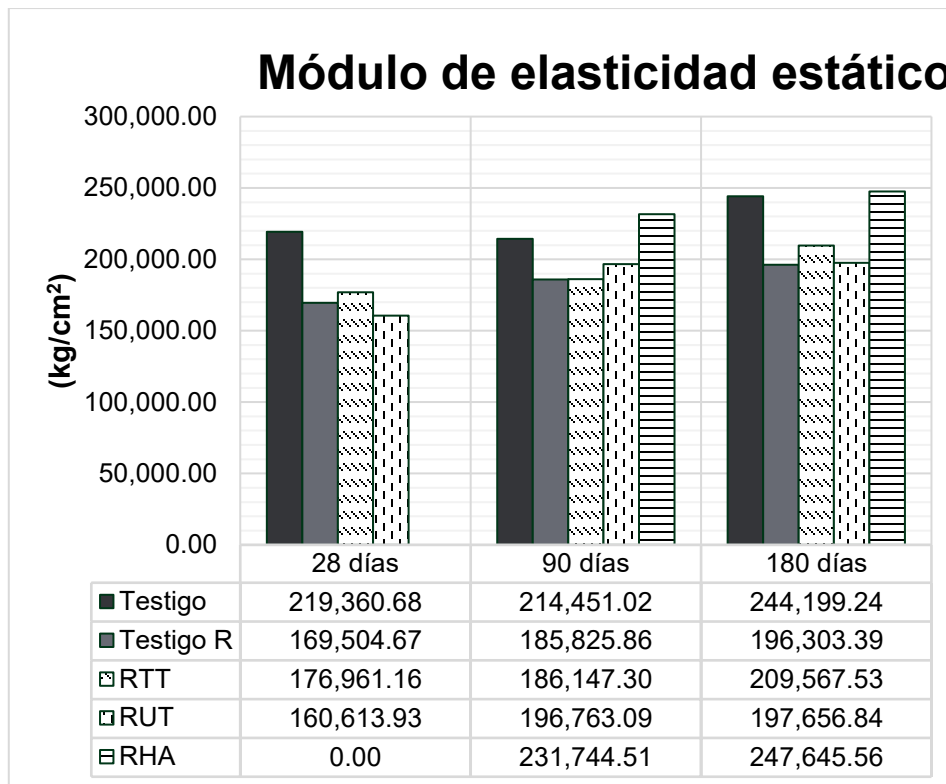


Figura 53 Resultados de la prueba de módulo de elasticidad estático en cilindros de 10 x 20 cm en la etapa de diseño.

Como se muestra en la **Figura 53**, a los 28 días la mezcla RHA, no se le realizó la prueba por los bajos resultados iniciales que se obtuvieron a la edad de 7 días en la prueba de resistencia a la compresión simple, pero ya en las edades de 90 y 180 días se realizó la prueba, teniendo el mejor comportamiento con un aumento de alrededor del 6.8%. A excepción de la mezcla Testigo que de 28 a 90 días disminuyó su módulo de elasticidad estático, pero ya a los 180 días volvió a aumentar, en las demás mezclas fue aumentando el módulo de elasticidad estático al pasar los días de curado del concreto. A los 90 y 180 días todas las mezclas adicionadas con fibras textiles tuvieron mejores resultados que la mezcla Testigo R, por lo que al adicionar fibras textiles estamos aumentando su resistencia en esta prueba. Además de que se deduce que el concreto adicionado con fibras textiles tiene curado interno como se muestra en la mezcla RUT, de estar por debajo en la edad de 28 días de la mezcla Testigo R, tuvo mejores resultados ya a las edades tardías de 90 y 180 días.

#### 6.2.2.2.4. Módulo de ruptura (MR).

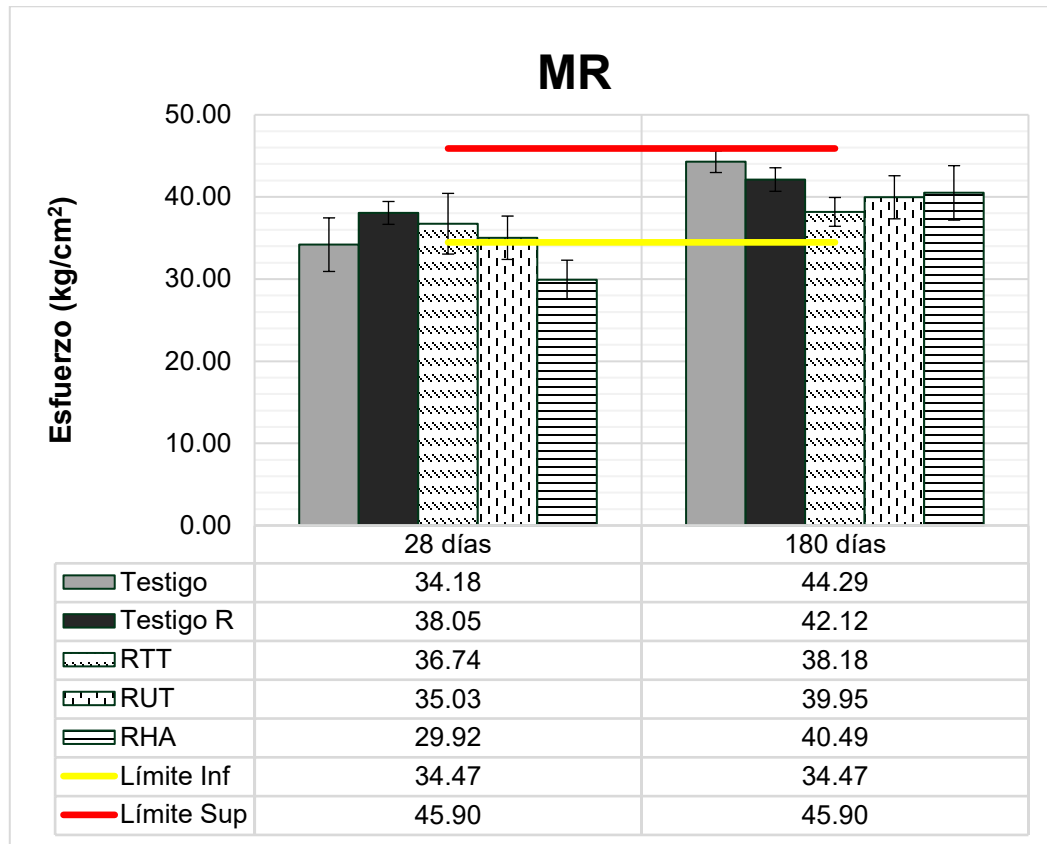


Figura 54 Resultados de la prueba de módulo de ruptura en vigas de 15 x 15 x 60 cm en la etapa de diseño.

En la prueba de módulo de ruptura como se muestra en la **Figura 54**, la mezcla Testigo R a los 28 días de prueba obtuvo los mejores resultados mientras que la mezcla RHA estuvo por debajo del límite inferior. Las mezclas RTT y RUT obtuvieron mejores resultados que la mezcla Testigo. Sin embargo, a los 180 días de ensayo las mezclas Testigo y Testigo R fueron las que mejor comportamiento tuvieron, alcanzando casi el límite superior del diseño. En las mezclas adicionadas con fibras textiles la mezcla, RHA obtuvo los mejores resultados a los 180 días incrementando 10.57 kgf/cm<sup>2</sup>, mientras que la mezcla RTT que a los 28 días obtuvo buenos resultados y a los 180 días solo incremento 1.44 kgf/cm<sup>2</sup>. La desviación estándar disminuyó considerablemente en las mezclas Testigo y RTT, en las mezclas Testigo R y RUT se mantuvo, mientras que en la mezcla RHA aumento, las mezclas adicionadas con fibras textiles tuvieron una falla dúctil (**ilustración 63**), ya que al momento de la falla del espécimen no colapsaba completamente, caso contrario que los especímenes de las mezclas Testigo y Testigo R se partía a la mitad (**ilustración**

**62).** Los parámetros salieron de la ecuación de Kosmatka et al., 2004, siendo el límite de 1.99 a 2.65 de la siguiente ecuación.

$$MR = 1.99 \text{ a } 2.65 \sqrt{f'c}$$



Ilustración 62 Falla de viga sometida a flexión sin adición de fibras textiles. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 63 Falla de viga sometida a flexión con adición de fibras textiles. Fuente: elaboración propia.

### 6.2.2.3. Pruebas de durabilidad.

#### 6.2.2.3.1. Fagerlund.

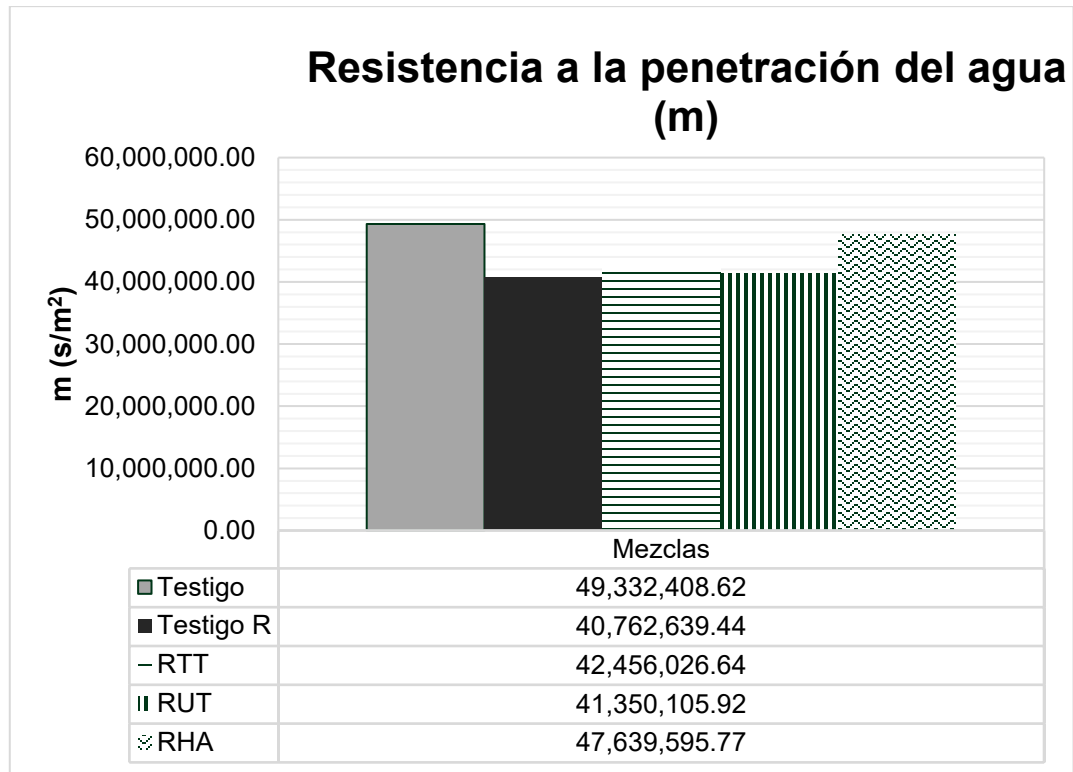


Figura 55 Resultados de muestras de 10 x 5 cm de concreto a la “resistencia a la penetración del agua” a 90 días de edad en la etapa de diseño.

Como se muestra en la **Figura 55**. La mezcla Testigo es la que mayor resistencia a la penetración del agua tiene con respecto a las mezclas que contienen RCD, debido a que la absorción de este material es mayor. Las mezclas con RCD adicionadas con fibras textiles incrementan dicha resistencia a la penetración del agua respecto a la muestra Testigo, lo que está ayudando a que su absorción capilar disminuya al adicionar fibras textiles a las mezclas de concreto.

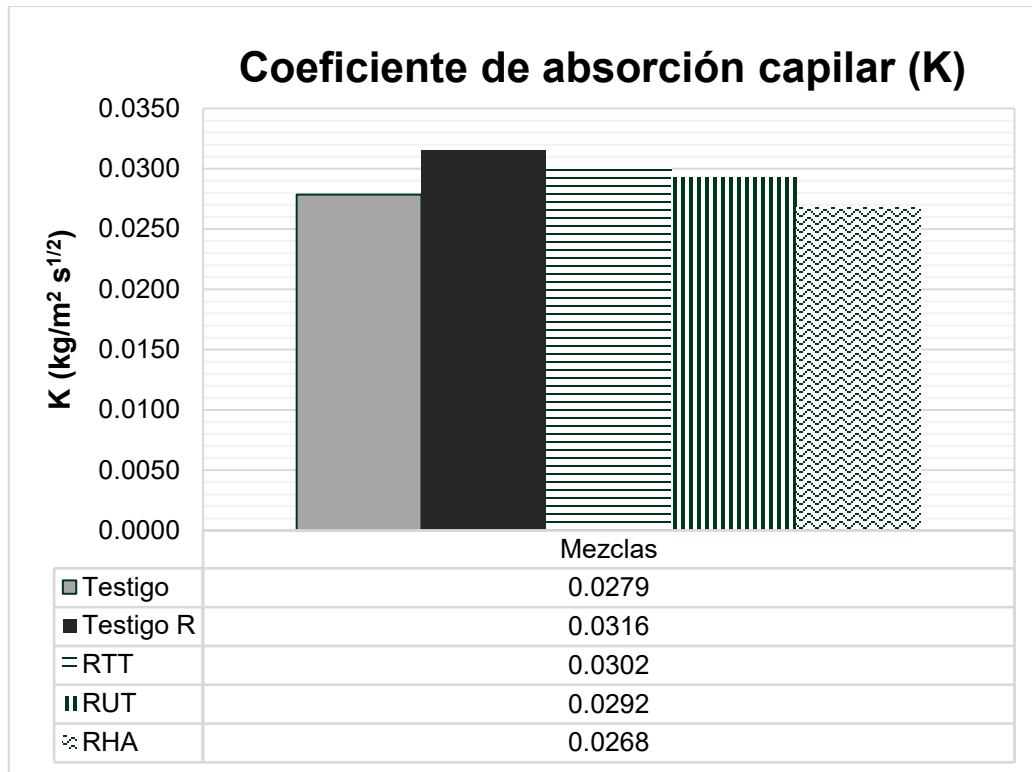


Figura 56 Resultados de muestras de 10 x 5 cm de concreto al “coeficiente de absorción capilar” a 90 días de edad en la etapa de diseño.

La mezcla Testigo R presenta un valor de K de 0.0316 kg/m<sup>2</sup>s<sup>1/2</sup> (**Figura 56**), siendo la de mayor absorción capilar. Mientras que, en las mezclas con adición de fibras textiles, el coeficiente de absorción capilar va disminuyendo, incluso la mezcla RHA presenta un valor de K menor que la mezcla testigo, el cual es de 0.0268 kg/m<sup>2</sup>s<sup>1/2</sup>, las fibras textiles ayudan a disminuirlo hasta un 15% de la mezcla Testigo R a la RHA, e incluso la mezcla RHA tiene menor absorción capilar que la mezcla Testigo. Por todo lo anterior se puede concluir que estas fibras textiles disminuyen tanto la absorción capilar como porosidad efectiva con respecto a las mezclas de concreto testigo y testigo R.

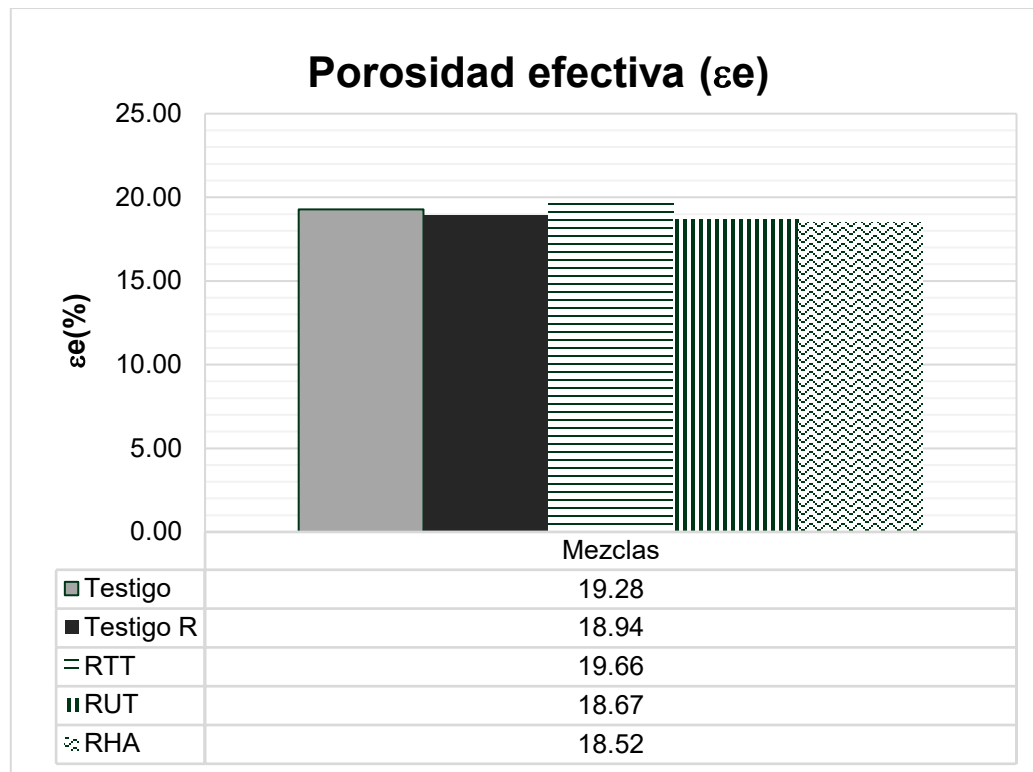


Figura 57 Resultados de muestras de 10 x 5 cm de concreto a la "porosidad efectiva" a 90 días de edad en la etapa de diseño.

Como se observa en la **Figura 57**, a mezcla RTT tiene la mayor porosidad efectiva, siendo del 19.66%, pero las demás mezclas adicionadas con fibras disminuyen su porosidad, incluso menor que la de los especímenes de Testigo (19.28%) y Testigo R (18.94%). Lo anterior puede deberse a que, dependiendo de su acomodo preferencial en el espécimen y tamaño de fibras, estos factores van a disminuir su porosidad efectiva actuando en ocasiones como poros que absorben agua y en ocasiones al estar saturadas impiden el paso del agua por el espécimen. Mientras que la mezcla RHA presenta una diferencia de 1.14%. Por lo que se deduce que las fibras y los agregados pudieran actuar como poros dependiendo de su acomodo preferencial aumentando o disminuyendo la porosidad efectiva.

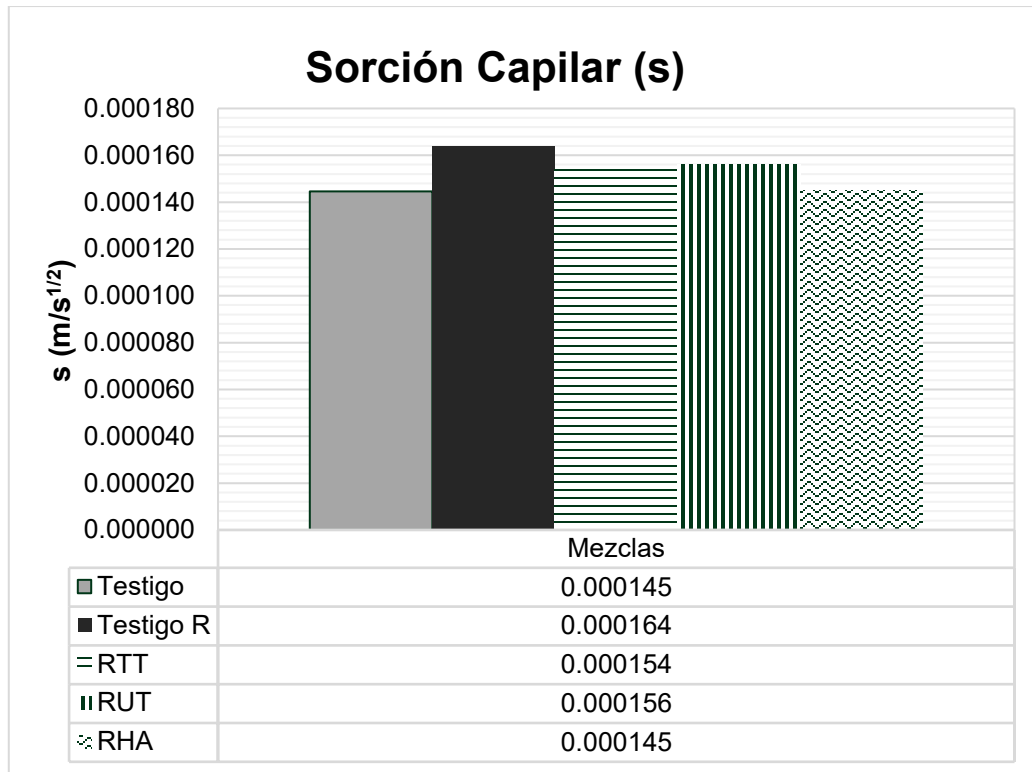


Figura 58 Resultados de muestras de 10 x 5 cm de concreto a la “sorción capilar” a 90 días de edad en la etapa de diseño.

La mezcla Testigo y RHA (**Figura 58**) son las mezclas que menor sorción capilar presentan ( $0.000145 \text{ m/s}^{1/2}$ ), mientras que la testigo R ( $0.000164 \text{ m/s}^{1/2}$ ) es la que mayor valor presenta, esto tiene sentido ya que al calcularse mediante 1 entre la raíz de la resistencia a la penetración del agua, los resultados de las mezclas de concreto son inversos, debido al que el factor “m” pasa como divisor, por lo tanto, mientras más elevado sea este valor la sorción capilar disminuirá. Cabe destacar que la mezcla RUT fue mayor que la mezcla RTT. Por lo que se estima que, dependiendo del acomodo preferencial que tienen las fibras dentro del espécimen y su morfología, afectarán estos parámetros.

#### 6.2.2.3.2. Ataque por sulfatos.

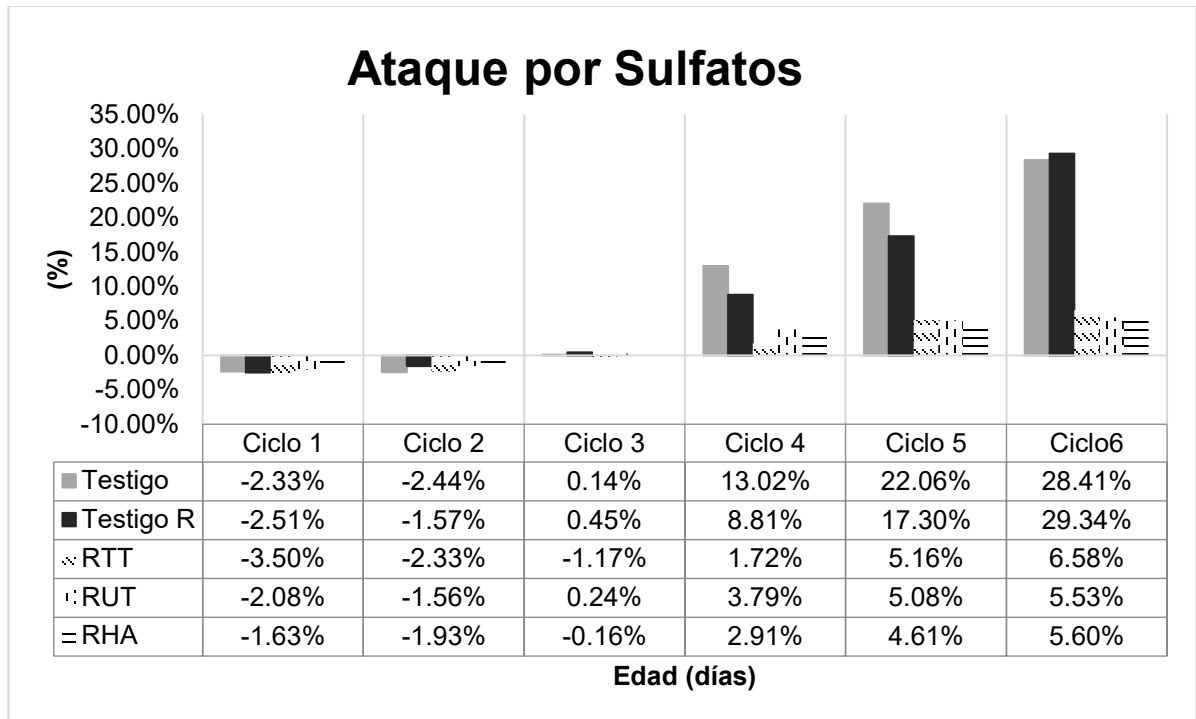


Figura 59 Resultados de la pérdida de masa en la prueba de ataque por sulfatos en muestras de concreto de 10 x 5 cm, a 90 días de edad en la etapa de diseño.

Como se observa en la Figura 59, en los primeros 2 ciclos no hubo pérdida de masa, al contrario aumento de masa. Ya el ciclo 3, las mezclas que aun tenían más masa que la masa inicial fueron: RTT y RHA. A partir del ciclo 4 las mezclas Testigo y Testigo R fueron los que mayor pérdida de masa tuvieron, mientras que las mezclas adicionadas con fibras textiles tuvieron poca pérdida de masa. En el ciclo 5, las mezclas Testigo y Testigo R tuvieron una pérdida de masa con respecto al porcentaje del ciclo anterior del 69.4% y 96.4%, además de ya no cumplir con la pérdida de masa del 5 %, mientras que las mezclas RTT y RUT apenas superaron la pérdida de masa del 5%, pero la mezcla RHA aún estaba por debajo de dicho parámetro. Ya en el ciclo 6, y último, las mezclas Testigo y Testigo R tuvieron una pérdida de masa del casi el 30%, mientras que, en las mezclas adicionadas con fibras textiles, como en las como las mezclas RUT y RHA, apenas tuvieron la pérdida de masa del 5% que recomienda la norma, **como se muestra en la ilustración 64.**



Ilustración 64 rodajas de cilindros de 10 cm de diámetro x 5 cm de altura en el último ciclo de ataque por sulfatos. Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.2.3.3. Cántabro.

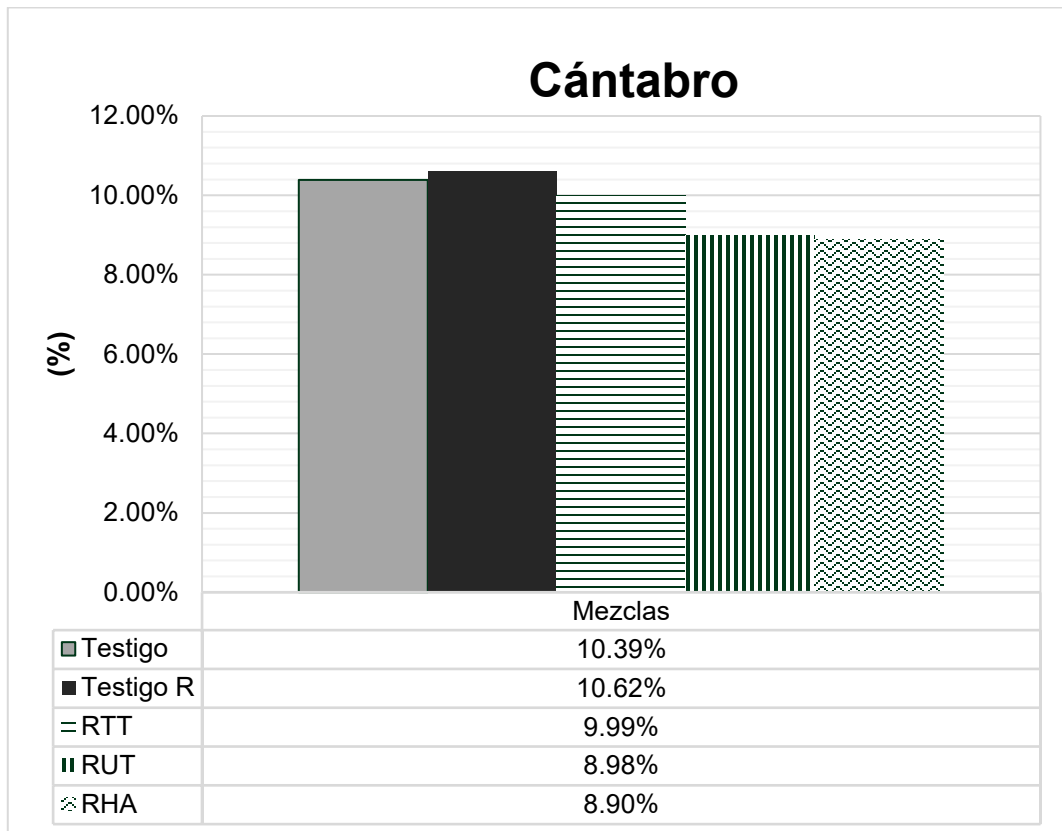


Figura 60 Resultados de la pérdida de masa en la prueba de cántabro en muestras de concreto de 10 x 5 cm, a 90 días de edad en la etapa de diseño.

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

Las mezclas adicionadas con fibras textiles tuvieron menos desgaste a esta prueba que las mezclas Testigo y Testigo R, ya que las mezclas estuvieron por arriba de 10% de la pérdida de masa, mientras que las mezclas RUT y RHA estuvieron por debajo del 9% de pérdida de masa. Las fibras textiles ayudan hasta casi el 1.5% de la pérdida de masa como se aprecia en la diferencia de resultados entre la mezcla Testigo y la RHA como se muestra en la **ilustración 65 y 66**.



Ilustración 65 Mezcla Testigo sometida a la prueba de cántabro. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 66 Mezcla RHA sometida a la prueba de cántabro. Fuente: Elaboración propia

#### 6.2.2.3.4. Permeabilidad de cloruros.

En esta prueba los resultados fueron a 30 voltios, aunque se recomienda a 60 voltios, aun así, tomando los valores de **la tabla 53**, los valores en esta prueba de color amarillo se descartan, ya que son valores poco coherentes a los demás resultados, los resultados en rojo, se toman en consideración ya que son valores más reales. Mientras que los demás resultados el flujo de electricidad si fue constante. Siendo la mezcla RUT la que obtuvo los resultados más coherentes como se muestra su promedio en la **Figura 61**.

Tabla 53 Resultados de la prueba de permeabilidad rápida de cloruros de las mezclas en cada uno de las muestras de concreto de 10 x 5 cm en la etapa de diseño.

Numero de Muestra	Mezcla	Coulombs	Promedio
1	Testigo	2164.00	1776.33
2	Testigo	120.00	
3	Testigo	3045.00	
1	Testigo R	365.00	1048.67
2	Testigo R	1475.00	
3	Testigo R	1306.00	
1	RTT	2477.00	2262.00
2	RTT	3046.00	
3	RTT	1263.00	
1	RUT	3047.00	2886.67
2	RUT	3713.00	
3	RUT	1900.00	
1	RHA	18.00	1002.67
2	RHA	2930.00	
3	RHA	60.00	

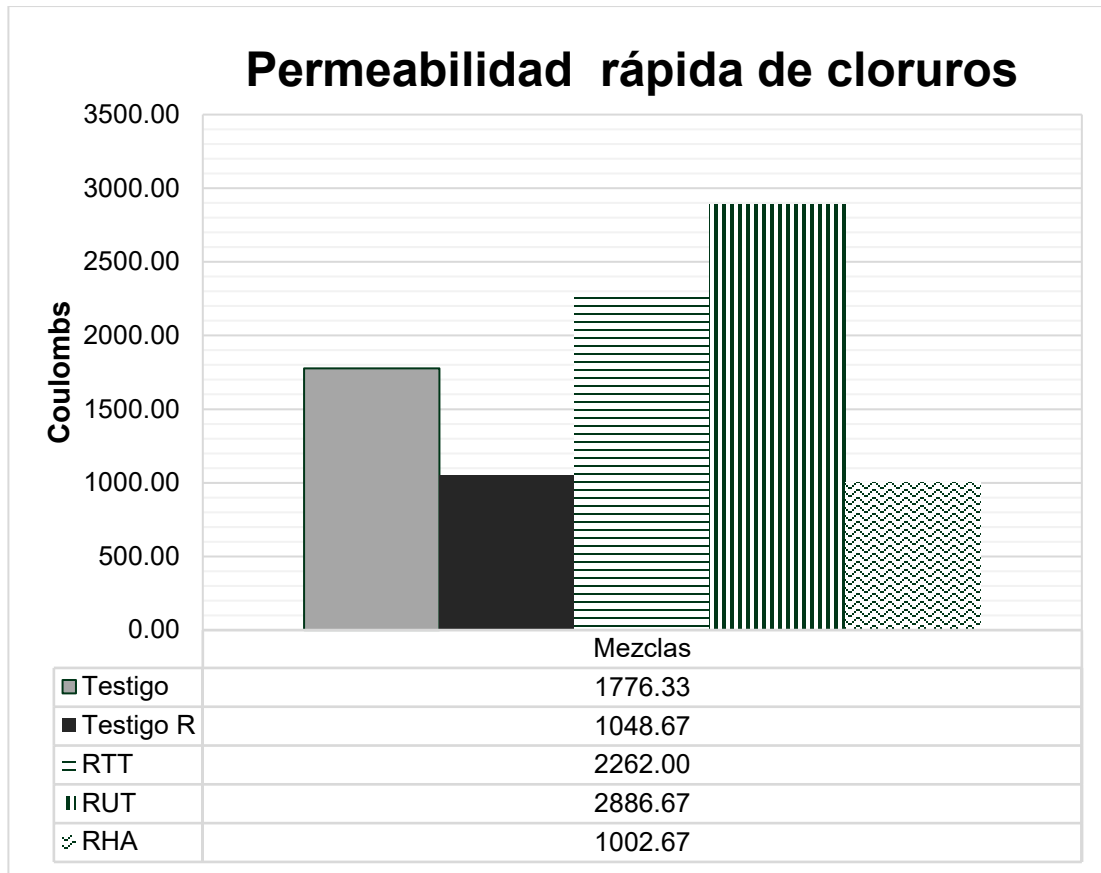


Figura 61 Promedio de las mezclas de concreto de muestras de 10 x 5 cm de la prueba de permeabilidad rápida de cloruros en la etapa de diseño.

Las celdas cuando había fluyendo la energía eléctrica su carga en coulombs era constante, pero cuando las celdas no agarraban la carga, daba resistencias muy bajas. Por lo que no había flujo de corriente en el espécimen, por lo que la prueba era obsoleta.

#### 6.2.2.4. Correlaciones.

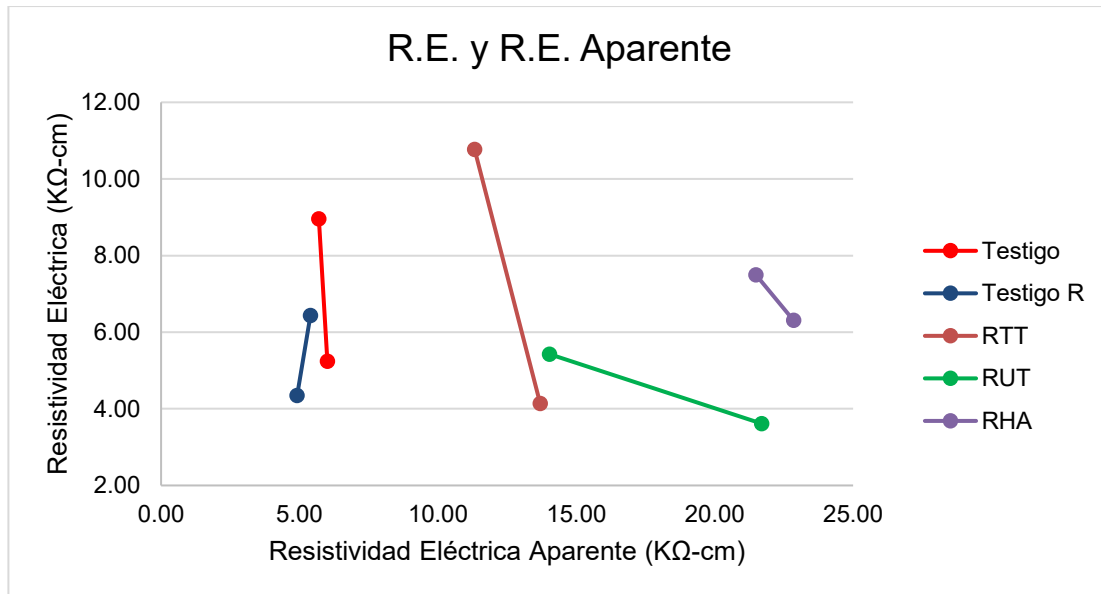


Figura 62 Relación en la resistividad eléctrica directa y resistividad eléctrica aparente en cilindros de 10 x 20 cm a las edades de 28 y 90 días en la etapa de diseño.

Para sacar los resultados de resistividad eléctrica aparente y relacionarlos con la resistividad eléctrica directa, de los 4 lados medidos en el espécimen se sacó el promedio. Por lo que en las mezclas adicionadas fibras textiles los resultados de resistividad eléctrica son mayores que las mezclas Testigo y Testigo R. Pero en resistividad eléctrica directa la mezcla RTT tuvo el mejor comportamiento a los 90 días, seguido de la mezcla Testigo. A excepción de la mezcla Testigo R, las demás mezclas en resistividad eléctrica aparente de 28 a 90 días disminuyeron, aunque en la mezcla Testigo disminuyó ligeramente, por lo que en dicha prueba no hay grandes cambios, como en las mezclas adicionadas con fibras textiles se deduce que los cilindros ensayados a los 90 días tenían menos acomodamiento preferencial que los cilindros de 28 días.

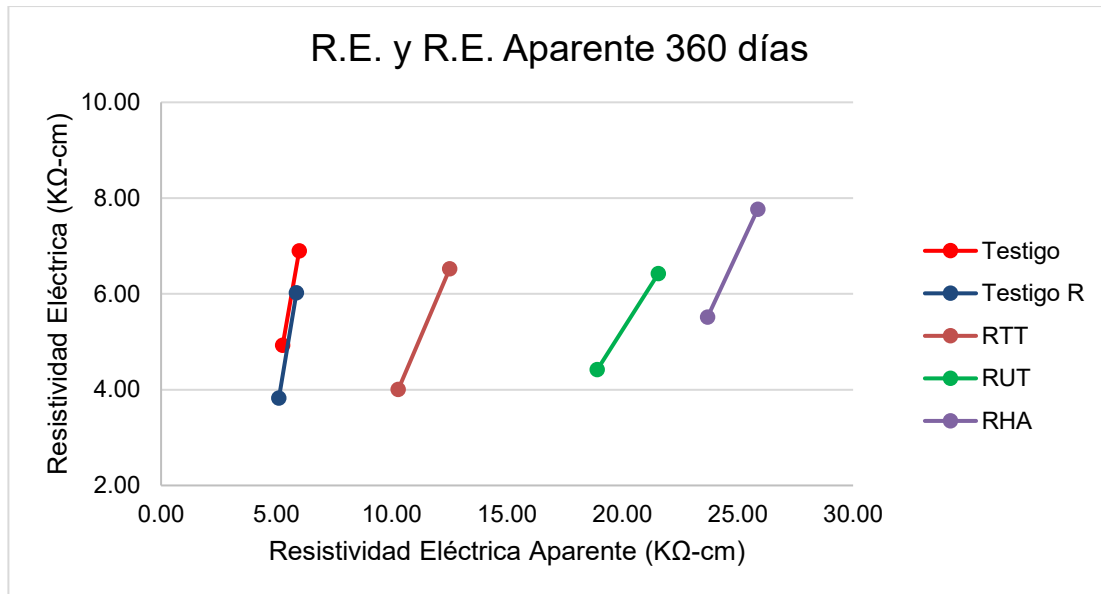
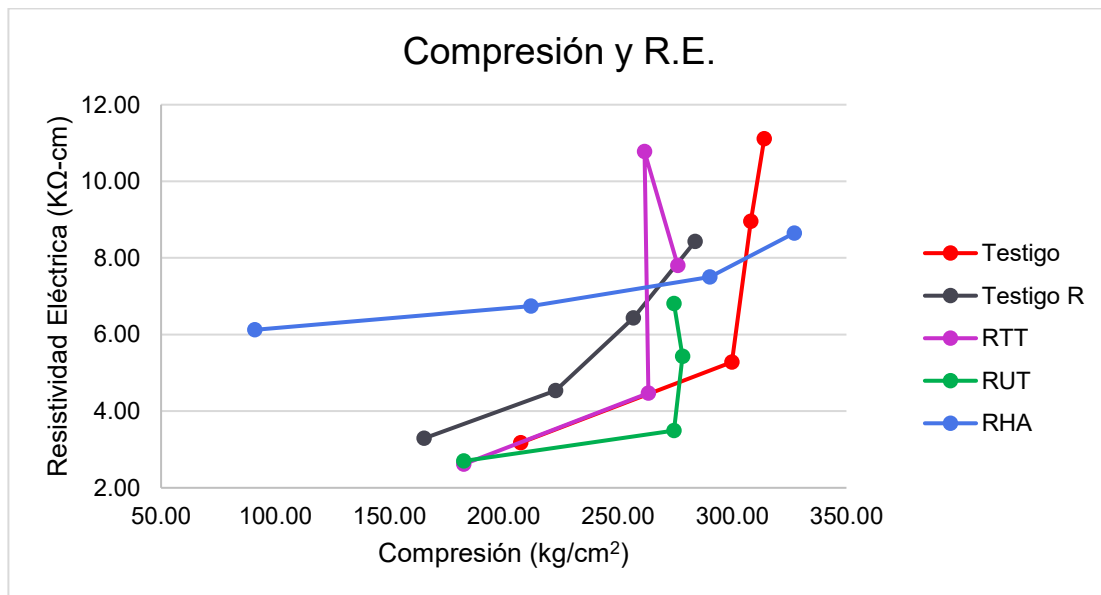


Figura 63 Relación en la resistividad eléctrica directa y resistividad eléctrica aparente en cilindros de 10 x 20 cm a las edades de 28 y 90 días, que se prouan a compresión a 360 días en la etapa de diseño.

Al ser los mismos especímenes a los que se les hizo la prueba, en todas las mezclas se observa que al pasar el tiempo tiende a incrementar en ambas pruebas, las mezclas adicionadas con fibras textiles son mayores en resistividad eléctrica aparente que las mezclas Testigo y Testigo R. Aunque su resistividad eléctrica directa sigue aumentando aun no alcanza los 10 KΩ-cm, por lo que se estima que su velocidad de corrosión es muy alta.



## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

Figura 64 Relación en la prueba de resistencia a la compresión simple y resistividad eléctrica directa en cilindros de 10 x 20 cm a las edades de 7,28, 90 y 180 días en la etapa de diseño.

Como se muestra en la **Figura 64**, a excepción de las mezclas RTT que su resistividad eléctrica disminuyó de los 90 a 180 días y la RUT que, en los mismos días, disminuyó su resistencia a la compresión simple. En las demás mezclas al pasar los días su tendencia fue incrementar en ambas pruebas. En la muestra Testigo al aumentar la resistividad eléctrica aumenta su resistencia a la compresión, en las mezclas adicionadas con fibras textiles estas actúan como poros que afecta a la prueba de resistividad eléctrica y el punto de falla en la prueba de resistencia a la compresión. Aunque en el caso de RHA se logra una mayor resistencia mecánica que el testigo a la edad de 180 días.

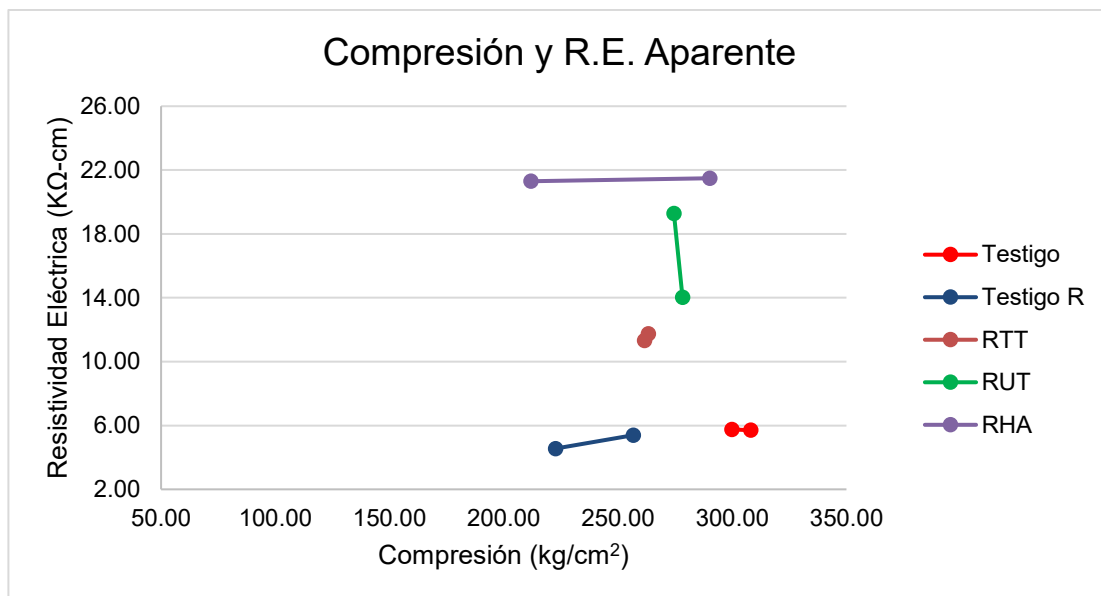


Figura 65 Relación en la prueba de resistencia a la compresión simple y resistividad eléctrica aparente en cilindros de 10 x 20 cm a las edades de 28 y 90 días en la etapa de diseño.

La intensidad o persistencia del acomodo preferencial de las fibras textiles impactará en que tanto aumenta la resistividad eléctrica aparente. Por lo que dependiendo de su acomodo adentro del espécimen aumentará o disminuirá su resistencia a la compresión. Ya que en la mezcla RHA a los 28 días fue mayor en la resistividad eléctrica aparente pero menor en resistencia a la compresión simple, mientras que a los 90 días estuvo solo por debajo de la mezcla Testigo. En la mezcla RTT no hubo gran aumento en ambas pruebas.

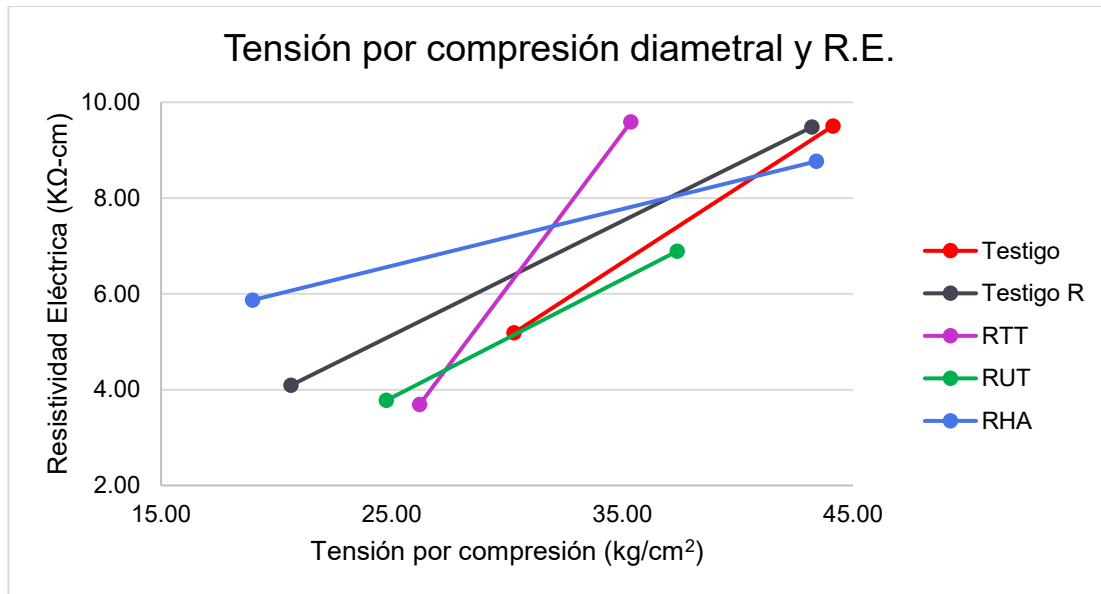


Figura 66 Relación en la prueba de tensión por compresión diametral y resistividad eléctrica directa en cilindros de 10 x 20 cm a las edades de 28 y 180 días en la etapa de diseño.

Como se muestra en la **Figura 66**, en todas las mezclas y en ambas pruebas aumentaron su desempeño. En la mezcla RTT a los 28 días en comparación con la mezcla RHA su resistividad eléctrica fue la mayor, pero su tensión por compresión diametral estuvo por debajo de las demás mezclas. Caso contrario que en la mezcla RTT en la prueba de tensión por compresión diametral solo estuvo por debajo de la mezcla Testigo, pero en resistividad eléctrica estuvo por debajo de todas las mezclas. A los 180 días la mezcla Testigo, Testigo R y RHA sus valores en ambas pruebas sus resultados están muy cercanos, aunque la mezcla Testigo es ligeramente mayor que las mezclas Testigo R y RHA a los 180 días, la mezcla Testigo R es mayor en resistividad eléctrica a la mezcla R. En la prueba de tensión por compresión diametral es al revés, a los 28 días la mezcla RHA su resistividad eléctrica fue la mayor, pero su tensión por compresión diametral estuvo por debajo de las demás mezclas. Por lo que las mezclas adicionadas con fibras textiles dependiendo de su acomodo preferencial en los especímenes aumentará o disminuirá sus resultados.

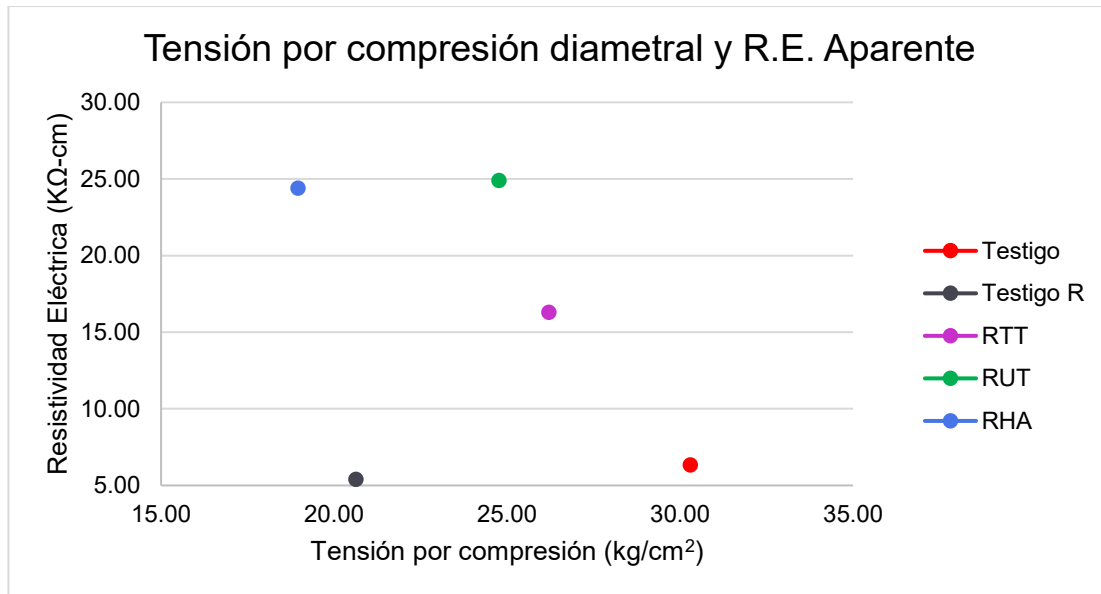


Figura 67 Relación en la prueba de tensión por compresión diametral y resistividad eléctrica aparente en cilindros de 10 x 20 cm a la edad de 28 días en la etapa de diseño.

Las mezclas adicionadas con fibras textiles es elevada a comparación de las mezclas testigo y Testigo R en la prueba de resistividad electrica aparente (**Figura 67**). Aunque como se ha mencionado anteriormente en esta prueba es mas para la detección del acomodo preferencial de las fibras textiles. Ya que la mezcla Tesigo, aun que su resitividad era baja, su resistencia a la compresión diametral fue alta. Las mezclas adicionadas con fibras textiles dependiendo del acomodo prefrencial del cilindro al momento de fallar los cilindros se mantenian o ligeramente o muy unido por las fibras, pero no se desprendía material al igual que los cilindros sin fibras, ya que si había desprendimiento o se partía por la mitad.

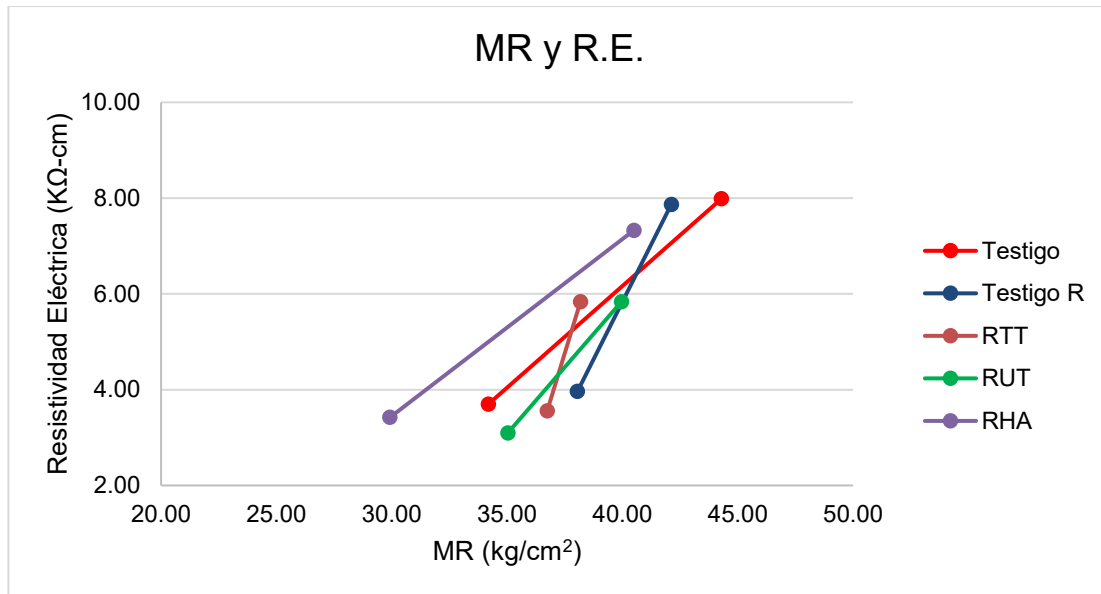


Figura 68 Relación en la prueba de módulo de ruptura y resistividad eléctrica directa en vigas de 15 x 15 x 60 cm a las edades de 28 y 180 días en la etapa de diseño.

Como se muestra en la **Figura 68**, en ambas pruebas aumento de la edad de 28 a 180 días. Por lo que al pasar los días en la pila de curado están aumentado tanto en la prueba de módulo de ruptura, como en la prueba de resistividad eléctrica. La mezcla Testigo R fue la que mejores resultados tuvo en ambas pruebas a la edad de 28 días, pero a los 180 días fue superada en ambas pruebas por la mezcla Testigo, pero superando en ambas pruebas a la mezcla RHA. Mientras que en la mezcla RTT y RUT sus resultados en resistividad eléctrica no hay diferencia considerable a la edad de 180 días, en módulo de ruptura la mezcla RUT es mayor que la mezcla RTT a la en la edad antes mencionada.

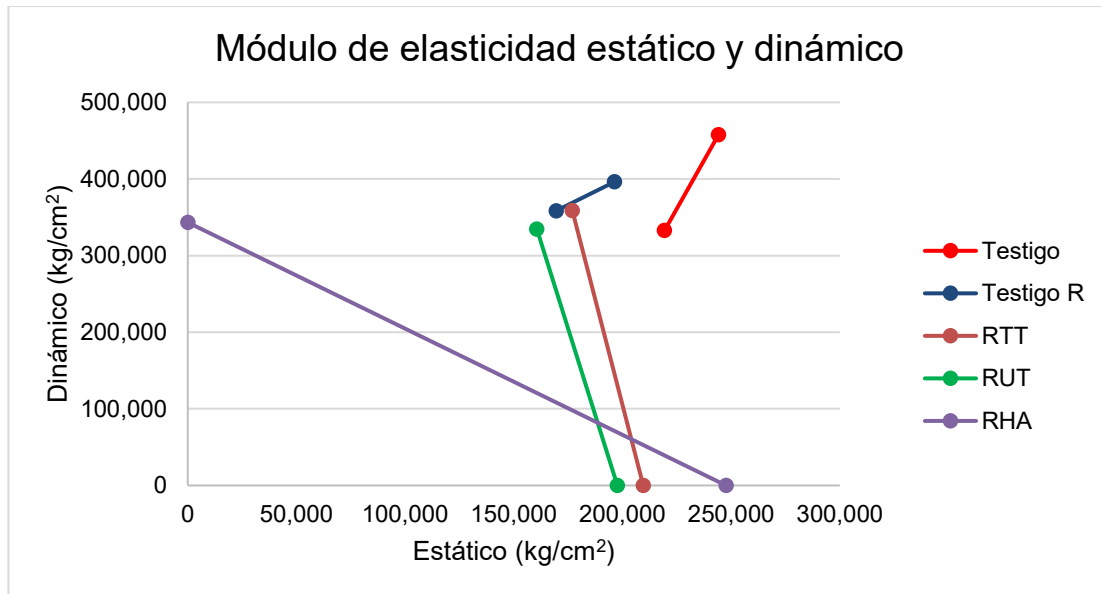


Figura 69 Relación de módulo de elasticidad estáticos y módulo de elasticidad dinámico, en cilindros de 10 x 20 cm y en vigas de 15 x 15 x 60 cm a las edades de 28 y 180 días en la etapa de diseño

puede observar en la **Figura 69** que el módulo de elasticidad dinámico, es mayor que el estático, es importante mencionar que en donde el resultado es 0 no se pudo realizar la prueba. Pero en las mezclas Testigo y Testigo R que se pudo realizar ambas pruebas en las edades de 28 y 90 días fue aumentando, se deduce que en las demás mezclas su módulo de elasticidad dinámico hubiera aumentado.

## 7. CONCLUSIONES

Tanto en la etapa de prediseño como en la de diseño la prueba de resistividad eléctrica ayudó a identificar el acomodo preferencial de las fibras textiles dentro del espécimen, aunque había más cantidad de fibras textiles en la etapa de prediseño ya que al revolver la mezcla fue manualmente y en la etapa de diseño fue mediante revoladora y se quedaron cierta cantidad de fibras textiles enredadas en las aspas. Por lo que al tomar lectura con el equipo fue mayor en la etapa de prediseño ya que los especímenes contaban con más fibras textiles.

En la prueba de VPU la mezcla RTT no alcanzó el límite más bajo, se deduce que puede ser por el tamaño de la fibra, ya que el equipo detecta un material menos rígido por el mayor espesor de fibra. Mientras que las demás mezclas superan el límite medio, pero no alcanzan al límite alto.

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

En los especímenes se puede observar el aumento de resistividad eléctrica excepto en la mezcla RTT ya que de 90 a 180 días disminuyó 20.4%, se intuye que puede ser por el acomodo preferencial de fibras textiles en los cilindros, ya que en las demás mezclas de concreto se siguen hidratando y esto hace que los poros interconectados de los ejemplares estén disminuyendo. En las mezclas de RTT a 90 días y la mezcla testigo a 180 días superaron los 10 K $\Omega$ -cm.

En resistividad eléctrica aparente, se observó que los saltos en las lecturas que marca el equipo en las caras dentro del cilindro, pueden tener un acomodo preferencial de fibras, lo que pueden ser puntos de falla en las mezclas adicionadas con fibras textiles.

Las mezclas adicionadas con fibras textiles tienen mayor desviación estándar en compresión que las mezclas testigos, se deduce que puede ser por el acomodo preferencial que tienen las fibras en el espécimen.

En la prueba de Módulo de ruptura se observó que las vigas con fibras textiles tuvieron una falla dúctil. Mientras que las vigas sin fibras textiles presentaron una falla frágil.

Las mezclas RTT y RUT tuvieron mejor comportamiento que las vigas testigo, pero en este caso la mezcla testigo R se comportó mejor a flexión que a compresión a los 28 días. A los 180 días la mezclas testigo, testigo R y RHA tuvieron mayor resistencia a la flexión.

Hay una ligera relación entre la resistencia a la compresión simple, con la resistencia a la penetración del agua y subsecuentemente con la sorción capilar. Ya que en algunos casos como en la mezcla Testigo, RHA y Testigo R, a mayor resistencia a la penetración del agua y menor sorción capilar, y se incrementa la resistencia a la compresión simple.

En caso de corrección por humedad de las fibras textiles se optó de corregir por humedad al añadir el agua en la mezcla, ya que al intentar saturarlas y después adicionarlas a las mezclas de concreto tienden a aglomerarse, por lo que al momento de hacer cilindros la mezclas son heterogéneas y hace que las fibras tengan un acomodo preferencial en ciertas partes del espécimen. Al no tener un tamaño y grosor nominal en las mezclas adicionadas con fibras textiles, tienden también a tener acomodo preferencial en los cilindros. En esta investigación, respecto a las fibras

textiles, se decidió utilizarlas tal cual fueron recolectadas para ver su comportamiento, pero, para próximas investigaciones y para contrastar resultados, se recomienda hacer otro proceso en el cual se puedan tener en un tamaño nominal y disminuyendo su tamaño para así disminuir el acomodo preferencial en las mezclas. Además de que al introducir las a la revolvedora algunas fibras se quedaron enredadas en las espas. Se pretende seguir estudiando las fibras textiles, para expandir la literatura de las pruebas y lograr encontrar la mejor forma de incorporación en las mezclas de concreto.

En las pruebas de cántabro y ataque por sulfatos, la menor pérdida de masa fueron los especímenes adicionados con fibras textiles.

Con todo lo anterior se puede concluir que las fibras textiles están ayudando mecánicamente a las mezclas de concreto, ya que en pruebas como compresión tienen mejor comportamiento en ciertas edades que la mezcla Testigo R, mientras que, en pruebas como compresión por tensión diametral, módulo de ruptura, ataque por sulfatos y cántabro, las fibras textiles están ayudando a que su falla sea dúctil y que su pérdida de masa sea menor. Por tanto, la incorporación de fibras textiles residuales en las mezclas de concreto, que incorpora RCD como sustituto de agregados pétreos, permite resarcir las deficiencias físico-mecánicas ocasionadas por la presencia de RCD. Logrando que las mezclas comporten de forma muy similar a un concreto convencional e incluso mejorando su forma de falla y su resistencia al desgaste físico y químico. El hecho de que las fibras RHA son las que presentaron el mejor comportamiento general nos indica que para una implementación plena de estas fibras residuales como aditivos en concretos se requiere un proceso de hilado, para con ello lograr los resultados mostrados en esta investigación.

## 8. REFERENCIAS.

Abera, Y. (Shanko) A. (2022). Performance of concrete materials containing recycled aggregate from construction and demolition waste. *Results in Materials*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.rinma.2022.100278>

Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

Acosta, S. (2021, February 21). ¿Usar y tirar? La moda busca reciclar 92 millones de toneladas de residuos textiles. *EIEconomista*.

Aghaee, K., & Foroughi, M. (2013). Mechanical properties of lightweight concrete partition with a core of textile waste. *Advances in Civil Engineering*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/482310>

AMCI. (2021). Estiman concreteros recuperación del 10% en 2021. *Asociación Mexicana de Concreteros Independientes*.

Antillón, J. (2016). Uso de fibras en el concreto. *Voz Del Experto*.

ASTM-C-150. (2016). *Standard Specification for Portland Cement*.

ASTM-C-266. (2015). *Standard Test Method For Time of Setting of Hydraulic-Cement Paste by Gillmore Needles*.

ASTM-C-1202. (2012). *Método de prueba estándar para indicación eléctrica de la capacidad del hormigón para resistir la penetración de iones de cloruro*.

Bergonzoni, M., Melloni, R., & Botti, L. (2022). Analysis of sustainable concrete obtained from the by-products of an industrial process and recycled aggregates from construction and demolition waste. *Procedia Computer Science*, 217, 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.200>

Briga-Sá, A., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., & Paiva, A. (2013). Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. *Construction and Building Materials*, 38, 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.037>

CCA. (2017). Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte, informe sintético. *Comisión Para La Cooperación Ambiental*.

Contamine, R., & Si Larbi, A. (2016). Development of a textile reinforced concrete (TRC) to retrofit reinforced concrete structures. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 20(6), 626–642. <https://doi.org/10.1080/19648189.2015.1030089>

- Contamine, R., Si Larbi, A., & Hamelin, P. (2013). Identifying the contributing mechanisms of textile reinforced concrete (TRC) in the case of shear repairing damaged and reinforced concrete beams. *Engineering Structures*, 46, 447–458. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.07.024>
- Garzón, E., Martínez-Martínez, S., Pérez-Villarreal, L., & Sánchez-Soto, P. J. (2022). Assessment of construction and demolition wastes (CDWs) as raw materials for the manufacture of low-strength concrete and bases and sub-bases of roads. *Materials Letters*, 320. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.132343>
- González Luna, E. (2020). ¿Conoces en qué porcentajes se subdivide la basura en Moelia? *Mi Morelia*.
- Hernández-Berriel, M. del C., Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P., Lima-Morra, R., Eljaiek-Urzola, M., Márquez-Benavides, L., & Buenrostro-Delgado, O. (2016). Generación y composición de los residuos sólidos urbanos en América latina y el caribe. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(1), 11–22. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.02>
- Holcim. (2024). *Agregados: Definición, Características y Tipos*. <https://www.holcim.com.mx/agregados>.
- IMCYC. (2007). Concreto reforzado con fibras. *El Concreto En La Obra Problemas, Causas y Soluciones*.
- Kosmatka, S. H. , Kerkhoff, Beatrix., Panarese, W. C. , & Tanesi, Jussara. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Portland Cement Association.
- Kul, A., Ozel, B. F., Ozcelikci, E., Gunal, M. F., Ulugol, H., Yildirim, G., & Sahmaran, M. (2023). Characterization and life cycle assessment of geopolymer mortars with masonry units and recycled concrete aggregates assorted from construction and demolition waste. *Journal of Building Engineering*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107546>
- Lee, M., Mata-Falcón, J., & Kaufmann, W. (2022). Shear strength of concrete beams using stay-in-place flexible formworks with integrated transverse textile reinforcement. *Engineering Structures*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114970>

Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

Liu, D., Huang, H., Yue, Q., Xue, Y., & Wang, M. (2016). Behaviour of tunnel lining strengthened by textile-reinforced concrete. *Structure and Infrastructure Engineering*, 12(8), 964–976. <https://doi.org/10.1080/15732479.2015.1076009>

Martínez-Molina, W., Torres-Acosta, A. A., Alonso-Guzmán, E. M., Chávez-García, H. L., Hernández-Barrios, H., Lara-Gómez, C., Martínez-Alonso, W., Pérez-Quiroz, J. T., Bedolla-Arroyo, J. A., & González-Valdéz, F. M. (2015). Concreto reciclado: una revisión. In *Revista ALCONPAT* (Vol. 5). <https://www.veoverde.com/2014/01/llegaron-las-viviendas-sustentables-a-mexico/>

Mehta, K., & Monteiro, P. (2013). *Concreto. Estructura, propiedades y materiales*.

MEPDS. (2009). Iniciativa por la sostenibilidad del cemento. *Mundial Empresarial Para Desarrollo Sostenible*.

Meza de Luna, A., Gurbir, K., Preciado Martínez, J. H., & Gutiérrez López, A. I. (2021). Desempeño a Flexión del Concreto Reforzado con Fibras Plásticas Recicladas. *Conciencia Tecnológica*, 61. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?>

Monachon, D. (2021). Dar segunda oportunidad a la ropa reduce la contaminación. *Boletín UNAM-DGCS*.

Neville, A. M. (2013). *Tecnología del concreto*.

Neville, Adam. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete technology* (Pearson education limi, Ed.; Second). Pearson.

NLT-352. (2000). *Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste*.

NMX-C-057-ONNCCE. (2015). *Industria de la Construcción-Cementantes Hidáulcos-Determinación de la Consistencia Normal*.

NMX-C-073-ONNCCE. (2004). *Industria de la Construcción-Agregados-Masa Volumétrica-Método de Prueba*.

Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

NMX-C-075-ONNCCE. (2018). *Industria de la Construcción – Agregados – Determinación de la Sanidad por Medio de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio – Método de Ensayo.*

NMX-C-077-ONNCCE. (2019). *Industria de la Construcción- Agregados para Concreto-Análisis Granulométrico- Método de Ensayo.*

NMX-C-083-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes-Método de Ensayo.*

NMX-C-089-ONNCCE. (2019). *Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de las frecuencias fundamentales, transversal, longitudinal y torsional de especímenes de concreto-Método de ensayo.*

NMX-C-109-ONNCCE. (2013). *Industria de la Construcción-Concreto Hidráulico- Cabeceo de Especímenes.*

NMX-C-111-ONNCCE. (2018). *Industria de la Construcción - Agregados para Concreto Hidráulico - Especificaciones y Métodos de Ensayo.*

NMX-C-128-ONNCCE. (2020). *Industria de la Construcción – Concreto Sometido a Compresión – Determinación del Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson – Método de Ensayo.*

NMX-C-148-ONNCCE. (2010). *Industria de la Construcción - Cementos y Concretos Hidráulicos - Gabinetes, Cuartos Húmedos y Tanques de Almacenamiento - Condiciones de Diseño y Operación.*

NMX-C-152-ONNCCE. (2015). *Industria de la Construcción - Cemento Hidráulico - Determinación de la Densidad.*

NMX-C-156-ONNCCE. (2010). *Industria de la Construcción-Concreto Hidráulico- Determinación del Revenimiento en el Concreto Fresco.*

NMX-C-159-ONNCCE. (2016). *Industria de la Construcción-Elaboración y Curado de Especímenes de Ensayo.*

NMX-C-161-ONNCCE. (2013). *Industria de la Construcción - Concreto Fresco - Muestreo.*

Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles

NMX-C-163-ONNCCE. (2019). *Industria de la Construcción – Concreto Hidráulico – Determinación de la Resistencia a la Tensión por Compresión Diametral de Cilindros de Concreto – Método de ensayo.*

NMX-C-164-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Grueso.*

NMX-C-165-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Fino - Método de Ensayo.*

NMX-C-170-ONNCCE. (2019). *Industria de la Construcción - Agregados - Reducción de las Muestras de Agregados Obtenidas en el Campo al Tamaño Requerido para los Ensayos.*

NMX-C-191-ONNCCE. (2015). *Industria de la Construcción - Concreto - Determinación de la Resistencia a la Flexión del Concreto Usando una Viga Simple con Carga en los Tercios del Claro.*

NMX-C-275-ONNCCE. (2020). *Industria de la Construcción – Concreto Hidráulico – Determinación de la Velocidad de Pulso Ultrasónico a Través del Concreto – Método de Ensayo.*

NMX-C-414-ONNCCE. (2017). *Industria de la Construcción-Cementantes Hidráulicos-Especificaciones y Métodos de Ensayo.*

NMX-C-504-ONNCCE. (2015). *Industria de la construcción – Determinación de la absorción capilar en concreto hidráulico - Método de ensayo.*

NMX-C-514-ONNCCE. (2019). *Industria de la Construcción-Resistividad Eléctrica del Concreto Hidráulico-Especificaciones y Método de Ensayo.*

NMX-C-530-ONNCCE. (2018). *Industria de la Construcción - Durabilidad - Norma General de Durabilidad de Estructuras de Concreto Reforzado - Criterios y Especificaciones.*

Pensupa, N., Leu, S. Y., Hu, Y., Du, C., Liu, H., Jing, H., Wang, H., & Lin, C. S. K. (2017). Recent Trends in Sustainable Textile Waste Recycling Methods:

Current Situation and Future Prospects. In *Topics in Current Chemistry* (Vol. 375, Issue 5). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s41061-017-0165-0>

Portugal Barriga, P. (2007). *Tecnología de concreto de alto desempeño*.

Procon. (2024). *Agregados pétreos*. <https://www.procon.com.mx/agregado-petreo/>.

Reynosa-Morales, L. M., Olguín-Coca, F. J., Guillén-Trujillo, H. A., Alonso-Farrera, F. A., Castro-Borges, P., López-González, A., & Ramos-Torres, G. (2017). Sustainability evaluation of different techniques for concrete mixing based on quality control. *Revista ALCONPAT*, 7(1), 87–103. <https://doi.org/10.21041/ra.v7i1.175>

Secretaría de Economía. (2016). *Industria textil Situación macroeconómica*. SE.

SEMARNAT. (2011). “ESTUDIO DE ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE SOLUCIÓN DE LA CORRIENTE DE RESIDUOS GENERADA POR LAS ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN EN MÉXICO”.

Shetty, M. S. (2005). *Concrete technology : theory and practice* (CME, Ed.). S. Chand & Co.

Tran, N. P., Gunasekara, C., Law, D. W., Houshyar, S., Setunge, S., & Cwirzen, A. (2022). Comprehensive review on sustainable fiber reinforced concrete incorporating recycled textile waste. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 11(1), 41–61. <https://doi.org/10.1080/21650373.2021.1875273>

Zaid, O., Mukhtar, F. M., M-García, R., El Sherbiny, M. G., & Mohamed, A. M. (2022). Characteristics of high-performance steel fiber reinforced recycled aggregate concrete utilizing mineral filler. *Case Studies in Construction Materials*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00939>



# Fabricio Ali Hernández Ferreyra

## Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles\_pdf

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:399408295

Fecha de entrega

28 oct 2024, 1:38 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

28 oct 2024, 1:47 p.m. GMT-6

Nombre de archivo

Evaluación físico mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles..pdf

Tamaño de archivo

5.5 MB

190 Páginas




45,688 Palabras

240,375 Caracteres

# 38% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Fuentes principales

- 38%  Fuentes de Internet
- 9%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

# Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
<b>Programa educativo</b>	Maestría en Ciencias de Ingeniería Ambiental	
<b>Título del trabajo</b>	Evaluación físico-mecánica de concreto reciclado adicionado con residuos textiles	
	<b>Nombre</b>	<b>Correo electrónico</b>
<b>Autor/es</b>	Ing. Fabricio Ali Hernández Ferreyra	1542127g@umich.mx
<b>Director</b>	Dr. Wilfrido Martínez Molina	wilfrido.martinez@umich.mx
<b>Codirector</b>	Dr. Mauricio Arreola Sánchez	mauricio.arreola@umich.mx
<b>Coordinador del programa</b>	Dr. Hugo Luis Chávez García	luis.chavez@umich.mx

Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	No	

# Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Traducción al español	No	
Traducción a otra lengua	No	
Revisión y corrección de estilo	No	
Análisis de datos	No	
Búsqueda y organización de información	No	
Formateo de las referencias bibliográficas	No	
Generación de contenido multimedia	No	
Otro	No	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Fabricio Ali Hernández Ferreyra <i>Fabricio Ali H.F.</i>
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán a 28 de Octubre del 2024