

2025

Análisis de la dosificación de mezclas de concreto base cemento
portland y pilas alcalinas recicladas.

David Sanchez Barrera



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniera



Desarrollo de una mezcla de concreto base cemento portland con pilas
alcalinas recicladas y su efecto en la resistencia.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias (Construcción)

Presenta

David Sanchez Barrera

Dirigido por:

Dr. José Luis Reyes Araiza

Querétaro, Qro a _____

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ciencias (Construcción)

Desarrollo de una mezcla de concreto base cemento portland con pilas alcalinas recicladas y su efecto en la resistencia.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestro en Ciencias (Construcción)

Presenta:

Ing. David Sanchez Barrera

Dirigido por:

Dr. José Luis Reyes Araiza

Sinodales

Dr. Jose Luis Reyes Araiza

Presidente

Firma

Dr. Saul Antonio Obregón Biosca

Secretario

Firma

Dr. Rubén Ramírez Jiménez

Vocal

Firma

Dr. Alejandro Manzano Rodríguez

Suplente

Firma

Dr. José de Jesús Pérez Bueno

Suplente

Firma

Dra. María de la Luz Pérez Rea

Nombre y Firma
Director de la Facultad

Dr. Juan Carlos Jauregui Correa

Nombre y Firma
Director de Investigación y Posgrado

RESUMEN

Desde hace años las pilas alcalinas han sido las más utilizadas en distintos dispositivos electrónicos, convirtiendo la energía química de sus componentes: ánodo, cátodo y una varilla de carbón en energía eléctrica. Al desecharse, los metales pesados de las pilas pueden filtrarse al suelo y contaminar los mantos freáticos, representando un peligro ambiental significativo. Este tema de investigación propone una alternativa para ayudar en parte a mitigar esta contaminación: embeber/encapsular las pilas en una mezcla de concreto.

El objetivo principal es el desarrollo de una mezcla de concreto al sustituir parte del agregado grueso (grava) por pilas alcalinas para reciclaje, utilizando como referencia una relación agua-cemento de 0.61. Se evaluarán mezclas con 5, 10 y 15% de pilas como agregado grueso, contribuyendo indirectamente al cuidado del medio ambiente, un objetivo secundario del trabajo. Esto, mediante la elaboración de probetas cilíndricas de concreto de 10x20 cm por cada porcentaje de sustitución, a los cuales se les harán pruebas de algunas propiedades mecánicas como lo son la resistencia a compresión simple y resistencia a tensión diametral, así como la densidad y revenimiento. También se realizarán pruebas preliminares de caracterización de agregado fino y grueso para mejorar el diseño y la proporción de las distintas mezclas de concreto. Aunque la inclusión de pilas alcalinas puede ser nociva, se espera que la alcalinidad del concreto (pH 12.6-13.5) genere una capa de pasividad que inhiba la oxidación de las pilas. Si se logra que la resistencia de alguna de las mezclas propuestas no difiera mucho con la de referencia, esta mezcla podría ser utilizable en un futuro, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental mediante el reciclaje de pilas alcalinas.

(Palabras clave: mezclas, pilas, concreto, alcalinas, dosificación)

SUMMARY

For years, alkaline batteries have been the most widely used in various electronic devices, converting the chemical energy of their components: anode, cathode, and carbon rod into electrical energy. When discarded, the heavy metals in batteries can seep into the soil and contaminate groundwater, posing a significant environmental hazard.

This research topic proposes an alternative to help mitigate this pollution: embedding/encapsulating the batteries in a concrete mixture. The main objective is to develop a concrete mixture by replacing part of the coarse aggregate (gravel) with alkaline batteries for recycling, using a water-cement ratio of 0.61 as a reference. Mixtures with 5, 10, and 15% of batteries as coarse aggregate will be evaluated, indirectly contributing to environmental protection, a secondary objective of the work. This will be done by preparing 10x20 cm cylindrical concrete test specimens for each percentage of substitution, which will be tested for certain mechanical properties such as simple compressive strength and diametral tensile strength, as well as density and slump. Preliminary tests will also be carried out to characterize fine and coarse aggregates in order to improve the design and proportion of the different concrete mixtures. Although the inclusion of alkaline batteries can be harmful, it is expected that the alkalinity of the concrete (pH 12.6-13.5) will generate a passive layer that inhibits the oxidation of the batteries. If the strength of any of the proposed mixtures does not differ significantly from the reference mixture, this mixture could be usable in the future, contributing to environmental sustainability through the recycling of alkaline batteries.

(Keywords: mixtures, batteries, concrete, alkaline)

El autor agradece al CONAHCYT por la beca otorgada durante el tiempo de los estudios de Maestría en Ciencias (Línea Terminal Construcción).

Este trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Querétaro, en el Laboratorio de Geotecnia Ambiental y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería, durante el periodo de 2023 – 2025.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías que me brindo su apoyo económicamente durante todo el transcurso de la maestría, dándome la posibilidad de aprovechar los recursos en estudiar un posgrado. A la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) por permitirme el uso de sus instalaciones y distintos laboratorios dentro de los horarios escritos en el reglamento.

Al Área de Gestión para la Sustentabilidad de la UAQ por la facilitación del material especial (pilas) ya que sin el apoyo de esta área el conseguir este material hubiera sido muy complicado.

Al Dr. José Luis Reyes Araiza, por su apoyo constante y su guía en las diferentes etapas de la experimentación de este proyecto. Su experiencia y conocimientos en el área han sido fundamentales para poder lograr esta investigación.

A mis profesores de posgrado, a los técnicos de los laboratorios y al personal de la universidad, por su tiempo y apoyo durante los diferentes tipos de procesos que se requirieron.

A mis compañeros, los de antes y los nuevos que hice durante la realización de este proyecto, que me ayudaron en el laboratorio y la escuela.

Por último, les agradezco a mi padre y madre por ayudarme resolviendo algunas dudas que surgieron durante la maestría; y a todos los que hicieron posible la realización de este trabajo.

Muchas gracias

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	2
SUMMARY.....	3
DEDICATORIA.....	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTOS	5
I. ANTECEDENTES	15
II. JUSTIFICACIÓN	19
III. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	20
IV. FUNDAMENTACION TEORICA.....	21
IV.1 Concreto:	21
IV.2 Agregado grueso y fino:	21
IV.3 Agua:	21
IV.4 Cemento Portland:	21
IV.5 Relación agua-cemento:.....	22
IV.6 Pilas:	22
IV.6.1 Características de las pilas alcalinas:	22
IV.6.2 Partes de las pilas alcalinas:.....	23
IV.7 Durabilidad del concreto:	23
IV.8 Ataques de sulfatos al concreto:	24
IV.9 Capa Pasiva:.....	24
IV.10 Alcalinidad en el concreto:	24
IV.11 Resistencia de los cilindros de concreto a carga axial.	25
V. HIPÓTESIS	26
VI. OBJETIVOS.....	26
VI.1 General.....	26
VI.2 Específicos	26
VII. METODOLOGÍA	27
VII.1 Materiales.....	28
VII.1.1 Material grueso y fino	28
VII.2. Cemento Portland	28
VII.3. Pilas alcalinas.....	29
VII.4 Métodos	29

VII.4.1 Caracterización de los agregados	29
VII.5 Caracterización del agregado grueso	30
VII.5.1 Cuarteo de las muestras	30
VII.5.2 Granulometría	31
VII.5.3 Porcentaje de desperdicios	31
VII.5.4 Porcentaje de humedad	32
VII.5.6 Porcentaje de absorción	32
VII.5.7 Peso volumétrico seco y compacto	33
VII.5.8 Densidad	34
VII.6 Caracterización del agregado fino	34
VII.6.1 Granulometría	34
VII.6.2 Porcentaje de desperdicios	35
VII.6.3 Porcentaje de humedad	35
VII.6.4 Porcentaje de absorción	35
VII.6.5 Peso volumétrico seco y compacto	36
VII.6.6 Densidad	37
VII.7 Diseño de mezclas de concreto	37
VII.8 Prueba de Resistencia	39
VII.9 p.H del concreto	40
VIII. CONDICIONES DE SEGURIDAD	41
VIII.1 Recolección de pilas	41
VIII.2 Uso de las pilas	41
VIII.3 Desecho de los residuos especiales	41
IX. NORMAS PARA RESIDUOS PELIGROSOS	42
X. CONDICIONES ETICAS	42
XI. RESULTADOS	43
XI.1 Resultados de la granulometría de las gravas	43
XI.2 Resultados de porcentajes de desperdicios	44
XI.3 Resultados de humedad	44
XI.4 Resultados de absorción	45
XI.5 Resultados de peso volumétrico seco y compacto	46
XI.6 Resultados de la densidad de las gravas	47
XI.7 Resultados de la granulometría de las arenas	48
XI.8 Resultados de porcentajes de desperdicios	49

XI.9 Resultados de humedad.....	49
XI.10 Resultados de absorción	50
XI.11 Resultados de peso volumétrico seco y compacto	51
XI.12 Resultados de la densidad de las arenas	52
XII. DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO CON PILAS Y LA MEZCLA ORDINARIA	52
XII.1 Realización de las mezclas	54
XIII. RESULTADOS PRELIMINARES	56
XIII.1 Pruebas preliminares que se realizaron	56
XIV. RESULTADOS FINALES	59
XIV.1 Densidad	59
XIV.2 Revenimiento	60
XIV.3 Vaciado de mezclas, desmoldado y curado de los especímenes.	60
XIV.4 Grafica esfuerzo deformación	62
XIV.5 Prueba a compresión.....	65
XIV.5.1 Cilindros naturales (N-SP)	66
XIV.5.2 Cilindros con 5% de Pilas Aleatorias (5%A)	66
XIV.5.3 Cilindros con 5% de Pilas Verticales (5%V)	66
XIV.5.4 Cilindros con 5% de Pilas Horizontales (5%H)	67
XIV.5.5 Cilindros con 10% de Pilas Aleatorias (10%A)	67
XIV.5.6 Cilindros con 10% de Pilas Verticales (10%V)	67
XIV.5.7 Cilindros con 10% de Pilas Horizontales (10%H)	68
XIV.5.8 Cilindros con 15% de Pilas Aleatorias (15%A)	68
XIV.5.9 Cilindros con 15% de Pilas Verticales (15%V)	68
XIV.5.10 Cilindros con 15% de Pilas Horizontales (15%H)	69
XIV.6 Prueba a tensión diametral.....	70
XIV.6.1 Cilindros sin pilas (N-SP).....	71
XIV.6.2 Cilindros con 5% de Pilas Aleatorias (5%A)	71
XIV.6.3 Cilindros con 5% de Pilas Verticales (5%V)	72
XIV.6.4 Cilindros con 5% de Pilas Horizontales (5%H) *	72
XIV.6.5 Cilindros con 10% de Pilas Aleatorias (10%A)	73
XIV.6.6 Cilindros con 10% de Pilas Verticales (10%V)	73
XIV.6.7 Cilindros con 10% de Pilas Horizontales (10%H) *	74
XIV.6.8 Cilindros con 15% de Pilas Aleatorias (15%A)	74
XIV.6.9 Cilindros con 15% de Pilas Verticales (15%V)	75

XIV.6.10 Cilindros con 15% de Pilas Horizontales (15%H) *	75
XIV.7 Degradación de sulfatos (Durabilidad)	88
XIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	91
XIV. CONCLUSIONES	93
XV. BIBLIOGRAFIA	94
XV. ANEXOS	99
XV.1 Anexo 1	99
XV.2 Anexo 2	100
XV.3 Anexo 3	101
XV.4 Anexo 4	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Diagrama de las partes de una pila.....	23
Fig. 2 Ejemplo de la formación de la capa pasiva.....	24
Fig. 3 Diagrama de trabajo a seguir para la elaboración de la Tesis.....	27
Fig. 4 Cemento marca CRUZ AZUL, el cual se usará para esta investigación.....	28
Fig. 5 Toneladas de pilas acopiadas por año. SEDEMA.....	29
Fig. 6 Cuarteador mecánico para las distintas muestras representativas a utilizar.	30
Fig. 7 Tamices utilizados para la granulometría de las gravas según norma ASTM C136.	31
Fig. 8 Materiales a usar para la obtención del peso volumétrico seco y compacto para gravas según Norma ASTM C29.	33
Fig. 9 Tamices utilizados para la granulometría de las arenas según Norma ASTM C136.	35
Fig. 10 Materiales necesarios para prueba de absorción y densidad según la Norma ASTM C127.....	36
Fig. 11 Materiales a usar para la obtención del peso volumétrico seco y compacto de arenas según la Norma ASTM C29.....	36
Fig. 12 Tabla de diseño de mezclas de concreto Método ACI.....	38
Fig. 13 Maquina Universal marca Fournery la cual se utilizará para las pruebas de compresión y flexión.....	40
Fig. 14 Separación y clasificación de las pilas recolectadas.....	41
Fig. 15 Peso obtenido en cada tamiz durante el cribado de la muestra de grava elegida.	43
Fig. 16 Curva granulométrica de las gravas.	44
Fig. 17 Grava húmeda.	45
Fig. 18 Muestra de grava secándose al horno por 24 hrs como lo marca la Norma ASTM C566.....	45
Fig. 19 Muestra de grava dejándose saturar por 24 hrs para la prueba de absorción.....	45
Fig. 20 Tercer pesaje de la P1G	46
Fig. 21 Segundo pesaje de la P1G	46
Fig. 22 Primer pesaje de la P1G.....	46
Fig. 23 Tercer pesaje de la P2G	46
Fig. 24 Primer pesaje de la P2G.....	46
Fig. 25 Volumen desplazado por la muestra de grava de 498 gr.	47
Fig. 26 Grava en estado SSS.	47
Fig. 27 Peso obtenido en cada tamiz durante el cribado de la muestra de arena elegida.....	48
Fig. 28 Curva granulométrica de las arenas.....	49
Fig. 29 Muestra de arena secándose al horno por 24 hrs como lo marca la Norma ASTM C566.....	50
Fig. 30 Arena húmeda.....	50
Fig. 31 Muestra de arena dejándose saturar por 24 hrs para la prueba de absorción.....	50
Fig. 32 Primer pesaje de la P1A.....	51
Fig. 33 Tercer pesaje de la P1A	51
Fig. 34 Segundo pesaje de la P1A	51

Fig. 35 Primer pesaje de la P12	51
Fig. 36 Segundo pesaje de la P2A	51
Fig. 37 Tercer pesaje de la P2A	51
Fig. 38 Proceso de obtención de la densidad de arena.	52
Fig. 39. Vaciado de la mezcla natural de concreto.	55
Fig. 40. Realización de la mezcla de concreto natural.	55
Fig. 41. Vaciado de la mezcla preliminar con pilas.	55
Fig. 42. Vaciado de la mezcla preliminar con pilas.	55
Fig. 43. Curado de los cilindros.	56
Fig. 44. Cabeceo de los cilindros con azufre.	56
Fig. 45 Acomodo de las pilas manualmente dependiendo la posición en la cual se requiera poner.	59
Fig. 46 Parte del proceso de la obtención del revenimiento de la mezcla.	60
Fig. 47 Vaciado de mezcla con pilas, colocando las pilas manualmente en las siguientes posiciones: al azar, vertical y horizontal respectivamente.	61
Fig. 48 Desmoldado de los distintos especímenes.	61
Fig. 49 Curado de los especímenes de concreto.	62
Fig. 50 Anillos de deformación colocados sobre los especímenes de 30x15cm.	62
Fig. 51 Grafica Esfuerzo-Deformación de la mezcla con 5% de pilas.	63
Fig. 52 Grafica Esfuerzo-Deformación de la mezcla con 10% de pilas.	63
Fig. 53 Grafica Esfuerzo-Deformación de la mezcla con 15% de pilas.	64
Fig. 54 Almohadillas de neopreno usadas en la prueba de compresión simple para cilindros de 10 x 20 cm.	65
Fig. 55 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.	66
Fig. 56 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.	66
Fig. 57 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.	66
Fig. 58 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.	67
Fig. 59 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.	67
Fig. 60 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.	67
Fig. 61 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.	68
Fig. 62 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.	68
Fig. 63 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.	68
Fig. 64 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.	69
Fig. 65 Maquina universal de 50kn, marca AUTOGRAPH.	70
Fig. 66 Aparato de ensayo para la prueba de tensión diametral.	70
Fig. 67 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.	71
Fig. 68 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.	71
Fig. 69 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.	72
Fig. 70 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.	72
Fig. 71 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.	73
Fig. 72 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.	73
Fig. 73 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.	74
Fig. 74 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.	74

Fig. 75 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.....	75
Fig. 76 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.....	75
Fig. 77 Pilas que se rompieron a la mitad durante la prueba de RTD.....	77
Fig. 78 Pilas que se aplastaron durante la prueba de RTD.....	77
Fig. 79 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro N-SP.	78
Fig. 80 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 5%A.....	78
Fig. 81 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 5%V.....	79
Fig. 82 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 5%H.	79
Fig. 83 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 10%A.....	80
Fig. 84 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 10%V.....	80
Fig. 85 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 10%H.....	81
Fig. 86 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 15%A.....	81
Fig. 87 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 15%V.....	82
Fig. 88 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 15%H.....	82
Fig. 89 Grafica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes N-SP.	83
Fig. 90 Grafica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 5%A.	83
Fig. 91 Grafica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 5%V.	84
Fig. 92 Grafica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 5%H.....	84
Fig. 93 Grafica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 10%A.....	85
Fig. 94 Grafica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 10%V.....	85
Fig. 95 Grafica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 10%H.	86
Fig. 96 Grafica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 15%A.....	86
Fig. 97 Grafica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 15%V.....	87
Fig. 98 Grafica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 15%H.	87
Fig. 99 Botes de Agua destilada y sulfato de magnesio a usar.	88
Fig. 100 Especímenes después de 24 hrs sumergidos, 24 hrs secos y algunos cambios físicos que se notaron durante los ciclos.....	89
Fig. 101 Grietas y fisuras presentadas durante la prueba de degradación de sulfatos.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de diseños de mezclas en distintos trabajos.....	18
Tabla 2. Matriz de experimentos.....	38
Tabla 3. Relación agua-cemento por resistencia del concreto. ACI 211.1-81.....	39
Tabla 4. Granulometría de la grava	43
Tabla 5. Peso Unitario de la grava en ambas pruebas.....	47
Tabla 6. Granulometría de la arena.....	48
Tabla 7. Peso Unitario de la arena en ambas pruebas.....	52
Tabla 8. Cantidad de materiales necesarios para un espécimen en una mezcla sin pilas.....	53
Tabla 9. Cantidad de materiales necesarios para un espécimen en una mezcla con 5% de pilas.....	53
Tabla 10. Cantidad de materiales necesarios para un espécimen en una mezcla con 10% de pilas.....	53
Tabla 11. Cantidad de materiales necesarios para un espécimen en una mezcla con 15% de pilas.....	54
Tabla 12. Cantidad de materiales necesarios para un espécimen en una mezcla con 20% de pilas.*	54
Tabla 15. Densidad y revenimiento de las pruebas preliminares.....	57
Tabla 16. Resultados de pruebas a compresión y tensión de la mezcla sin pilas en pruebas preliminares.....	57
Tabla 17. Resultados de pruebas a compresión y tensión de la mezcla con 5% de pilas en pruebas preliminares.....	57
Tabla 18. Resultados de pruebas a compresión y tensión de la mezcla con 10% de pilas en pruebas preliminares.....	58
Tabla 19. Resultados de pruebas a compresión y tensión de la mezcla con 15% de pilas en pruebas preliminares.....	58
Tabla 20. Resultados de pruebas a compresión y tensión de la mezcla con 20% de pilas en pruebas preliminares.....	58
Tabla 21. Dosificación de materiales para cada tipo de mezcla.....	59
Tabla 22. Densidad y revenimiento por tipo de mezcla.....	60
Tabla 23. Modulo elástico de las mezclas con pilas.....	64
Tabla 24. Tolerancia permitida para ensaye de especímenes. ASTM C109.....	65
Tabla 25. Valores obtenidos de compresión a 28 días de las diferentes mezclas.....	69
Tabla 26. Resultados de la prueba a tensión diametral y su equivalente en porcentaje con respecto a la prueba de compresión.....	76
Tabla 27. Peso de los especímenes del grupo 1 en cada ciclo.....	89
Tabla 28. Peso de los especímenes del grupo 2 en cada ciclo.....	90
Tabla 29. Resultados de la resistencia a compresión después de los 5 ciclos.....	90
Tabla 30. Tiempo de exposición en años para diferentes condiciones de laboratorio.....	91

INTRODUCCIÓN

En el Capítulo 1 de esta tesis se presentan antecedentes referentes al tema de investigación, así como los trabajos que tengan más similitud en el área de materiales, construcción y concreto. Así mismo se muestra la justificación y descripción del problema que se quiere resolver en este trabajo.

Durante el Capítulo 2 se muestra la fundamentación teórica, esto para dar a conocer a grandes rasgos sobre los materiales y propiedades que se usaron en esta tesis, igualmente se habla de las pilas, sus componentes, características, usos, impacto en el medio ambiente y datos sobre algunas instituciones que se encargan de su reciclaje; la hipótesis y objetivos tanto general como los específicos también se dan a conocer en este capítulo.

El Capítulo 3 muestra, mediante un diagrama, la descripción de la metodología a seguir durante la realización de este tema de investigación, las pruebas que se hicieron a los diferentes materiales, así como la caracterización de estos, normas y ecuaciones que se usaron. también en este capítulo se indican como se hizo el diseño de las mezclas de concreto, la cantidad de especímenes cilíndricos que se elaboraron por cada tipo de mezcla y porcentaje.

El Capítulo 4 habla sobre las normas que se tomaron en cuenta al trabajar con residuos especiales (pilas) tanto de seguridad como para uso de estos mismos; así como los procesos a usar y las precauciones que se tiene que tomar en el laboratorio; el destino final de las pilas después de la etapa de experimentación se menciona aquí mismo y las condiciones éticas para saber si se afectan a terceros o no son mencionadas de igual manera.

Por último, en el Capítulo 5 se dan a conocer los resultados preliminares y finales de la experimentación hecha con sus respectivas evidencias fotográficas, así como tablas en donde se detalla la dosificación usada para cada tipo de mezcla y resultados de las pruebas de compresión simple, tensión diametral y degradación de sulfatos, así como graficas del comportamiento de especímenes en la prueba de tensión diametral y comparación entre las mismas. En la conclusión se menciona si la hipótesis y objetivos se lograron.

Además, la relevancia a nivel social que tiene esta investigación radica en el posible uso de la mezcla final en, por ejemplo, un firme a la vez que se lograría encapsular las pilas en el concreto y esto ayudaría en una pequeña magnitud con el uso y desecho excesivo de las pilas alcalinas; hay que recalcar que este concreto es más del lado de la categoría de concreto ligero/ baja densidad y no de un concreto estructural. Del lado de la parte científica; las conclusiones aportan conocimientos nuevos sobre el comportamiento de estos objetos en el concreto y estos se pueden usar para investigación futuras relacionadas con la industria de la construcción.

I. ANTECEDENTES

La utilización del concreto tiene sus orígenes en la civilización romana, quienes emplearon por primera vez un material de características similares al concreto actual, basado en cementos de tipo hidráulico, es decir, aquellos que desarrollan resistencia al reaccionar con el agua. Con el paso del tiempo, el estudio de estos ligantes evolucionó hasta dar lugar al cemento Portland moderno. Este se obtiene al someter a altas temperaturas una mezcla fina de arcilla y caliza, proceso en el cual se elimina el dióxido de carbono y se forman compuestos que, tras su enfriamiento y molienda, constituyen el cemento Portland (Neville, 1999).

El término Portland se utiliza para designar al cemento producido a partir de la combinación de materiales calcáreos y arcillosos, a los cuales pueden añadirse componentes que aporten sílice, alúmina u óxidos de hierro. Esta mezcla se quema a temperaturas elevadas hasta formar un material nodular conocido como clínker, que posteriormente se muele hasta obtener un polvo fino. Salvo la adición de yeso y de agentes reguladores, no se permite incorporar otros materiales después de la etapa de calcinación (A. M. Neville, 1998).

Por su parte, el concreto se define como la mezcla de un aglutinante —generalmente cemento Portland—, agregados de distinto tamaño, agua y, en algunos casos, aditivos especiales. Tras el proceso de fraguado y endurecimiento, esta combinación da lugar a un material sólido y compacto capaz de resistir elevados esfuerzos de compresión (Instituto del Concreto, 1997).

El cemento constituye el elemento esencial del concreto, ya que actúa como el ligante responsable de proporcionar tanto cohesión como adhesión, permitiendo que los fragmentos minerales se integren en una masa sólida y uniforme (Del Valle Moreno Angélica, 2001). No obstante, este material no trabaja de manera aislada: el concreto incorpora también otros componentes, principalmente los agregados, que, aunque cumplen diversas funciones, en términos generales operan como elementos de relleno que contribuyen al volumen y a la estabilidad de la mezcla.

El concreto simple (sin ningún tipo de refuerzo) presenta una elevada capacidad para resistir esfuerzos de compresión. Sin embargo, su respuesta frente a cargas de tensión es deficiente, lo cual restringe significativamente su utilización en aplicaciones estructurales. Como todo material cerámico, el concreto sin refuerzo tiende a fallar de manera frágil y sin previo aviso. Para compensar esta limitación, se incorporan elementos de acero, usualmente barras, ubicadas estratégicamente en las zonas donde se espera la aparición de tensiones durante el servicio. Este refuerzo permite controlar la formación y propagación de grietas, aumentando la capacidad del elemento para absorber deformaciones y otorgando al concreto reforzado las propiedades de ductilidad y elasticidad que el material por sí solo no posee.

La industria cementera realiza esfuerzos constantes para reducir el costo de producción del cemento Portland y el consumo de materias primas, proteger el medio ambiente y mejorar la calidad de dicho cemento. Uno de ellos es el uso de ciertos materiales de bajo costo para renovar parcialmente el clínker, como por ejemplo son subproductos industriales y residuos agrícolas. (O. A Diaz, 2012)

Los agregados proporcionan al concreto mayor estabilidad volumétrica y más durabilidad, estos son de gran importancia en el concreto, ya que la calidad de estos se ve reflejada en la resistencia del concreto y sus propiedades afectan en gran medida tanto la durabilidad como el comportamiento estructural del concreto (Del Valle Moreno Angélica, 2001).

Dichos agregados son de interés primario con respecto al reemplazo potencial con materiales reciclados. Muchas formas de reemplazo de agregado se han utilizado en el pasado, a partir de llantas y residuos reciclados de automóviles metal o basura pura. (Claire Gemperline, 2008).

En 2010, se estima que 70 mil millones de toneladas de cemento fue producido solo en los Estados Unidos 35 mil millones de toneladas en México y 3,300,000 millones en el mundo (Geological Survey, 2011).

El empleo de metales forma parte esencial de la vida cotidiana. Desde objetos tan comunes como una regadera o los utensilios de cocina, hasta los sistemas de transporte automóviles, autobuses y las propias edificaciones, donde gran parte de la estructura es un armazón de concreto reforzado con acero. En consecuencia, puede afirmarse que la sociedad moderna se sustenta en una infraestructura cuyo funcionamiento depende ampliamente de materiales metálicos (Genescá J. y Ávila J., 1999).

En el caso particular de México, se estima que cada persona utiliza alrededor de seis pilas primarias al año, lo que implica que aproximadamente 780 millones de baterías no recargables son desechadas anualmente. Una proporción considerable de estas se consume al inicio del año, debido a que suelen acompañar juguetes y dispositivos electrónicos entregados durante la celebración del Día de Reyes. Una vez que alcanzan el fin de su vida útil, es fundamental depositarlas en contenedores especializados, con el fin de prevenir impactos ambientales derivados de su inadecuada disposición (Alpiba, 2020).

El uso creciente de dispositivos electrónicos portátiles es también la eliminación cada vez mayor de baterías portátiles que constan de varias sustancias tóxicas. Las baterías de iones de litio son el tipo de batería más común utilizado en dispositivos electrónicos portátiles y se espera que su uso doble de 2013-14 a 2019-20 (Boyden, Soo, Doolan, 2016). Estas baterías contienen niveles más bajos de materiales tóxicos que otros tipos de baterías (Lithium ion, 2007), y en algunos países, se consideran aptos para su eliminación vertedero.

El agregar las pilas en el concreto se puede tomar como poner agregados metálicos en la mezcla del concreto, tomando esto como referencia (Porter 1910, Ficklen 1914) mencionan que a nivel mundial, las primeras sugerencias en el sentido de que las propiedades del concreto podrían mejorarse con la adición de fibras de acero, pero no es sino hasta 1963 en que pone en evidencia la función en el concreto de las fibras metálicas como elementos inhibidores del agrietamiento.

Existe el concreto reforzado con fibras de acero, el cual tiene un mejor desempeño comparado con el concreto reforzado con carbono o PET. Mello et al. (2014). Por otro lado Buratti et al. (2010) dicen que las fibras de acero aportan estructuralmente a la mezcla igual que las de sintéticos, mismas que reducen el agrietamiento por contracción plástica que sufre el concreto en el tiempo de fraguado. Sin embargo, (Singh et al. 2004) reportaron que estas tienen como desventaja una baja capacidad de adhesión con el concreto.

Se ha demostrado que reciclar baterías es beneficioso para el entorno, el reciclaje de baterías de iones de litio en particular reduce el consumo de energía, reduce el gas de efecto invernadero emisiones, y resulta en 51.3% de ahorro de recursos naturales cuando en comparación con el relleno sanitario. La mayoría de los beneficios se producen como un resultado de evitar la producción de materiales vírgenes. De todos modos, eso no es posible reciclar baterías de iones de litio sin causar cualquier impacto ambiental (Boyden, Soo, Doolan, 2016).

El impacto ambiental que tiene el sector de la construcción tiene dos lados, uno positivo en el cual se enfoca en que la industria crea infraestructura que facilitan las actividades humanas y que hacen mas cómoda la vida diaria, al igual que ayuda al cuidado del medio ambiente así como al desarrollo social y económico en el mundo (Zhang et al., 2019); por otro lado esta el negativo, en el cual al construir todas edificaciones estas causan durante el proceso de construcción contaminación acústica, al aire, al agua y una gran cantidad de generación de residuos de distintos tipos, así como el consumo constante de materias primas que si bien estas no se acabaran de un futuro cercano, si la industria sigue este camino, estas se terminaran acabando en un punto (Rindinel-Ovideo, 2021).

Como se mencionó antes, la industria de la construcción es responsable de 3 factores importantes: 1.-Explotar el 50% de los materiales en bruto de la naturaleza, 2.- Crear el 45% del total de desperdicios y 3.- Consumir cerca del 40% de la energía que se produce a nivel mundial (Arreondo Rea, 2011).

Tomando en cuenta esto, desde ya hace varios años, la industria ha optado por ir modificando el como se diseñan las mezclas de concreto(Nani, 1993; Benjamin, 2003; Malavar 1998; Neville 1998), centrándose en los materiales que se pueden sustituir como lo son la arena o la grava, esto da paso a diferentes tipos de concreto como lo pueden ser: concreto con plástico reciclado, con diferentes tipos de fibras (vidrio, metálicas, sintéticas,

naturales, de carbono), con polímeros, con madera finamente molida, con ceniza volante, con caucho etc.

Y el que más está tomando importancia para una economía circular es el concreto reciclado, Wagith et al. (2013) encontraron que los escombros del concreto, una vez que se hayan triturado, separado y caracterizado, pueden ser utilizados como un agregado reciclado en la producción de un concreto nuevo dependiendo de la resistencia que se requiera, con propiedades prácticamente iguales a un concreto no reciclado, adecuadas para la mayoría de las aplicaciones estándar de un concreto.

En la tabla 1 se muestra una recopilación de algunas mezclas de concreto y el agregado “extra” que se añadió, al igual que el porcentaje de este o estos.

Tabla 1. Comparación de diseños de mezclas en distintos trabajos.

Autor	Año	País	Agregado Utilizado	Porcentaje del agregado que se utilizó
Mendoza, A	2021	México	PET	10%
Quintero et al.	2006	Colombia	Fibra de estopa de coco	.5 y 1.5% con longitud de 2 y 5 cm
Mendoza, C	2011	México	Fibras de polipropileno	.11, .32 y .54% en volumen
Carrillo, J	2013	Argentina	Fibras de acero	40, 45, 60 y 75 kg/m ³
Terreros et al.	2016	Colombia	Fibra de cáñamo	1, 3 y 5% de fibra del peso total
Panara et al.	2020	México	Concreto reciclado	10, 15 y 20% de sustitución de los agregados
Coronel et al.	2021	Perú	Cascara de arroz y cenizas	0.25, 0.50, 0.75 y 1% del peso total del cemento
Bellido, J	2018	Perú	Virutas de madera	30, 60 y 90% de viruta de madera del peso del concreto

Elaboración propia; datos tomados de distintas referencias citadas en este trabajo.

Tomando en cuenta este registro, se optó por la idea de utilizar algún tipo de agregado que no se haya utilizado antes o que se haya utilizado muy poco; por lo que se eligieron las pilas alcalinas para este trabajo de investigación y basándose en los porcentajes encontrados en las diferentes fuentes bibliográficas se eligieron 5, 10 y 15%, ya que no es un porcentaje tan alto de sustitución, por lo cual la teoría marca que la afectación en comparación con una mezcla de concreto ordinario no debería de ser mucha.

II. JUSTIFICACIÓN

Uno de los problemas más grandes a nivel mundial es la contaminación ambiental, la cual es causada por muchos factores, uno de los más críticos es la contaminación que producen las pilas alcalinas y salinas recicladas (Mendez, 2006).

El consumo en todo el mundo de estas es significativo, tan solo en la ciudad de México y Valle de México existe un deficiente reciclaje de pilas como desechos tóxicos debido a los grandes volúmenes que se producen; (Vizuet, 2018) señala que cada mes se desechan 16 millones 675 mil 133 pilas. Un 64% de la población genera de 1 a 2 al mes, el 30 por ciento de 3% a 5% y 6% más de 6 pilas.

Actualmente no existe un tratamiento económico para las pilas desechadas, (SITRASA) es una de las pocas empresas en México que cuenta con un tratamiento fisicoquímico con cuatro reacciones principales: neutralización, oxidación/reducción, fijación y precipitación química, sin embargo, la cantidad que trata es muy pequeña y no cubre toda la demanda (México Nueva Era, 2018).

Otro punto que se destaca es el consumo de materias primas del concreto, como lo son las calizas, arcillas, margas, caolín, areniscas/arenas silíceas y piritas es cada vez mayor, por lo cual llegara un momento en el que se complicara la obtención de estas, llevando al hombre a buscar sustitutos de estas.

Con lo anterior dicho se crea la necesidad de realizar un trabajo que aborde el tema de manejo de algunas de estas pilas; la presente investigación si bien no tiene como objetivo el atacar este problema ambiental puntualmente, si pretende ayudar a que dichas pilas que ya no se usan, sirvan para embeberlas en la mezcla de concreto y ayudar en un mínimo porcentaje en la propagación y contaminación que estas producen.

III. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Al-Amoudi (1995) señala que las estructuras de concreto pueden sufrir deterioro significativo cuando están expuestas a sales, especialmente en ambientes donde el cloruro de sodio está presente. Al igual que, Zhou et al. (2016) destacan que este compuesto constituye uno de los agentes más agresivos para la durabilidad del concreto. Debido a que muchas estructuras se localizan en zonas vulnerables a la acción de cloruros, resulta necesario desarrollar alternativas que permitan reducir o prevenir el daño generado por dichos compuestos.

En este contexto, el empleo de pilas alcalinas como sustituto parcial del agregado grueso en mezclas de concreto con cemento Portland representa un área de estudio relevante, ya que su incorporación puede modificar tanto las propiedades físicas como mecánicas del material. Sin embargo, también es sabido que el concreto ofrece una protección química y física al acero de refuerzo, protección que puede considerarse similar a la que recibirían las pilas alcalinas embebidas en la mezcla de concreto.

Esta protección, conocida como pasividad, se debe al carácter altamente alcalino del concreto, cuyo pH oscila entre 12.6 y 13.5. Bajo estas condiciones, se forma una capa pasivadora que limita la corrosión frente a agentes ambientales como oxígeno, agua, cloruros, dióxido de carbono y compuestos sulfatados. No obstante, cuando estos agentes logran penetrar el concreto en cantidades suficientes, pueden despasivar el acero (o, en este caso, las pilas alcalinas) y desencadenar el proceso corrosivo (Steven H., 2017).

El presente tema de investigación tiene como problema principal el poder controlar la mezcla de concreto con pilas para que esta se asemeje a una mezcla ordinaria con relación agua-cemento de 0.61, por lo tanto este mismo pretende obtener una dosificación adecuada en la cual haya más protección química (no haya tanta corrosión de las pilas) y al mismo tiempo haga que el concreto no pierda su durabilidad o en su defecto hacerlo más durable, lo que se traduce en tener una mezcla controlada por medio del análisis de cada uno de los agregados empleados, para obtener características similares al concreto estándar.

CAPITULO 2

IV. FUNDAMENTACION TEORICA

IV.1 Concreto:

El (Instituto del Concreto, 2004) menciona que: “El concreto se puede definir como la mezcla de los siguientes materiales: aglutinante (normalmente cemento Portland), un material de relleno (agregados finos y gruesos), agua y aditivos cuando es necesario, que al endurecerse forman un sólido compacto que es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión.”

IV.2 Agregado grueso y fino:

Se le llaman agregados a todo tipo de material que cuente con una resistencia propia y suficiente, la cual no afecte las propiedades y características del concreto y se tenga una cohesión suficiente que permita hacer una pasta endurecida por el cemento. En general, varios tipos de materiales se adaptan bien con el cemento, por lo que no debería de haber afectación a la hora de hacer la mezcla de concreto (Guzmán, 2001).

IV.3 Agua:

El agua es un solvente universal, por lo que la mayoría de las sustancias se pueden disolver en ella. Su cualidad principal es la adhesividad por lo cual puede mojar casi cualquier objeto o cuerpo; también es un excelente conductor de calor y de electricidad (Román, 2015).

IV.4 Cemento Portland:

(CANACEM, 2007) define al Cemento Portland como: “El cemento que se ocupa en la industria de la construcción es un polvo muy fino, que se obtiene de la calcinación a una temperatura cercana a los 1,450 °C de una mezcla compuesta por piedra caliza, arcilla y mineral de hierro, este tiene la propiedad de fraguar y endurecerse para tener una buena resistencia y trabajabilidad dependiendo de su finalidad. Cuando el cemento es mezclado con agua y arena forma mortero”

IV.5 Relación agua-cemento:

La relación agua-cemento (a/c) es un parámetro fundamental en el diseño de mezclas de concreto el cual influye en sus propiedades en sus dos tipos de estado fresco y endurecido. Esta se refiere al cociente entre la masa de agua y la masa de cemento y se expresa de forma adimensional como lo muestra la ecuación 1:

$$a / c = \frac{W}{C} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

a/c= relación agua-cemento (Kg/cm²)

W= cantidad de agua (kg)

C= cantidad de cemento (kg)

Si se ve desde un punto de vista técnico, esta relación determina el grado en el que cemento se encuentra hidratado, por lo tanto, determinara su resistencia mecánica, durabilidad, trabajabilidad y permeabilidad final también. Una relación a/c baja (≤ 0.45) favorece a la resistencia a compresión y menor porosidad, aunque puede dificultar la trabajabilidad; mientras que una relación alta (≥ 0.60) otorga una mejor trabajabilidad, pero reducen su desempeño estructural y durabilidad.

IV.6 Pilas:

Las pilas (figura 1) son dispositivos electroquímicos que se emplean cada vez con mayor frecuencia para poder alimentar a los diversos equipos electrónicos fijos y portátiles (IEEE), estas contienen en su interior materiales pesados como cadmio, mercurio y litio .

Con estos se llega a producir una reacción química que genera la energía necesaria para hacer funcionar los aparatos electrónicos. Si la pila es muy vieja, esta se puede oxidar y agrietar, dando paso a una contaminación toxica. (Alpiba, 2020).

IV.6.1 Características de las pilas alcalinas:

- No contienen metales pesados que puedan contaminar el suelo o el manto freático
- No suponen un riesgo de explosión en los vertederos.
- Su costo es más bajo que las de litio y, por tanto, su uso es más rentable.
- Proporcionan un alto nivel de energía constante.

- Las pilas alcalinas de botón cumplen con las normas medioambientales de los Estados Unidos y la UE, y la Agencia de Protección Medioambiental las considera no tóxicas

IV.6.2 Partes de las pilas alcalinas:

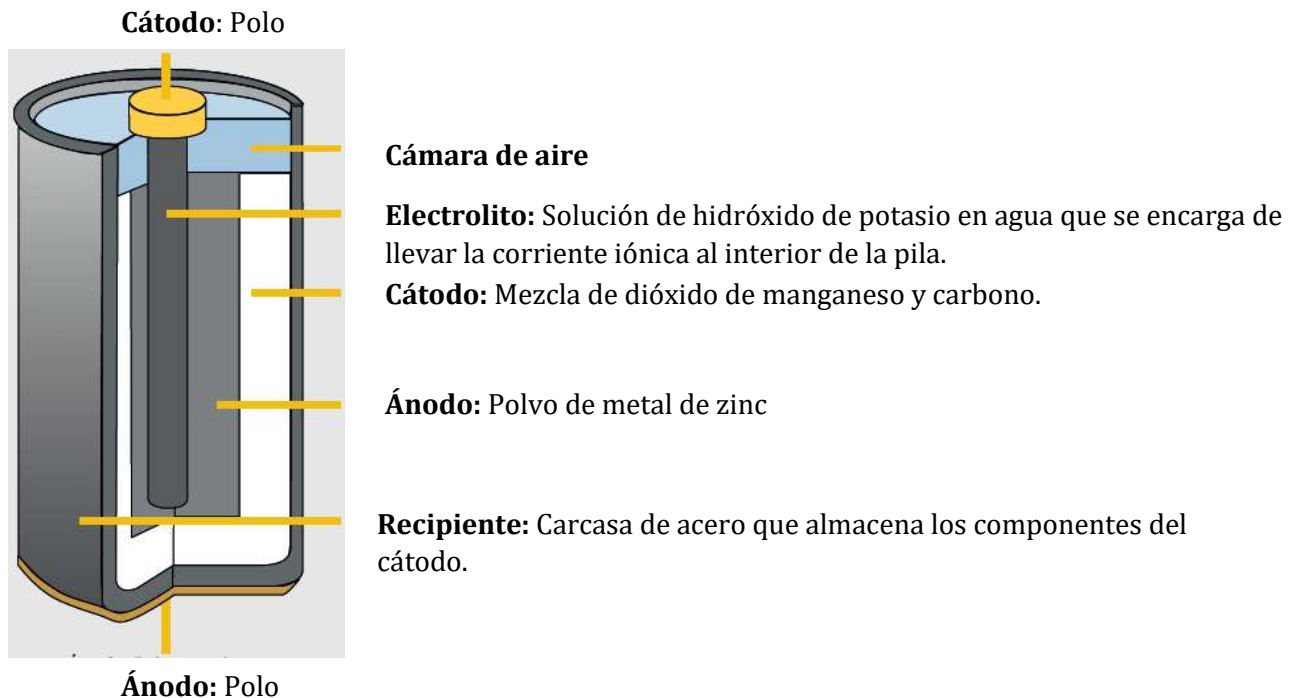


Fig. 1 Diagrama de las partes de una pila

Elaboración propia, imágenes de uso libre en Google..

IV.7 Durabilidad del concreto:

Capacidad de resistir en el paso del tiempo ataques químicos, abrasión o cualquier proceso que genere un deterioro, es decir, el concreto con buena durabilidad mantendrá su forma original, calidad y resistencia cuando sea expuesto al medio ambiente durante varios años (Mehta y Monteiro, 1998).

El deterioro del concreto puede ser el producto de factores exteriores o internos, y estos pueden ser físicos, químicos y biológicos. El ataque externo ocurre principalmente a través de la acción de iones agresivos tales como cloruros, sulfatos o dióxido de carbono.

IV.8 Ataques de sulfatos al concreto:

El ataque más común al concreto es la acción de los sulfatos en el mismo. Los iones sulfatos están siempre presentes en mayor o menor medida en prácticamente todas las aguas subterráneas y en los desechos industriales.

El ataque de los sulfatos provoca una secreción blanca y un agrietamiento progresivo, lo que hace que el concreto se vuelva quebradizo y hasta suave. El sulfato de magnesio es el más dañino porque afecta fases de la pasta de cemento, como son los silicatos cálcicos, mediante una serie de acciones complejas que modifican el pH de las pastas de cemento (Gonzáles, 1991).

IV.9 Capa Pasiva:

La capa pasiva del concreto (figura 2) es como una película protectora la cual se va formando en la superficie del acero de refuerzo incrustado en el concreto gracias a la alta alcalinidad del concreto, y que previene la corrosión del acero.

La corrosión en el acero se debe a un proceso químico en el que, la reacción entre el acero con contenido de hierro y el oxígeno, forma una capa de óxido de hierro provocando de esta forma la destrucción del material (Steven H. Kostmatka, 2017).

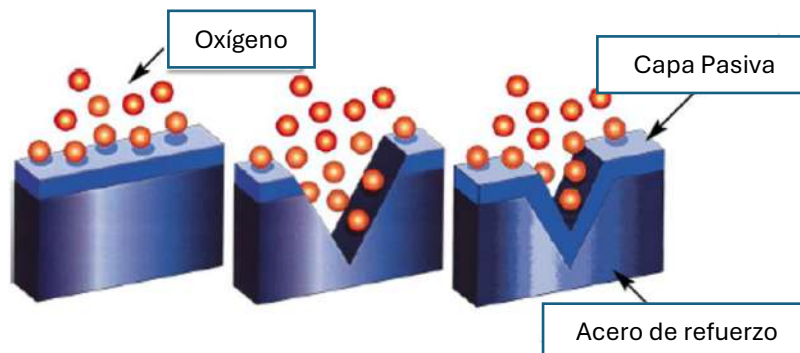


Fig. 2 Ejemplo de la formación de la capa pasiva

Elaboración propia, imágenes de uso libre en Google.

IV.10 Alcalinidad en el concreto:

El concreto se considera alcalino, ya que mantiene un pH entre 12 y 13, por lo cual logra proteger al acero de refuerzo de agentes exteriores. Esta protección se logra por la formación de una capa de óxido pasivo sobre la superficie del acero y así este se mantiene en un ambiente alcalino.

IV.11 Resistencia de los cilindros de concreto a carga axial.

Es la resistencia máxima obtenida de un espécimen de prueba ya sea de mortero o de concreto ante una exposición de cargas axiales de compresión; se expresa como una fuerza por unidad de área de la sección transversal; o la resistencia especificada para fines de cálculos de diseño (IMCYC, 2002).

Se probarán los cilindros a compresión en la maquina universal Forney de 150 Ton de capacidad (basado en la norma: ASTM-C39/C39M-03).

$$f'_c = \frac{W}{A} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

f'_c esfuerzo a compresión (Kg/cm²)

W= carga que resiste (kg.)

A= área del círculo del cilindro (cm²)

V. HIPÓTESIS

La sustitución de pilas alcalinas por el agregado grueso en proporciones de 5, 10 y 15% de un concreto simple con relación agua-cemento de 0.61 mantiene la resistencia a compresión de un concreto sin pilas a la edad de curado de 28 días.

VI. OBJETIVOS

VI.1 General

Obtener una dosificación adecuada para una mezcla de concreto que dé a esta una resistencia a compresión similar a un concreto simple con relación agua-cemento de 0.61, y a su vez que tenga una buena trabajabilidad; así esta se mantendrá en parámetros útiles para su empleo mediante la caracterización de los agregados a usar en las mezclas.

VI.2 Específicos

- Evaluar en las distintas mezclas los efectos causados en dos características mecánicas principales: resistencia a compresión y resistencia a la flexión.
- Determinar la degradación de sulfatos en las mezclas de concreto al sustituir el agregado grueso grava por pilas alcalinas en los porcentajes antes mencionados.
- Determinar el revenimiento y la densidad de cada tipo de mezcla de concreto que se hará.
- Evaluar cuantos años durarían las mezclas con pilas someténdolas a una solución que simula el ataque agresivo de sales.
- Definir cual mezcla y porque es la más acercada a cumplir con la hipótesis planteada.

VII. METODOLOGÍA

En este apartado se presentan por medio de un diagrama que se muestra en la figura 3 los métodos utilizados para la caracterización de los materiales, elaboración de concretos, y procedimientos experimentales para obtener las propiedades físicas y mecánicas de los concretos en base de cemento Pórtland y concreto base cemento Portland-pilas alcalinas

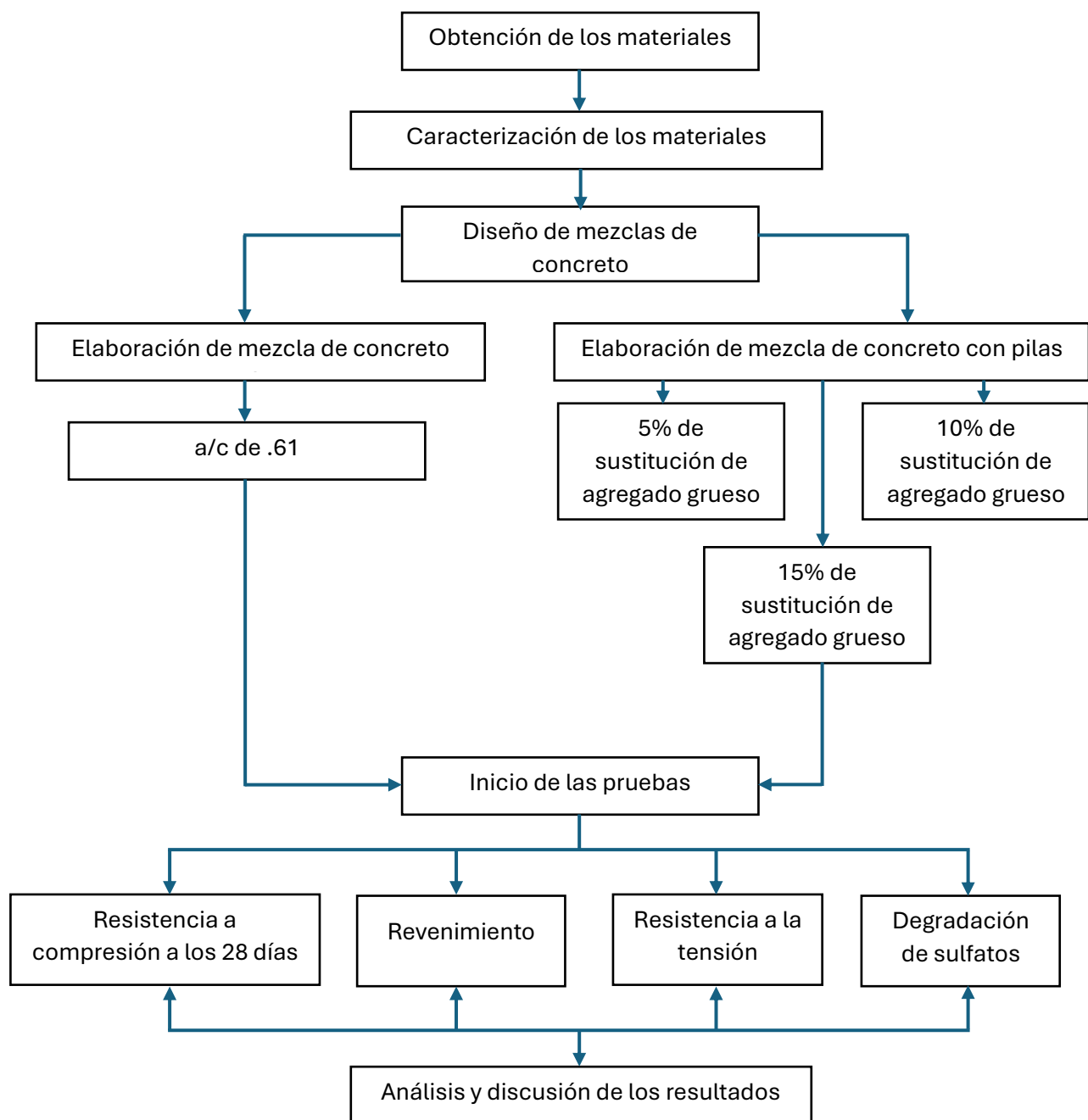


Fig. 3 Diagrama de trabajo a seguir para la elaboración de la Tesis

Elaboración propia.

VII.1 Materiales

VII.1.1 Material grueso y fino

Se obtendrá material grueso y material fino en la ciudad de Querétaro, a los cuales se les realizarán pruebas de caracterización y determinar sus propiedades, determinando así, si el material será apto para la realización del trabajo de investigación actual, las pruebas que se realizarán serán en base a la norma ASTM-C125, 2008, las cuales son:

Material Grueso Y Fino

Granulometría
Peso unitario, seco y compacto
Porcentaje de humedad
Porcentaje de absorción
Contenido de materia orgánica
Desgaste de los ángeles
Densidad

Fuente propia.

VII.2. Cemento Portland

El cemento que se utilizará será el CPC (figura 4), ya que cumple con las especificaciones de calidad establecidas en la Norma Mexicana NMX-C-414-ONNCCE. (CEMEX, 2008) menciona que: “Este es adecuado para cualquier tipo de obra donde se requiera resistencia rápida, construcción de estructuras (losas, columnas, trabes, cimientos, zapatas, pisos, castillos, dalas, etc.) y fabricación de elementos de concreto (blocks, adoquines, tabicones, tanques, etc.).”

Tipo de concreto que se usara: Cemento Tipo II Compuesto (Uso general)

- Apropriado para pavimentos, pisos, puentes, tanques, embalses, tuberías, unidades de mampostería y productos de concreto prefabricado entre otras cosas. (CEMEX)

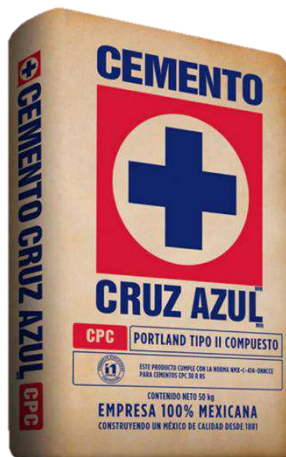


Fig. 4 Cemento marca CRUZ AZUL, el cual se usará para esta investigación.

Fuente propia, imágenes de uso libre de Google.

VII.3. Pilas alcalinas

Se utilizarán pilas alcalinas AA de dimensiones estándar de 500 mm de longitud y 14.2mm de diámetro. Estas pilas serán obtenidas de distintos centros de acopio de pilas y baterías ubicados en Querétaro, por esto mismo las pilas no serán de una solo marca en específico.

La razón del uso de este tipo de pilas y no de otros tamaños es que estas son las más comunes entre todas las que se desechan anualmente como se muestra en la figura 5.

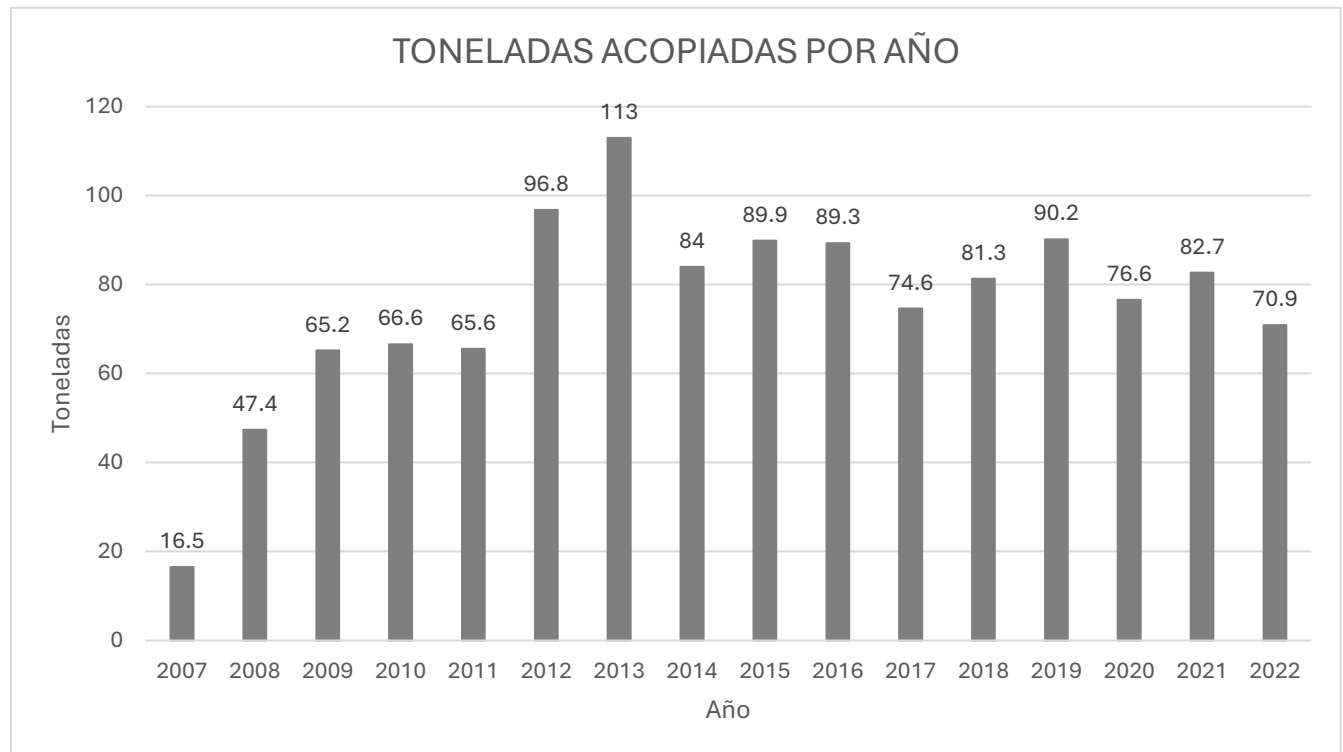


Fig. 5 Toneladas de pilas acopiadas por año. SEDEMA

Recuperada de la página oficial de la secretaria del medio ambiente.

VII.4 Métodos

VII.4.1 Caracterización de los agregados

Estos representan un 70% aproximadamente del volumen total del concreto, los cuales tiene mucha influencia en las propiedades y el desempeño de este en un estado fresco como endurecido; además de servir como un relleno económico.

Cuando estos tienen un rendimiento menor que el esperado, pueden dar como resultado un concreto trabajable y/o durable.

VII.5 Caracterización del agregado grueso

VII.5.1 Cuarteo de las muestras

De acuerdo con la norma NMX-C-170-ONNCCE-1997, los procedimientos de cuarteo permiten dividir las muestras de suelo obtenidas en campo para obtener porciones representativas y con el tamaño adecuado para los distintos ensayos y pruebas de laboratorio. La selección del método, ya sea manual o mecánico depende principalmente del volumen y peso de la muestra original, así como de la cantidad necesaria para los análisis posteriores.



Fig. 6 Cuarteador mecánico para las distintas muestras representativas a utilizar.

Fuente propia.

El equipo más utilizado para este proceso es el cuarteador (figura 6), el cual debe contar con un número par de ductos de ancho uniforme. Para suelos con partículas gruesas, la norma establece un mínimo de ocho (8) ductos, mientras que para suelos finos se requieren al menos doce (12). Estos ductos descargan alternadamente hacia cada lado del dispositivo, garantizando una división equilibrada del material.

Los cuarteadores disponibles comercialmente están diseñados para trabajar con partículas menores a 37.5 mm ($1\frac{1}{2}$ "). En el caso de materiales finos, se recomienda un cuarteador con ductos de 13 mm ($\frac{1}{2}$ ") para muestras cuyo tamaño máximo no exceda los 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ "). Finalmente, el equipo cuenta con dos recipientes rectangulares colocados a ambos lados del dispositivo, cuya función es recibir equitativamente las dos porciones de la muestra que atraviesa los ductos, asegurando así una adecuada representatividad para los análisis de laboratorio.

VII.5.2 Granulometría

La granulometría del agregado se obtendrá la norma ASTM C 33 la cual señala los requisitos de granulometría que debe cumplir el material al considerar un tamaño máximo de agregado (TMA) de 3/4" (19 mm) a 3/8" (9.5 mm). Se utilizará un juego de mallas 3/4" (19.00 mm), 1/2" (12.50 mm), 3/8" (9.50 mm) y No. 4 (4.75 mm). Ver figura 7

Para realizar esta prueba se tomará una muestra representativa del material previamente cuarteado, cribado por las mallas de 1", 3/4", 1/2", 3/8" y No. 4. Al terminar de cribar el material, se podrá obtener el peso retenido parcial del material en cada malla y así poder establecer el porcentaje que pasó en cada malla, con esto se podrá realizar la curva granulométrica correspondiente.



Fig. 7 Tamices utilizados para la granulometría de las gravas según norma ASTM C136.

Fuente propia.

VII.5.3 Porcentaje de desperdicios

El porcentaje de desperdicios en la grava se define como el porcentaje de arena contenido en una muestra de arena de peso conocido, esto quiere decir que es el material que se retenga en la malla número "4". (4.75mm).

Se utilizará la ecuación 2:

$$Edp = \frac{Pi - \sum Pr}{Pi} * 100 = \frac{5499 - 5487.4}{5499} * 100 = .218\% \quad (Ec.2)$$

Donde:

%A = Porcentaje de arena en la muestra de grava

Pasa #4 = Peso de arena que pasa la malla 4

W_{tm} = Peso total de la muestra de arena

El objetivo de esta prueba es determinar la cantidad de arena presente en la muestra de grava. Esto nos sirve para conocer en qué grado (porcentaje) la grava está contaminada por arena.

VII.5.4 Porcentaje de humedad

La humedad de los agregados gruesos se hizo de acuerdo con el procedimiento de la norma ASTM C 566. Esta prueba se refiere a la cantidad de agua que contiene la grava in situ con la finalidad de considerarla en el diseño de la mezcla.

Se utilizará la ecuación 3:

$$\%W = \frac{P_w - P_s}{P_s} * 100 = \frac{1574.4 - 1500}{1500} * 100 = 4.96\% \quad (\text{Ec.3})$$

Donde:

%W= Porcentaje de humedad (%)

P_w= Peso húmedo del material (g)

P_s= Peso secado al horno del material (g)

VII.5.6 Porcentaje de absorción

El porcentaje de absorción se determina conforme a la norma ASTM C127. Para ello, se emplean aproximadamente 500 g de material previamente sumergido en agua durante 24 horas con el fin de asegurar su completa saturación. Posteriormente, el agregado se seca superficialmente para eliminar el exceso de humedad hasta alcanzar la condición de saturado y superficialmente seco (SSS).

Una vez obtenida esta condición, la muestra se pesa y posteriormente se introduce en un horno eléctrico a una temperatura controlada de 105 ± 5 °C durante un periodo de 24 horas. Finalizado el secado, se registra el peso seco y se calcula el porcentaje de absorción mediante la ecuación 4.

$$\% \text{Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100 \quad (\text{Ec.4})$$

Donde

% absorción= Porcentaje de absorción del material (%)

B= es el peso del material en estado SSS (g)

A= es el peso seco del material (g)

VII.5.7 Peso volumétrico seco y compacto

Esta propiedad se determina conforme a los lineamientos establecidos en la ASTM C29. La norma específica que debe emplearse un recipiente metálico con una capacidad aproximada de 10 L, cuya altura sea cercana a su diámetro, con el fin de garantizar condiciones geométricas adecuadas para la prueba. Asimismo, se utiliza una varilla con punta de bala, recta y lisa, con un diámetro de 16 mm (5/8") y una longitud de 60 cm, cuyo extremo superior debe presentar una forma semiesférica. Ver Fig. 8.

La prueba se hará tomando una muestra representativa del material, la cual se debe cuartear y rellenar el recipiente de 10Lts mediante tres capas aplicadas con 25 golpes cada una de estas, el recipiente se enraza para eliminar el exceso de material y se obtendrá el peso volumétrico seco y compacto mediante la ecuación 5:

$$M = \frac{G - T}{V} = \quad (\text{Ec.5})$$

Donde:

M= peso volumétrico seco y compacto (kg/m³)

G= peso del recipiente con material (kg)

T= peso del recipiente (kg)

V= volumen del recipiente (m³)



Fig. 8 Materiales a usar para la obtención del peso volumétrico seco y compacto para gravas según Norma ASTM C29.

Fuente propia.

VII.5.8 Densidad

La determinación de esta característica se realizará siguiendo los lineamientos de la norma ASTM C127. Para ello se emplea un picnómetro de tipo sifón, conformado por un cilindro metálico con un diámetro aproximado de 163 mm y una altura cercana a 370 mm. El conducto del sifón se ubica a 250 mm de la base del recipiente. Asimismo, se utiliza una probeta graduada con capacidad de 250 ml y una precisión de 1 ml.

El procedimiento inicia con el pesado de una muestra de 500 g, la cual debe permanecer en inmersión durante un periodo de 24 h. Tras este tiempo, el agregado se seca cuidadosamente hasta alcanzar la condición de saturado superficialmente seco (SSS). Posteriormente, el material se introduce en el picnómetro para registrar el volumen desplazado y, con dicho dato, calcular la gravedad específica del agregado mediante la Ec. 6.

$$D_{rg} = \frac{P_i}{V_i * D_w} = \frac{498}{195 * 1} = 2.55 \quad (\text{Ec.6})$$

Donde:

P_i = peso del material en condición de (SSS)

V_t = volumen del agua desalojada por el material (cm³)

D_w = densidad del agua se considera igual a 1(g/cm³)

VII.6 Caracterización del agregado fino

VII.6.1 Granulometría

La granulometría del agregado fino se obtendrá en base a la norma ASTM C 33 la cual indica los requisitos con los cuales debe cumplir el material en estudio. Para realizar esta prueba se requieren de las mallas del No. 4 (4.75 mm), 8 (2.40mm), 16 (1.20mm), 30 (0.60mm), 50 (0.30mm), 100 (0.15mm) y 200(0.075mm) como se observa en la figura 9, además de un horno eléctrico y de una balanza electrónica.

Se tomará una muestra representativa del material, se dejará saturar por 24 hrs. Posteriormente el material tendrá que agitarse con una varilla y se dejará reposar, esto por la malla 200 hasta que el agua que suelte el material sea lo más limpia posible.

El material se dejará secando en un horno eléctrico durante 24 hrs, transcurrido ese tiempo la muestra seca se pesará y pasará por las mallas: No. 4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200. Una vez que haya concluido este proceso se podrá determinar la granulometría del material.



Fig. 9 Tamices utilizados para la granulometría de las arenas según Norma ASTM C136.

Fuente propia.

VII.6.2 Porcentaje de desperdicios

Se obtendrá de la misma manera que el porcentaje de desperdicios del agregado grueso, la única diferencia es que se determina el material retenido en la malla #4 y se obtendrá el peso retenido en dicha malla y el peso total de la muestra.

VII.6.3 Porcentaje de humedad

Al igual que la metodología para obtener el porcentaje de humedad en el agregado grueso, en esta sección se realizará la misma prueba en base a la norma ASTM C 566. Se usará la misma fórmula.

VII.6.4 Porcentaje de absorción

La absorción se determinará conforme a los lineamientos establecidos en la norma ASTM C128. Para el procedimiento se emplea un molde troncocónico de bronce, cuyas dimensiones aproximadas son: 40 ± 3 mm de diámetro en la parte superior, 90 ± 3 mm en la base, 75 ± 3 mm de altura y un espesor cercano a 0.8 mm. También se utiliza un pisón con una masa de 340 ± 15 g y un diámetro de 25 ± 3 mm, además de un horno eléctrico para el secado del material.

Antes de efectuar la prueba, el agregado debe permanecer en agua durante 24 h para garantizar su completa saturación. Una vez transcurrido este tiempo, se seca cuidadosamente hasta alcanzar la condición de saturado superficialmente seco (SSS).

Posteriormente, el molde se rellena y, utilizando únicamente el peso del pisón, se realizan 25 golpes de compactación en una sola capa. Al finalizar, se retira el molde y se observa si la muestra mantiene su forma. En caso de que el cono colapse, se considera que el material se encuentra en estado SSS.

Los materiales a usar se indican en la figura 10.



Fig. 10 Materiales necesarios para prueba de absorción y densidad según la Norma ASTM C127.

Fuente propia.

VII.6.5 Peso volumétrico seco y compacto

Se medirá tomando como referencia la norma ASTM C 29. De la misma manera que como se describió anteriormente para el agregado grueso, con la diferencia de que se usara un recipiente de 3 Lts, se usara la misma fórmula y los materiales se presentan en la figura 11.



Fig. 11 Materiales a usar para la obtención del peso volumétrico seco y compacto de arenas según la Norma ASTM C29.

Fuente propia.

VII.6.6 Densidad

Con ayuda de la norma ASTM C 128 se determinará esta propiedad. Se necesitará de un matraz tipo Pírex, aforado, de 500 ml. de capacidad. Para medir esta propiedad, de la prueba de absorción se tomará una muestra representativa en condición SSS. Posteriormente, se le agregó agua colocando la muestra en una bomba de vacío para extraerle el aire.

Después d extraído el aire se medirá la temperatura y se pesará el matraz con el material determinando la densidad relativa de la arena (DRA) con ayuda de la ecuación 7:

$$D_{RA} = \frac{P_s}{(P_s + P_a + A) - (P_m + m + A)} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde:

DRA= densidad relativa de la arena (adimensional)

Ps= peso del material seco (g)

PM= peso del matraz (g)

VII.7 Diseño de mezclas de concreto

Se diseñará tres mezclas de concretos sustituyendo diferentes porcentajes de agregado grueso con las pilas recicladas en las siguientes proporciones:

- 5% de sustitución
- 10% de sustitución
- 15% de sustitución

Para las mezclas se utilizará una revolvedora de medio saco para que la mezcla sea homogénea y no haya destalle alguna. Se elaborarán cilindros 12 cilindros de concreto por cada tipo de mezcla y otros 12 por cada porcentaje en las distintas mezclas dando como resultado más de 100 especímenes, de 10cm de diámetro y 20cm de altura, con base en el método del ACI (American Concrete Institute) mostrado en la figura 12, tomando como referencia también lo mencionado por el IMCYC (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto).

Consiste básicamente en los siguientes pasos:

- 1) Revenimiento necesario
- 2) Cantidad de agua necesaria para el mezclado
- 3) Selección de la relación agua/cemento
- 4) Cantidad de cemento necesaria
- 5) Cantidad de agregado grueso a usar
- 6) Cantidad de agregado fino a usar

- 7) Estimación de la cantidad de baterías a utilizar
- 8) Dosificación de la mezcla
- 9) Ajustes a las mezclas de prueba

TABLA DE DOSIFICACIÓN DE CONCRETOS - CANTIDADES POR m3 DE CONCRETO																
DISEÑO	Resistencia F'c			CEMENTO			ARENA		GRAVA		AGUA					
											Agregado Humedo		Agregado Seco		PROMEDIO	
	Kg/cm2	PSI	Mpa	Kilos	Bultos (50 Kg)	m3	Latas (19 Lts)	m3	Latas (19 Lts)	Lts.	Latas (19 Lts)	Lts.	Latas (19 Lts)	Lts.	Latas (19 Lts)	
1, 2, 2	280	4000	27	420	8.4	0.67	35	0.67	35	180	9.5	200	10.5	190	10.0	
1, 2, 2-1/2	240	3555	24	380	7.6	0.60	32	0.76	40	170	8.9	190	10.0	180	9.5	
1, 2, 3	226	3224	22	350	7.0	0.55	29	0.84	44	160	8.4	180	9.5	170	8.9	
1, 2, 3-1/2	210	3000	20	320	6.4	0.52	27	0.90	47	160	8.4	180	9.5	170	8.9	
1, 2, 4	200	2850	19	300	6.0	0.48	25	0.95	50	145	7.6	170	8.9	158	8.3	
1, 2 - 1/2, 4	189	2700	18	280	5.6	0.55	29	0.89	47	145	7.6	170	8.9	158	8.3	
1, 3, 3	168	2400	16	300	6.0	0.72	38	0.72	38	145	7.6	170	8.9	158	8.3	
1, 3, 4	159	2275	15	260	5.2	0.63	33	0.83	44	140	7.4	185	9.7	163	8.6	
1, 3, 5	140	2000	14	230	4.6	0.55	29	0.92	48	135	7.1	160	8.4	148	7.8	
1, 3, 6	119	1700	12	210	4.2	0.50	26	1.00	53	130	6.8	155	8.2	143	7.5	
1, 4, 7	109	1560	11	175	3.5	0.55	29	0.98	52	120	6.3	145	7.6	133	7.0	
1, 4, 8	99	1420	10	160	3.2	0.55	29	1.03	54	110	5.8	140	7.4	125	6.6	

Fig. 12 Tabla de diseño de mezclas de concreto Método ACI.

Recuperada de la norma ACI 211-91.

Con esto ya calculado se realizó el siguiente diseño experimental que se observa en la tabla 2:

Tabla 2. Matriz de experimentos.

RELACIÓN A/C	CURADO	PILAS	VOLUMEN (%) DE PILAS	Revenimiento	Resistencia a compresión	Modulo de ruptura (Tension diametral)	DEGRADACION (SULFATOS)
0.65	28 DIAS	SIN PILAS	0	-	3	3	3
0.65	28 DIAS	VERTICALES	5	-	3	3	3
			10	-	3	3	3
			15	-	3	3	3
			5	-	3	3	3
		HORIZONTALES	10	-	3	3	3
			15	-	3	3	3
			5	-	3	3	3
		AL AZAR	10	-	3	3	3
			15	-	3	3	3
			0	0	30	30	30

Elaboración propia.

No. de especímenes totales 90

Dando un total de 90 especímenes que se harán para la experimentación, ya teniendo esta información se procedió a realizar primeramente la mezcla ordinaria con la cual se

compararan las otras 3 mezclas a hacer, en la tabla 3 se muestra que resistencia debe de cumplir la mezcla ordinaria con la relación agua-cemento indicada en la hipótesis.

Tabla 3. Relación agua-cemento por resistencia del concreto. ACI 211.1-81

RELACION AGUA CEMENTO POR RESISTENCIA		
f'cr (28 días) kg/cm ²	Relación agua cemento de diseño por peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
210	0.68	0.59
250	0.62	0.53
280	0.57	0.48
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	---
420	0.41	
450	0.38	

Recuperada de la norma ACI 211-81.

VII.8 Prueba de Resistencia

Prueba basada en la norma ASTM C 39 (Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens), esta prueba consiste primeramente en, obtener el área transversal del cilindro de concreto (los especímenes deben tener una relación altura/diámetro de 2 a 1), posteriormente, se le aplica carga a una velocidad uniforme y continua sin producir 55 impacto ni pérdida de carga hasta alcanzar la carga máxima permisible y, a su vez, obtener la resistencia a la compresión simple, pudiendo elaborar la curva que relaciona tiempo-resistencia, con esto podremos establecer la diferencia entre concreto con pilas recicladas y concreto normal.

Se utilizará la ecuación 8:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (\text{Ec.8})$$

Donde:

f'c= esfuerzo a compresión de proyecto en kg/cm²

P= carga de ruptura en kg

A= área de la sección transversal en cm²



Fig. 13 Maquina Universal marca Fourney la cual se utilizará para las pruebas de compresión y flexión.

Fuente propia.

VII.9 p.H del concreto

El pH. de los concretos diseñados se determinará con base a la probeta hecha la cual consistirá en cilindros de concreto de 10x20cm de altura, el método a utilizar consistirá en moler el concreto y tamizarlo por la malla 200. Las muestras se harán al mezclar 10 grs. del concreto molido con 20 grs. de agua des ionizada. Posteriormente se medirá el pH. después de haber dejado reposar las muestras por un tiempo de 5 días o más.

VIII. CONDICIONES DE SEGURIDAD

VIII.1 Recolección de pilas

La recolección de las pilas será con el apoyo del área de Gestión para la Sustentabilidad de la UAQ (Anexo 1), la cual me proporcionara pilas de distintos tipos y tamaños, para la separación de las pilas a usar en este tema de investigación se usarán guantes y cubrebocas para evitar el contacto directo con las mismas o con cualquier líquido que estas puedan soltar o tener.

VIII.2 Uso de las pilas

El uso se hará en el laboratorio de geotecnia de la UAQ en el cual en su reglamento menciona que hay que portar equipo de seguridad (bata, cubrebocas, guantes si es necesario y botas con casquillo) para hacer uso de este, por lo tanto, se trabajara en un ambiente controlado.

De la misma manera todas las pilas recolectadas se separaran entre los distintos tipos de pilas que se van a usar y las que no, las que se usaran se clasificaran entre 2 grupos, el primer grupo tendrá las pilas que estén en buen estado mientras que el grupo 2 tendrá las que tengan algún detalle a simple vista y estas se descartaran. Ver figura 14

VIII.3 Desecho de los residuos especiales

Todos los desechos generados por la experimentación serán llevados al banco de materiales REURBA, el cual cuenta con certificación para tratamiento de residuos de manejo especial (Anexo 2), ubicado en Querétaro el cual con su maquinaria especializada se encargará de disgregar los concretos separando el mayor número de pilas que se puedan, así recolectando de nuevo estas para después transportarlas a los lugares correspondientes para su tratamiento.



Fig. 14 Separación y clasificación de las pilas recolectadas

Fuente propia.

IX. NORMAS PARA RESIDUOS PELIGROSOS

NOM-052-SEMARNAT-2005

Esta normativa define las propiedades, el proceso de identificación y la manera de clasificar los residuos considerados peligrosos. Además, organiza dichos residuos según sus características de riesgo y los agrupa en diversos listados, entre los cuales se incluyen:

- Aquellos provenientes de fuentes específicas o no específicas.
- Desechos de productos químicos que han caducado o que ya no cumplen con las especificaciones, incluyendo sustancias con toxicidad aguda o crónica.
- Materiales que requieren condiciones especiales para su manejo debido a su naturaleza o nivel de peligrosidad.

NOM-055-SEMARNAT-2003

Que establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

NOM-058-ECOL-1993

Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.

X. CONDICIONES ETICAS

Esta investigación no causará daños a los seres vivos ni a los animales ya que no dispondrá de la participación de estos en ninguna de sus fases, así como tampoco dispondrá de ningún servicio de alguna comunidad.

Con respecto a la generación de residuos tóxicos se tomarán todos los cuidados necesarios como se mencionó antes para no afectar la parte social y medio ambiental al estar haciendo uso de este material especial por lo que el daño a terceros será prácticamente nulo; no se hará uso alguno de materiales nanoestructurales o de carácter tecnológico difíciles de obtener. Todo el proceso para llegar a la meta de esta investigación será hecho por el autor, por lo tanto, queda fuera de todo conflicto de interés.

CAPITULO 5

XI. RESULTADOS

XI.1 Resultados de la granulometría de las gravas

Es de suma importancia el tener gravas con una granulometría correcta, los resultados de esta siguiendo la Norma ASTM C33 se muestran en la tabla 4.

Para esta prueba de laboratorio se decidió usar una muestra representativa de 5.499 Kg del material, la cual se cribó y se separó por los distintos tamices para ser pesada como se evidencia en la figura 15.



Fig. 15 Peso obtenido en cada tamiz durante el cribado de la muestra de grava elegida.

Fuente propia.

Tabla 4. Granulometría de la grava

Tamiz No:	Diámetro (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
1"	25.4	8.40	0.15	0.15	99.85
3/4"	19.05	845.90	15.42	15.57	84.43
1/2"	12.7	2,526.80	46.05	61.62	38.38
3/8"	9.52	1,094.40	19.94	81.56	18.44
No. 4	4.75	990.40	18.05	99.61	0.39
Fondo		21.50	0.39	100.00	
		5,487.40	100.00		

Fuente propia.

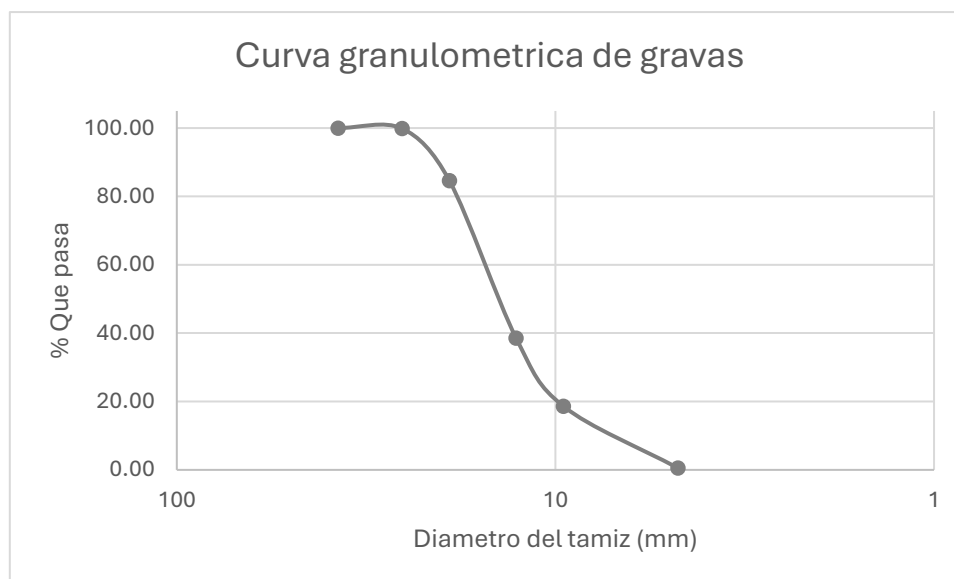


Fig. 16 Curva granulométrica de las gravas.

Fuente propia.

Como se puede observar en la Tabla 2 junto a la figura 16, la grava que se tiene un tamaño nominal de 1/2".

XI.2 Resultados de porcentajes de desperdicios

Utilizando la Ecuación 2 antes mencionada se puede obtener el porcentaje que se ha desperdiciado de la muestra de la grava seleccionada, lo cual se muestra a continuación:

$$\%A = \frac{Pasa\#4}{W_{tm}} * 100 = \frac{21.50}{5487.40} * 100 = 0.39\%$$

El desperdicio se encuentra dentro de los parámetros permitidos, ahora se continua con la obtención del error de pesada que se obtiene de la siguiente manera:

$$Edp = \frac{P_i - \sum Pr}{P_i} * 100 = \frac{5499 - 5487.4}{5499} * 100 = .218\%$$

Por lo tanto, este resultado también se encuentra dentro de los parámetros permitidos, ya que debe de ser <1%

XI.3 Resultados de humedad

Se uso una muestra significativa para la obtención de la humedad y siguiendo el procedimiento de la Norma ASTM C566 así como el uso de la Ecuación 3, el resultado fue el siguiente (ver figura 17 y 18):

$$\%W = \frac{P_w - P_s}{P_s} * 100 = \frac{7.332 - 7.262}{7.332} * 100 = 0.95\%$$



Fig. 17 Grava húmeda.

Fuente propia.



Fig. 18 Muestra de grava secándose al horno por 24 hrs como lo marca la Norma ASTM C566.

Fuente propia.

XI.4 Resultados de absorción

La Norma ASTM C127 establece los métodos para determinar la absorción de los áridos (figura 19), para este proceso se utilizó la ecuación 4 vista con anterioridad y el resultado se muestra a continuación:

$$\% \text{Absorción} = \frac{B - A}{A} * 100 = \frac{1574 - 1500}{1500} * 100 = 4.96\%$$



Fig. 19 Muestra de grava dejándose saturar por 24 hrs para la prueba de absorción.

Fuente propia.

XI.5 Resultados de peso volumétrico seco y compacto

El cálculo del peso volumétrico seco (llenado directo) y compacto (llenado por capas), así como los vacíos en los agregados es de mucha importancia debido a que estos parámetros influyen en el comportamiento de las mezclas de concreto que se hará, como la marca la Norma ASTM C29 el conocer estos valores es necesario para optimizar el diseño de las mezclas.

Esta prueba se repitió 2 veces (ver figura 20 a la 25), midiendo los valores 3 veces en cada una de estas repeticiones, la primera fue con un llenado directo del recipiente y la segunda fue por capas y comprimiendo cada una de estas.

- Primera prueba (P1G)



Fig. 22 Primer pesaje de la P1G

Fuente propia.



Fig. 21 Segundo pesaje de la P1G

Fuente propia.



Fig. 20 Tercer pesaje de la P1G

Fuente propia.

- Segunda prueba (P2G)



Fig. 24 Primer pesaje de la P2G

Fuente propia.



Fig. Segundo pesaje de la P2G

Fuente propia.



Fig. 23 Tercer pesaje de la P2G

Fuente propia.

Los valores y resultados obtenidos se presentan en la tabla 5:

Tabla 5. Peso Unitario de la grava en ambas pruebas.

Grava (Llenado directo)			Grava (Llenado por capas)		
Volumen del recipiente		0.0059 cm ³	Volumen del recipiente		0.0059 cm ³
Peso del recipiente		2.86 kg	Peso del recipiente		2.86 kg
Prueba 1	9,282.70	kg	Prueba 1	10,212.70	kg
Prueba 2	9,312.70	kg	Prueba 2	10,012.70	kg
Prueba 3	9,072.70	kg	Prueba 3	10,232.70	kg
Promedio	9,222.70	kg	Promedio	10,152.70	kg
Peso Unitario	1,563.17	kg/m ³	Peso Unitario	1,720.80	kg/m ³
Fuente propia.			Fuente propia.		

XI.6 Resultados de la densidad de las gravas

Siguiendo el procedimiento marcado en la norma ASTM C127, la densidad la cual es fundamental para determinar el peso unitario del material, lo que afecta directamente la dosificación de la mezcla, se usara la ecuación 6 para determinar la densidad por el método de volumen desplazado como se comprueba en las figuras 25 y 26.

$$D_{rg} = \frac{P_i}{V_i * D_w} = \frac{498}{195 * 1} = 2.55$$



Fig. 26 Grava en estado SSS.

Fuente propia.



Fig. 25 Volumen desplazado por la muestra de grava de 498 gr.

Fuente propia.

XI.7 Resultados de la granulometría de las arenas

Para esta prueba de laboratorio se decidió usar una muestra representativa de 1.537 Kg del material.

Los resultados de esta prueba se consiguieron siguiendo la Norma ASTM C33 y se muestran en la tabla 6 junto con la figura 28:



Fig. 27 Peso obtenido en cada tamiz durante el cribado de la muestra de arena elegida.
Fuente propia.

Tabla 6. Granulometría de la arena.

Tamiz No:	Diámetro (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Que pasa
4	4.75	102.90	7.24	7.24	92.76
10	2	207.70	14.61	21.85	78.15
30	0.6	353.40	24.86	46.70	53.30
40	0.425	23.20	1.63	48.34	51.66
60	0.25	356.90	25.10	73.44	26.56
100	0.15	149.70	10.53	83.97	16.03
200	0.074	180.40	12.69	96.66	3.34

Fondo	47.50	3.34	100.00
	1,421.70	100.00	

Fuente propia.

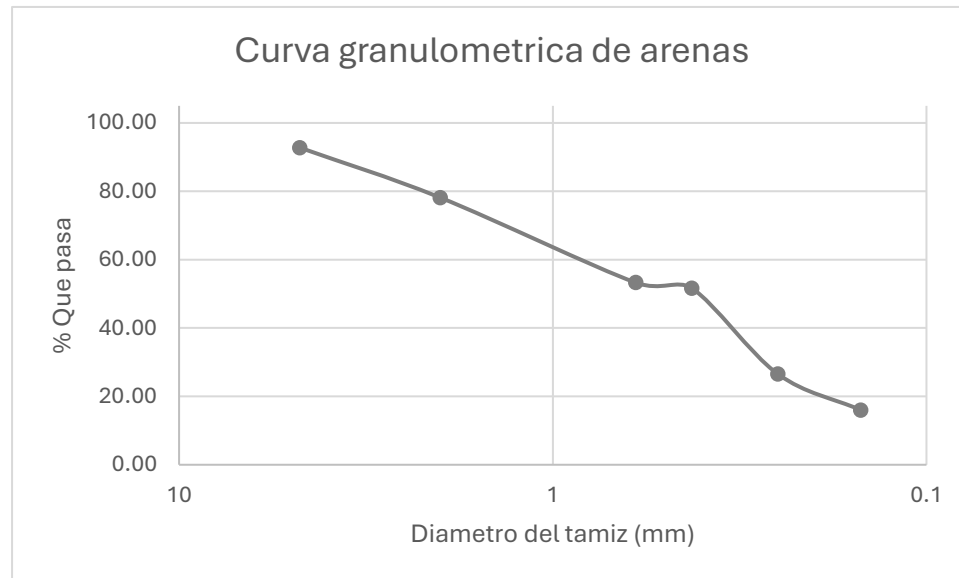


Fig. 28 Curva granulométrica de las arenas.

Fuente propia.

XI.8 Resultados de porcentajes de desperdicios

Utilizando la Ecuación 2 se puede obtener el porcentaje que se ha desperdiciado de la muestra de la arena seleccionada, lo cual se muestra a continuación:

$$\%A = \frac{Pasa \#4}{W_{tm}} * 100 = \frac{47.50}{1421.70} * 100 = 3.34\%$$

El desperdicio se encuentra dentro de los parámetros permitidos, ahora se continua con la obtención del error de pesada que se obtiene de la siguiente manera:

$$Edp = \frac{P_i - \sum Pr}{P_i} * 100 = \frac{1424 - 1421}{1424} * 100 = .210\%$$

Por lo tanto, este resultado también se encuentra dentro de los parámetros permitidos, ya que debe de ser <1%.

XI.9 Resultados de humedad

Se uso una muestra significativa de 1.5 kg para la obtención de la humedad (ver figuras 29 y 30) y siguiendo el procedimiento de la Norma ASTM C566 así como el uso de la Ecuación 3, el resultado fue el siguiente:

$$\%W = \frac{P_w - P_s}{P_s} * 100 = \frac{1537 - 1424}{1537} * 100 = 7.35\%$$



Fig. 30 Arena húmeda.
Fuente propia.



Fig. 29 Muestra de arena secándose al horno por 24 hrs como lo marca la Norma ASTM C566.
Fuente propia.

XI.10 Resultados de absorción

La Norma ASTM C127 establece los métodos para determinar la absorción de los áridos, en este caso se usará para el agregado fino como se ve en la figura 31, para este proceso se utilizó la ecuación 4 vista con anterioridad y el resultado se muestra a continuación:

$$\%Absorción = \frac{B - A}{A} * 100 = \frac{1574 - 1500}{1500} * 100 = 4.96\%$$



Fig. 31 Muestra de arena dejándose saturar por 24 hrs para la prueba de absorción.

Fuente propia.

XI.11 Resultados de peso volumétrico seco y compacto

Como la marca la Norma ASTM C29 el conocer estos valores es necesario para optimizar el diseño de las mezclas. Esta prueba se repitió 2 veces, midiendo los valores 3 veces en cada una de estas repeticiones, la primera fue con un llenado directo del recipiente y la segunda fue por capas y comprimiendo cada una de estas.

- Primera prueba (P1A)



Fig. 32 Primer pesaje de la P1A
Fuente propia.



Fig. 34 Segundo pesaje de la P1A
Fuente propia.



Fig. 33 Tercer pesaje de la P1A
Fuente propia.

- Segunda prueba (P2A)



Fig. 35 Primer pesaje de la P12
Fuente propia.



Fig. 36 Segundo pesaje de la P2A
Fuente propia.



Fig. 37 Tercer pesaje de la P2A
Fuente propia.

Los valores y resultados obtenidos se presentan en la tabla 7:

Tabla 7. Peso Unitario de la arena en ambas pruebas.

Arena (Llenado directo)			Arena (Llenado por capas)		
Volumen del recipiente	0.0022	cm3	Volumen del recipiente	0.0022	cm3
Peso del recipiente	2.26	kg	Peso del recipiente	2.26	kg
Prueba 1	2,600	kg	Prueba 1	2,710	kg
Prueba 2	2,610	kg	Prueba 2	2,720	kg
Prueba 3	2,610	kg	Prueba 3	2,750	kg
Promedio	2,607	kg	Promedio	2,727	kg
Peso Unitario	1,185	kg/m3	Peso Unitario	1,239	kg/m3

Fuente propia.

XI.12 Resultados de la densidad de las arenas

La norma ASTM C128, determina el cómo obtener la densidad, densidad relativa y absorción de los agregados finos (ver figura 38), este parámetro indica que tanto pesa el material, mayor gravedad específica significa mayor resistencia, lo cual en general es bueno para una mezcla de concreto, se utiliza la ecuación 7 para obtener este dato:

$$Densidad = \frac{A}{(B + S - C)} = \frac{500}{(500.5 + 502.085 - 752.7)} = 2.00$$



Fig. 38 Proceso de obtención de la densidad de arena.

Fuente propia.

XII. DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO CON PILAS Y LA MEZCLA ORDINARIA

Se realizó una prueba preliminar de material para la dosificación de cada cilindro de 10x20 individualmente para la mezcla ordinaria, luego de analizar los resultados y corregir la dosificación de cada material se obtuvieron los datos por cada tipo de material que se muestra en las tablas 8 a la 12.

Tabla 8. Cantidad de materiales necesarios para un espécimen en una mezcla sin pilas.

No. De cilindros	1	Vol. Total de los cilindros	0.002	m3
Material	Para 1m3 de 200 kg/cm2	Para el volumen de esta tabla		
Cemento	6.4	0.010 bultos	=	0.503 kg
Arena	0.48	0.001 m3	=	1.012 kg
Agua	9.6	0.015 botes	=	0.287 lts
Pilas	0	0.000 pzs	=	0.000 pzs
Grava	0.95	0.001 m3	=	2.433 kg

Elaboración propia.

Tabla 9. Cantidad de materiales necesarios para un espécimen en una mezcla con 5% de pilas.

No. De cilindros	1	Vol. Total de los cilindros	0.002	m3
Material	Para 1m3 de 200 kg/cm2	Para el volumen de esta tabla		
Cemento	6.4	0.010 bultos	=	0.503 kg
Arena	0.48	0.001 m3	=	1.012 kg
Agua	9.6	0.015 botes	=	0.287 lts
Pilas	0	0.000 pzs	=	5.068 pzs
Grava	0.95	0.001 m3	=	2.433 kg
Correccion de grava				2.311 kg
Correccion agua				0.305 lts

Elaboración propia.

Tabla 10. Cantidad de materiales necesarios para un espécimen en una mezcla con 10% de pilas.

No. De cilindros	1	Vol. Total de los cilindros	0.002	m3
Material	Para 1m3 de 200 kg/cm2	Para el volumen de esta tabla		
Cemento	6.4	0.010 bultos	=	0.503 kg
Arena	0.48	0.001 m3	=	1.012 kg
Agua	9.6	0.015 botes	=	0.287 lts
Pilas	0	0.000 pzs	=	10.136 pzs
Grava	0.95	0.001 m3	=	2.433 kg
Correccion de grava				2.189 kg
Correccion agua				0.305 lts

Elaboración propia.

Tabla 11. Cantidad de materiales necesarios para un espécimen en una mezcla con 15% de pilas.

No. De cilindros	1	Vol. Total de los cilindros	0.002	m3
Material	Para 1m3 de 200 kg/cm2	Para el volumen de esta tabla		
Cemento	6.4	0.010 bultos	= 0.503	kg
Arena	0.48	0.001 m3	= 1.012	kg
Agua	9.6	0.015 botes	= 0.287	lts
Pilas	0	0.000 pzs	= 15.205	pzs
Grava	0.95	0.001 m3	= 2.433	kg
Correccion de grava			2.068	kg
Correccion agua			0.305	lts

Elaboración propia.

Tabla 12. Cantidad de materiales necesarios para un espécimen en una mezcla con 20% de pilas.*

No. De cilindros	1	Vol. Total de los cilindros	0.002	m3
Material	Para 1m3 de 200 kg/cm2	Para el volumen de esta tabla		
Cemento	6.4	0.010 bultos	= 0.503	kg
Arena	0.48	0.001 m3	= 1.012	kg
Agua	9.6	0.015 botes	= 0.287	lts
Pilas	0	0.000 pzs	= 20.273	pzs
Grava	0.95	0.001 m3	= 2.433	kg
Correccion de grava			1.946	kg
Correccion agua			0.305	lts

Elaboración propia.

**Nota: La mezcla con 20% de pilas se hizo una vez con varios especímenes y al hacer las pruebas de compresión se vio que bajo mucho la resistencia, por lo tanto, se desechó y ya no se siguió usando.*

La elección del molde anteriormente mencionado fue por dos razones, en primer lugar, la optimización de los recursos a usar, así como minimizar al máximo el uso de las pilas y para que los especímenes sean menos pesados y se puedan manipular de una mejor manera.

XII.1 Realización de las mezclas

Con respecto a la mezcla natural que se puede observar en la Fig. 39 y en la Fig. 40 no se tuvo mayor problema en ningún momento, sin embargo, como se puede observar en la Fig. 41 y Fig. 42 al momento de vaciar en el molde una de las mezclas preliminares con pilas, estas al

parecer no tienen tan buena adherencia a la mezcla en sí y causa que las mismas tiendan a subir a la superficie.



Fig. 40. Realización de la mezcla de concreto natural.

Fuente propia.



Fig. 39. Vaciado de la mezcla natural de concreto.

Fuente propia.



Fig. 42. Vaciado de la mezcla preliminar con pilas.

Fuente propia.



Fig. 41. Vaciado de la mezcla preliminar con pilas.

Fuente propia.

Como estas solo fueron pruebas preliminares para ir conociendo el comportamiento de los materiales, los cilindros se pusieron a curar en un recipiente aparte, ver Fig. 43.



Fig. 43. Curado de los cilindros.

Fuente propia.

A raíz de esto, para las primeras probetas de resistencia a compresión se tuvieron que cabecear los cilindros que tenían la mezcla con pilas con azufre, como se observa en la Fig. 44. Esto con el cuidado que se requiere al hacerlo ya que el azufre es un material que puede ser toxico para la salud.



Fig. 44. Cabeceo de los cilindros con azufre.

Fuente propia.

XIII. RESULTADOS PRELIMINARES

XIII.1 Pruebas preliminares que se realizaron

Se realizaron pruebas preliminares de las características que se quieren dar a conocer en este trabajo de investigación, los resultados que se obtuvieron de las mismas se pueden observar en las tablas 15, 16, 17, 18, 19 y 20.

Esto se realizó con el fin de al momento de hacer los especímenes finales se tengan los menores errores posibles en los resultados de las pruebas que se harán, así como para saber cuánto material se usara en total y poder disponer del mismo sin problema alguno. Si se requiere ver la evidencia fotográfica de estas pruebas se pueden ver en el Anexo 3.

Tabla 13. Densidad y revenimiento de las pruebas preliminares.

DISEÑO DE MEZCLAS			
Prueba No.	Tipo de Mezcla	Densidad (kg/m ³)	Revenimiento (cm)
1	Normal	2,200.734	4
	5% de pilas	2,176.271	3
	10% de pilas	2,110.121	3
	15% de pilas	2,154.985	2
	20% de pilas	2,126.340	2

Elaboración propia.

Tabla 14. Resultados de pruebas a compresión y tensión de la mezcla sin pilas en pruebas preliminares.

MEZCLA SIN PILAS				
Cilindro No.	Golpes al compactar	Resistencia a compresion (Kg/cm ²)	Modulo de ruptura (kg/cm ²)	Porcentaje Representativo de la resistencia a compresión (%)
1	25	133.101	11.345	8.524
2	25	158.192	12.137	7.672
3	30	178.311	11.932	6.692
4	30	140.5	13.406	9.542
5	35	172.723	14.284	8.270
6	35	188.338	13.792	7.323

Elaboración propia.

Tabla 15. Resultados de pruebas a compresión y tensión de la mezcla con 5% de pilas en pruebas preliminares.

MEZCLA CON 5% DE PILAS				
Cilindro No.	Acomodo de pilas	Golpes al compactar	Resistencia a compresion (Kg/cm ²)	Modulo de ruptura (kg/cm ²)
1	Al azar	25	149.7	6.868
2	Al azar	30	124.12	6.822
3	Horizontal	35	128.33	11.99
4	Horizontal	25	122.12	12.39
5	Vertical	30	64.93	6.783
6	Vertical	35	65.21	6.201

Elaboración propia.

Tabla 16. Resultados de pruebas a compresión y tensión de la mezcla con 10% de pilas en pruebas preliminares.

MEZCLA CON 10% DE PILAS				
Cilindro No.	Acomodo de pilas	Golpes al compactar	Resistencia a compresion (Kg/cm2)	Modulo de ruptura (kg/cm2)
1	Al azar	25	140.87	5.345
2	Al azar	30	132.27	6.91
3	Horizontal	35	124.6	11.34
4	Horizontal	25	139.98	12.45
5	Vertical	30	70.71	5.88
6	Vertical	35	66.05	6.374

Elaboración propia.

Tabla 17. Resultados de pruebas a compresión y tensión de la mezcla con 15% de pilas en pruebas preliminares.

MEZCLA CON 15% DE PILAS				
Cilindro No.	Acomodo de pilas	Golpes al compactar	Resistencia a compresion (Kg/cm2)	Modulo de ruptura (kg/cm2)
1	Al azar	25	110.12	5.339
2	Al azar	30	138.65	5.001
3	Horizontal	35	124.22	11.587
4	Horizontal	25	129.97	11.25
5	Vertical	30	61.44	4.187
6	Vertical	35	64.88	4.301

Elaboración propia.

Tabla 18. Resultados de pruebas a compresión y tensión de la mezcla con 20% de pilas en pruebas preliminares.

MEZCLA CON 20% DE PILAS				
Cilindro No.	Acomodo de pilas	Golpes al compactar	Resistencia a compresion (Kg/cm2)	Modulo de ruptura (kg/cm2)
1	Al azar	25	105.55	4.023
2	Al azar	30	106.27	4.581
3	Horizontal	35	115.39	11.91
4	Horizontal	25	120.59	11.01
5	Vertical	30	65.52	5.015
6	Vertical	35	69.34	4.177

Elaboración propia.

Analizando los resultados obtenidos se realizaron correcciones en cuanto al diseño de las distintas mezclas para poder mejorar la densidad, el revenimiento y su resistencia. Así como en el

número de golpes al compactar los especímenes, ya que se observó que con 35 golpes no salían a flote las pilas usadas al momento de hacer los mismos.

Teniendo así los siguientes resultados en la Tabla 21 en el diseño de las mezclas para todos los especímenes a usar después de las correcciones hechas.

Tabla 19. Dosificación de materiales para cada tipo de mezcla.

MATERIALES PARA MEZCLA EN REVOLVEDORA (24 CILINDROS MAS 4 POR PERDIDA)					
Tipo de Mezcla	Arena (kg)	Grava (kg)	Agua (Lts)	Cemento (kg)	Pilas (pzs)
Sin Pilas	20.306	44.37	11	11.726	0
5% de Pilas	20.306	32.054	11	11.726	110
10% de Pilas	20.306	30.866	11	11.726	220
15% de Pilas	20.306	28.974	11	11.726	330

Elaboración propia.

Como se observa, no cambia la proporción de la arena, agua ni cemento, solo el de la grava, ya que como lo marca la hipótesis, solo se hace el cambio del material grueso por las pilas en los porcentajes ya mencionados antes. Como adicional se muestran también las tablas de dosificación para cada espécimen por separado por tipo de mezcla en el Anexo 4.

XIV. RESULTADOS FINALES

XIV.1 Densidad

Para la medición de la densidad en las mezclas con pilas, estas se pudieron manualmente dependiendo en que posición iban como se ve en la figura 45, esto para tomar una medición más precisa al momento de obtener la densidad de cada mezcla y saber si en realidad la posición de las pilas afecta o no a esta característica.

En la tabla 22 se puede ver el resultado de las densidades obtenidas.



Fig. 45 Acomodo de las pilas manualmente dependiendo la posición en la cual se requiera poner.

Fuente propia.

Tabla 20. Densidad y revenimiento por tipo de mezcla.

DISEÑO DE MEZCLAS			
Prueba	Tipo de Mezcla	Densidad (kg/m ³)	Revenimiento (cm)
Final	Normal	2,367.002	6
	5% de pilas	2,293.173	5
	10% de pilas	2,238.467	5
	15% de pilas	2,217.550	6
	20% de pilas	2,150.345	7

Elaboración propia.

XIV.2 Revenimiento

Este ensayo mide la trabajabilidad de la mezcla de concreto por medio de la altura después del asentamiento, es decir que tan fácil o difícil puede llegar a ser su manejo, uso y colocación.

Se realizó una medición en cm por cada tipo de mezcla que se hizo, y al igual que en la densidad, se trató de ir acomodando en lo posible las pilas manualmente en las diferentes posiciones que se requería para tener un dato más exacto.

Los datos registrados del revenimiento de las distintas mezclas se pueden ver en la tabla 20 anteriormente mostrada y en la figura 46 parte del proceso.



Fig. 46 Parte del proceso de la obtención del revenimiento de la mezcla.

Fuente propia.

XIV.3 Vaciado de mezclas, desmoldado y curado de los especímenes.

Para esta investigación se usarán especímenes de 10cm de diámetro por 20cm de altura como se mencionó en un apartado anterior, por dos razones principales, la primera es economizar en el material usado y dos, debido al agregado que se usara (pilas) no se quiere utilizar en exceso para poder tener la menor contaminación que estas puedan provocar.

Los moldes para los cilindros se engrasan para que la mezcla no se quede pegado a los mismo, después se llena por capas como lo marca la Norma ASTM C31, usando una varilla para la

compactación de cada una, esto con el fin de eliminar los posibles vacíos que puedan aparecer al verter la mezcla en el molde y así tener un espécimen más uniforme.

Los especímenes se deben de desmoldar después de 24 hrs para seguidamente meterlos a la cámara de curado durante el periodo que sea necesario según la resistencia que se quiera alcanzar. En la figura 47 se muestra el vaciado de las distintas mezclas con pilas y el cómo se trataron de agregar manualmente en cada posición distinta.



Fig. 47 Vaciado de mezcla con pilas, colocando las pilas manualmente en las siguientes posiciones: al azar, vertical y horizontal respectivamente.

Fuente propia.

Para el desmoldado (figura 48) y curado de los especímenes (figura 49), simplemente se separaron por porcentaje de pilas y por posición de estas.



Fig. 48 Desmoldado de los distintos especímenes.

Fuente propia.

Al momento de llevar los especímenes a la cámara de curado, esta debe de tener un taque de curado con agua a una temperatura de entre 23 ± 2 °C, ahí se deben de mantener el tiempo que se necesario hasta el momento en el que se quieran ensayar, este paso es importante para el correcto desarrollo de la resistencia del concreto, evitar fisuras y aumentar la durabilidad del concreto.



Fig. 49 Curado de los especímenes de concreto.

Fuente propia.

XIV.4 Grafica esfuerzo deformación

La gráfica de esfuerzo-deformación es una representación gráfica que muestra la relación entre una carga aplicada a un material y la deformación que experimenta este mismo. Esta determina las propiedades mecánicas clave de algún material, como lo son su resistencia, ductilidad, elasticidad ect., lo que es fundamental para la selección de materiales en ingeniería.

En el caso específico de este tipo de mezcla que es una la cual ya ha sido modificada con un material no común, este valor es solo una estimación y puede variar mucho, ya que los resultados dependen de los agregados y del cemento, así como las condiciones de curado.

Para esta prueba se utilizaron especímenes de 30x15cm ya que estos son mas adecuados para la colocación de los anillos de deformación que se muestran en la Fig. 50, instrumento necesario para la obtención de la gráfica esfuerzo-deformación, así como el módulo de elasticidad.



Fig. 50 Anillos de deformación colocados sobre los especímenes de 30x15cm.

Fuente propia.

De la Fig. 51 a la 54 se muestran las gráficas como tal de cada una de las distintas mezclas, la mezcla natural, con 5% de agregado fino en vez de pilas, 10% y 15%.

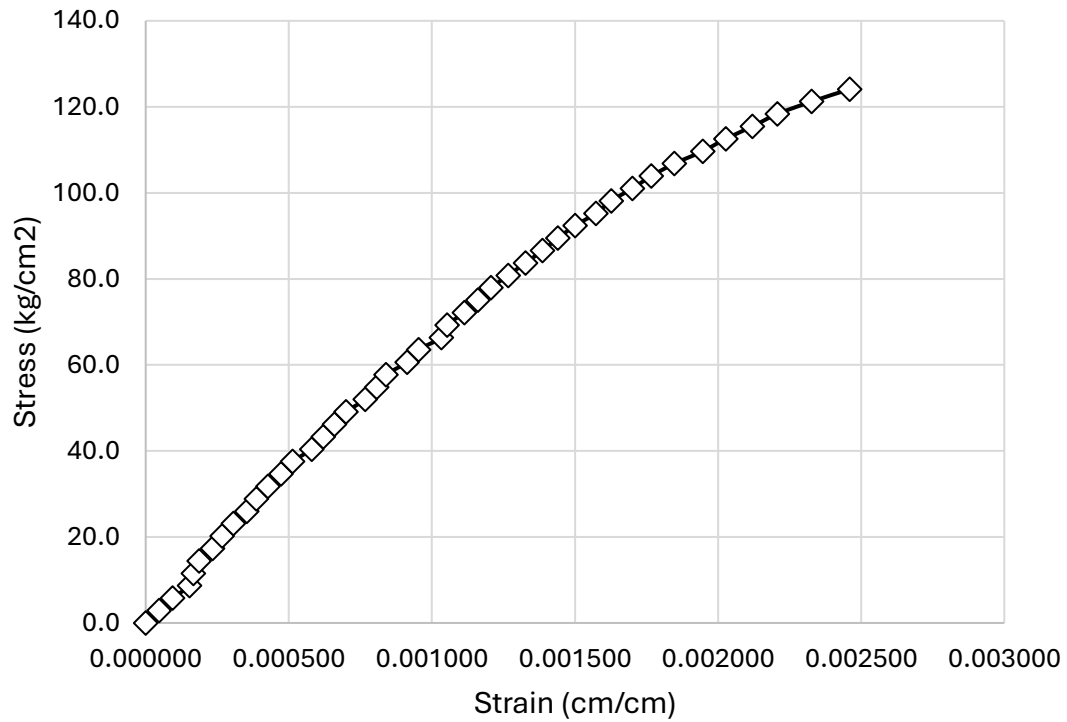


Fig. 51 Grafica Esfuerzo-Deformación de la mezcla con 5% de pilas.
Elaboración propia.

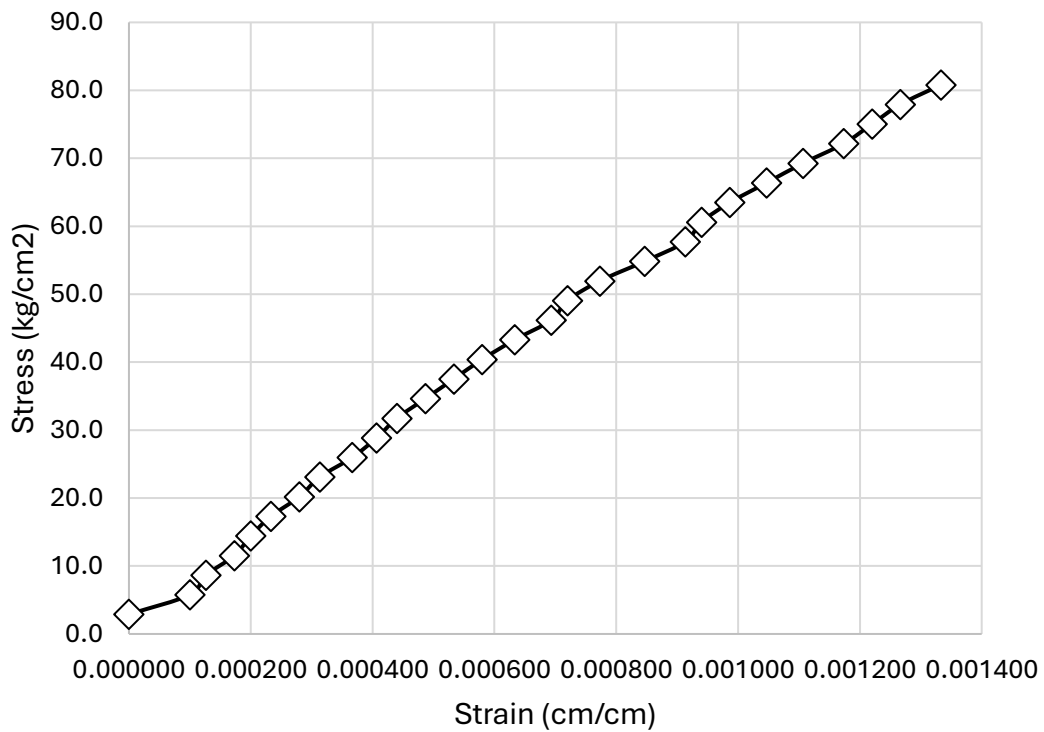


Fig. 52 Grafica Esfuerzo-Deformación de la mezcla con 10% de pilas.
Elaboración propia.

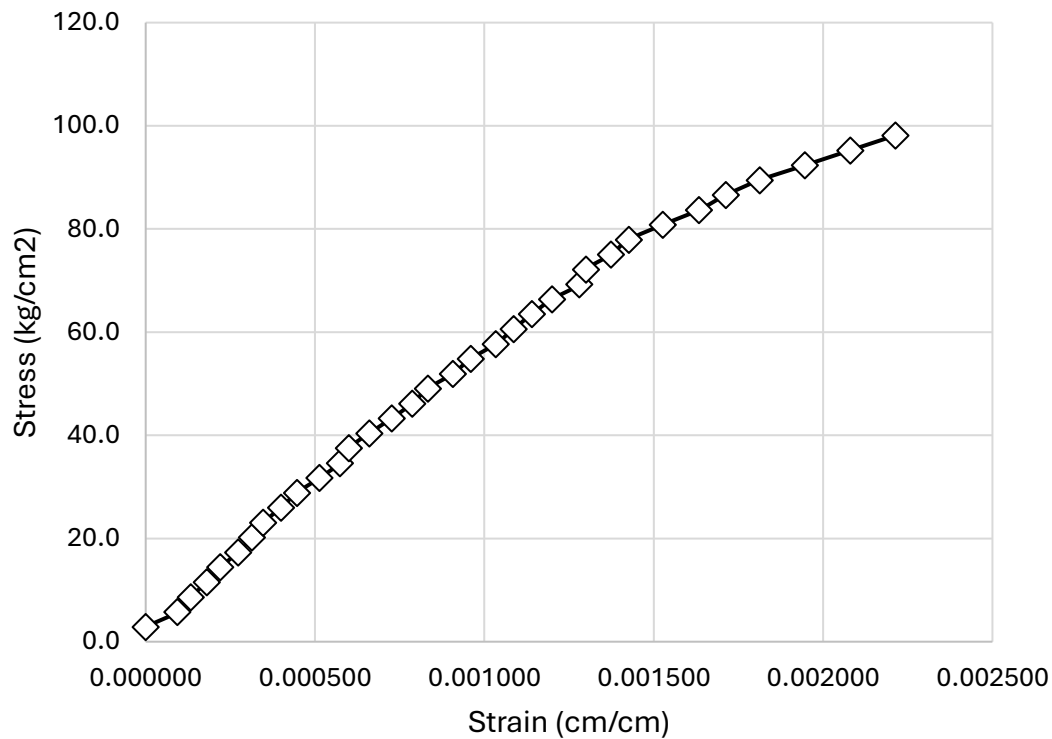


Fig. 53 Grafica Esfuerzo-Deformación de la mezcla con 15% de pilas.

Elaboración propia.

Un módulo elástico alto significa mayor rigidez, lo que quiere decir que es difícil de deformar o estirar bajo tensión, ya que se requiere de mucha fuerza para que el material tenga un cambio significativo.

Al contrario de un módulo elástico bajo que significa mayor flexibilidad, se deforma fácilmente bajo una carga y en este caso el material vuelve a su forma original una vez que la fuerza aplicada se retire.

En la tabla 23 se muestran los resultados de la prueba con los anillos de deformación.

Tabla 21. Modulo elástico de las mezclas con pilas.

Tipo de mezcla	Modulo elastico (Kg/cm2)
Mezcla con 5% de pilas	59,271.16
Mezcla con 5% de pilas	56,593.10
Mezcla con 5% de pilas	45,261.61

Elaboración propia.

XIV.5 Prueba a compresión

Los especímenes para la aceptación o rechazo de concreto deben ensayarse a la edad especificada con las siguientes tolerancias marcadas en la tabla 24; sin embargo, para este trabajo solo se tomó en cuenta la edad de 28 días que es a la cual alcanza su mayor resistencia.

Tabla 22. Tolerancia permitida para ensaye de especímenes. ASTM C109.

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
7 días	Mas menos 6 hrs
14 días	Mas menos 12 hrs
28 días	Mas menos 20 hrs

Recuperada de la norma ASTM C 109.

Para esta prueba se utilizó la maquina universal Forney de 150 ton., así como 2 bases de metal con almohadillas de neopreno como se puede ver en la figura 50; para que la fuerza aplicada sea lo más uniforme posible y los resultados sean más acertados, la norma que regula el uso del neopreno en esta prueba es la ASTM C 1231. Se usaron estas almohadillas en vez del azufre debido a que como se mencionó antes, este último es nocivo para la salud.



Fig. 54 Almohadillas de neopreno usadas en la prueba de compresión simple para cilindros de 10 x 20 cm.

Fuente propia.

De la figura 55 a la 64 se puede ver una pequeña compilación de los diferentes cilindros (sin pilas, con 5% de pilas, con 10% de pilas y con 20% de pilas) y sus fallas al terminar la prueba a compresión. Si se quiere ver más imágenes de esta prueba consultar el Anexo 3.

XIV.5.1 Cilindros naturales (N-SP)



Fig. 55 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.

Elaboración propia.

XIV.5.2 Cilindros con 5% de Pilas Aleatorias (5%A)



Fig. 56 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.

Elaboración propia.

XIV.5.3 Cilindros con 5% de Pilas Verticales (5%V)



Fig. 57 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.

Elaboración propia.

XIV.5.4 Cilindros con 5% de Pilas Horizontales (5%H)



Fig. 58 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.

Elaboración propia.

XIV.5.5 Cilindros con 10% de Pilas Aleatorias (10%A)



Fig. 59 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.

Elaboración propia.

XIV.5.6 Cilindros con 10% de Pilas Verticales (10%V)



Fig. 60 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.

Elaboración propia.

XIV.5.7 Cilindros con 10% de Pilas Horizontales (10%H)



Fig. 61 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.
Elaboración propia.

XIV.5.8 Cilindros con 15% de Pilas Aleatorias (15%A)



Fig. 62 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.
Elaboración propia.

XIV.5.9 Cilindros con 15% de Pilas Verticales (15%V)



Fig. 63 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.
Elaboración propia.

XIV.5.10 Cilindros con 15% de Pilas Horizontales (15%H)



Fig. 64 Cilindros ensayados a compresión a 28 días.

Elaboración propia.

En la tabla 25 que se presenta a continuación se muestran los resultados en kg/cm² de esta prueba, además se da un promedio por tipo de mezcla de cuanto fue la resistencia final.

Tabla 23. Valores obtenidos de compresión a 28 días de las diferentes mezclas.

Tipo de Mezcla	Cilindro No.	Peso (kg)	Promedio del peso (kg)	Resistencia a compresión-RCS(Kg/cm ²)	Promedio de la resistencia a compresión (Kg/cm ²)
N-SP	1	3.544	3.530	210.629	228.045
	2	3.563		255.440	
	3	3.52		225.104	
	4	3.493		221.005	
5%A	1	3.325	3.326	150.101	186.215
	2	3.364		223.184	
	3	3.289		185.361	
5%V	1	3.27	3.274	216.575	174.793
	2	3.215		160.080	
	3	3.337		147.725	
5%H	1	3.307	3.294	186.565	181.604
	2	3.28		194.431	
	3	3.065.7		163.815	
10%A	1	3.312	3.333	103.866	131.228
	2	3.353		164.420	
	3	3.149.8		125.399	
10%V	1	3.332	3.266	183.433	177.672
	2	3.331		199.979	
	3	3.136		149.604	
10%H	1	3.312	3.242	196.638	179.992
	2	3.297		173.346	
	3	3.116		169.991	
15%A	1	3.3	3.216	175.220	160.985
	2	3.276		147.627	
	3	3.073		160.109	
15%V	1	3.253	3.198	133.101	146.964
	2	3.244		152.015	
	3	3.098		155.777	
15%H	1	3.247	3.193	85.533	135.549
	2	3.166		217.833	
	3	3.166		103.279	

Elaboración propia.

XIV.6 Prueba a tensión diametral

La prueba de tensión diametral o indirecta en especímenes cilíndricos de concreto esta normada por la ASTM C496 y dicta que es una prueba complementaria al ensayo a compresión simple y evalúa el comportamiento del concreto frente a los esfuerzos de tracción. Dicha propiedad es de suma importancia para predecir el comportamiento del concreto bajo cargas indirectas o en elementos ya sean estructurales o no sometidos a una tracción.

Para la realización de esta prueba se utilizará una maquina universal de 50kn, equivalentes a 5 toneladas, la cual se muestra en la figura 65 un aparato de ensayo especialmente diseñada para este fin, la cual se muestra en la figura 66, la cual tiene una barra de apoyo suplementaria que es la que hace que la fuerza aplicada sea uniforme longitudinalmente al espécimen.

De la figura 67 a la 76 se muestran las fallas y fisuras que se originaron en cada tipo de espécimen. Si se quiere ver más imágenes de esta prueba consultar el Anexo 4.



Fig. 65 Maquina universal de 50kn, marca AUTOGRAPH.

Fuente propia.



Fig. 66 Aparato de ensayo para la prueba de tensión diametral.

Fuente propia.

XIV.6.1 Cilindros sin pilas (N-SP)

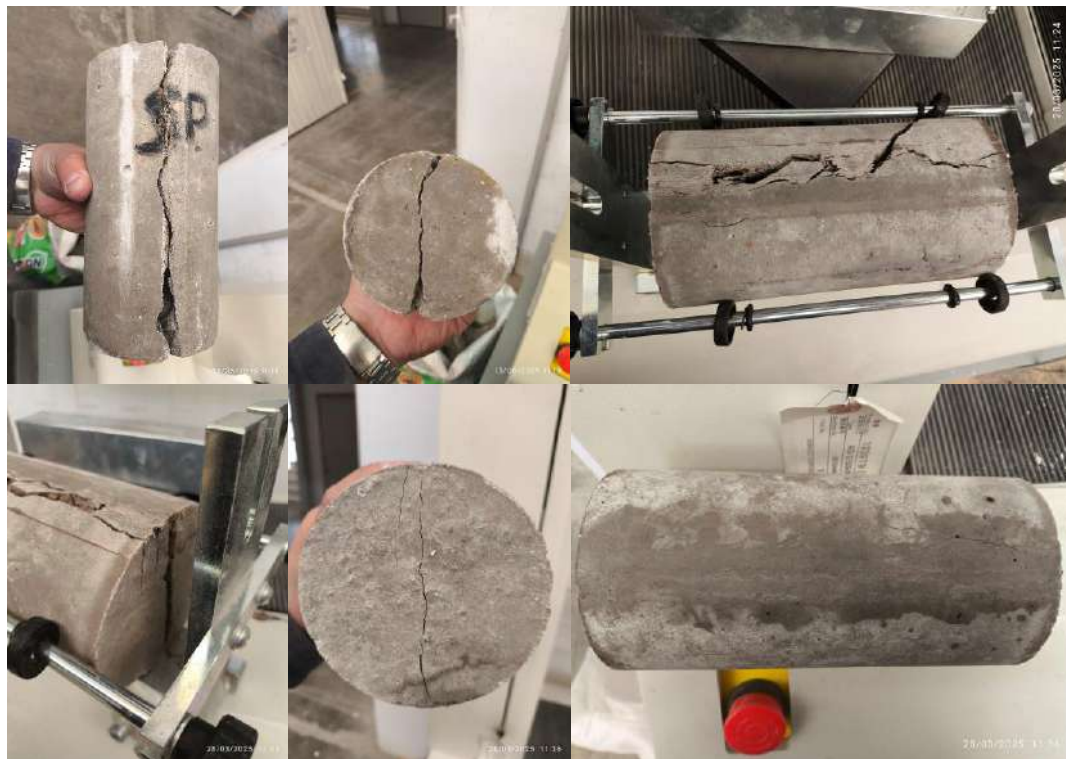


Fig. 67 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.

Fuente propia.

XIV.6.2 Cilindros con 5% de Pilas Aleatorias (5%A)



Fig. 68 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.

Fuente propia.

XIV.6.3 Cilindros con 5% de Pilas Verticales (5%V)



Fig. 69 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.

Fuente propia.

XIV.6.4 Cilindros con 5% de Pilas Horizontales (5%H) *



Fig. 70 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.

Fuente propia.

XIV.6.5 Cilindros con 10% de Pilas Aleatorias (10%A)



Fig. 71 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.

Fuente propia.

XIV.6.6 Cilindros con 10% de Pilas Verticales (10%V)



Fig. 72 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.

Fuente propia.

XIV.6.7 Cilindros con 10% de Pilas Horizontales (10%H) *



Fig. 73 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.

Fuente propia.

XIV.6.8 Cilindros con 15% de Pilas Aleatorias (15%A)



Fig. 74 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.

Fuente propia.

XIV.6.9 Cilindros con 15% de Pilas Verticales (15%V)



Fig. 75 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.

Fuente propia.

XIV.6.10 Cilindros con 15% de Pilas Horizontales (15%H) *

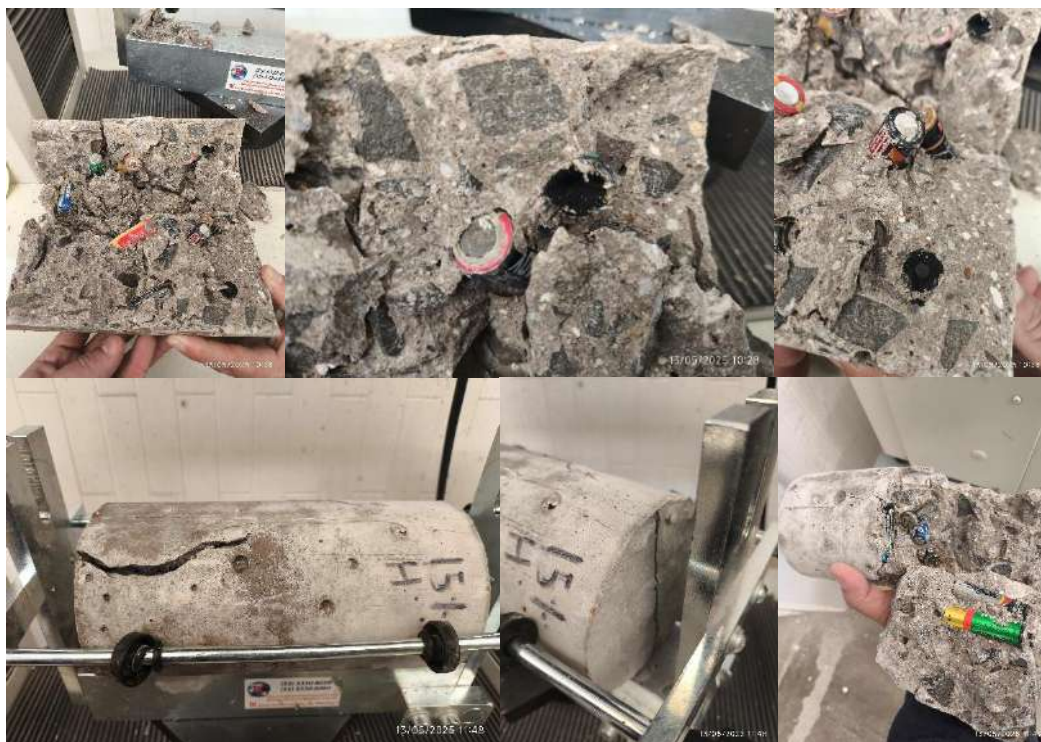


Fig. 76 Cilindros ensayados a tensión diametral 28 días.

Fuente propia.

Los resultados obtenidos de esta prueba son mostrados en la tabla 26, esto fue a los 28 días de curado, al igual que se agregó una columna que relaciona el porcentaje significativo de la prueba a tensión diametral con respecto a la prueba de compresión; esto con la finalidad de probar que como dicen varios autores (Nanni, 1993; Magenes, 1997; Tomazevic 1999) esta prueba representa entre un 7% y un 15% de la resistencia compresión simple en los concretos.

Tabla 24. Resultados de la prueba a tensión diametral y su equivalente en porcentaje con respecto a la prueba de compresión.

Tipo de Mezcla	Cilindro No.	Peso (kg)	Promedio del peso (kg)	Resistencia a tensión diametral-RTD (Kg/cm2)	Promedio de la resistencia a tensión diametral (Kg/cm2)	Porcentaje de RTD representativo de la RCS (%)
N-SP	1	3.513	3.516	16.398	15.582	7.8
	2	3.601		15.232		6.0
	3	3.437		16.377		7.3
	4	3.514		14.323		6.5
5%A	1	3.315	3.308	12.484	11.695	8.3
	2	3.240		11.325		5.1
	3	3.370		11.278		6.1
5%V	1	3.272	3.321	13.515	12.751	6.2
	2	3.363		10.875		6.8
	3	3.327		13.864		9.4
5%H	1*	3.245	3.276	15.056	12.512	8.1
	2	3.303		13.180		6.8
	3	3.281		9.300		5.7
10%A	1	3.254	3.288	12.355	11.508	11.9
	2	3.345		10.737		6.5
	3	3.264		11.431		9.1
10%V	1*	3.355	3.327	13.563	11.667	7.4
	2	3.409		8.976		4.5
	3	3.216		12.461		8.3
10%H	1	3.324	3.333	13.886	11.647	7.1
	2	3.384		11.119		6.4
	3	3.290		9.935		5.8
15%A	1*	3.378	3.305	15.113	13.948	8.6
	2	3.224		13.044		8.8
	3	3.314		13.686		8.5
15%V	1	3.276	3.257	10.629	11.611	8.0
	2	3.221		9.410		6.2
	3*	3.274		14.794		9.5
15%H	1	3.288	3.263	13.858	13.929	16.202
	2*	3.262		14.322		6.575
	3	3.238		13.608		13.176

Elaboración propia.

Como se observa en la tabla anterior hay algunos especímenes en la columna de “Cilindro No.” que están marcados con un asterisco (*) y encerrados en un rectángulo rojo, esto significa que dichos especímenes fueron un caso particular, cada uno de estos tuvieron al menos una pila que se partió a la mitad o que se aplasto durante la prueba; se puede ver esto más a detalle en la figura 77 y 78.

Este comportamiento causó una reacción particular la cual al momento que la fuerza aplicada llega a esas pilas, estas hacen que suba un poco más la resistencia, sin embargo, cuando se van rompiendo, la resistencia va bajando y en unos segundos después vuelve a subir debido a que terminan de romperse o de aplastarse, creando así un pico el cual se muestra en las figuras 78, 80, 82, 83 y 84.



Fig. 77 Pilas que se rompieron a la mitad durante la prueba de RTD.

Fuente propia.



Fig. 78 Pilas que se aplastaron durante la prueba de RTD.

Fuente propia.

Las siguientes graficas (figura 79 a la 88) son las más representativas de todas las obtenidas en el proceso de la prueba de RTD, en estas se muestra en un cuadro de texto la resistencia a la tracción máxima soportada para saber de cual espécimen de la tabla 23 se está hablando, también se muestra una comparación de especímenes usados por tipo de mezcla y porcentaje de pilas en las figuras 89 a la 98.

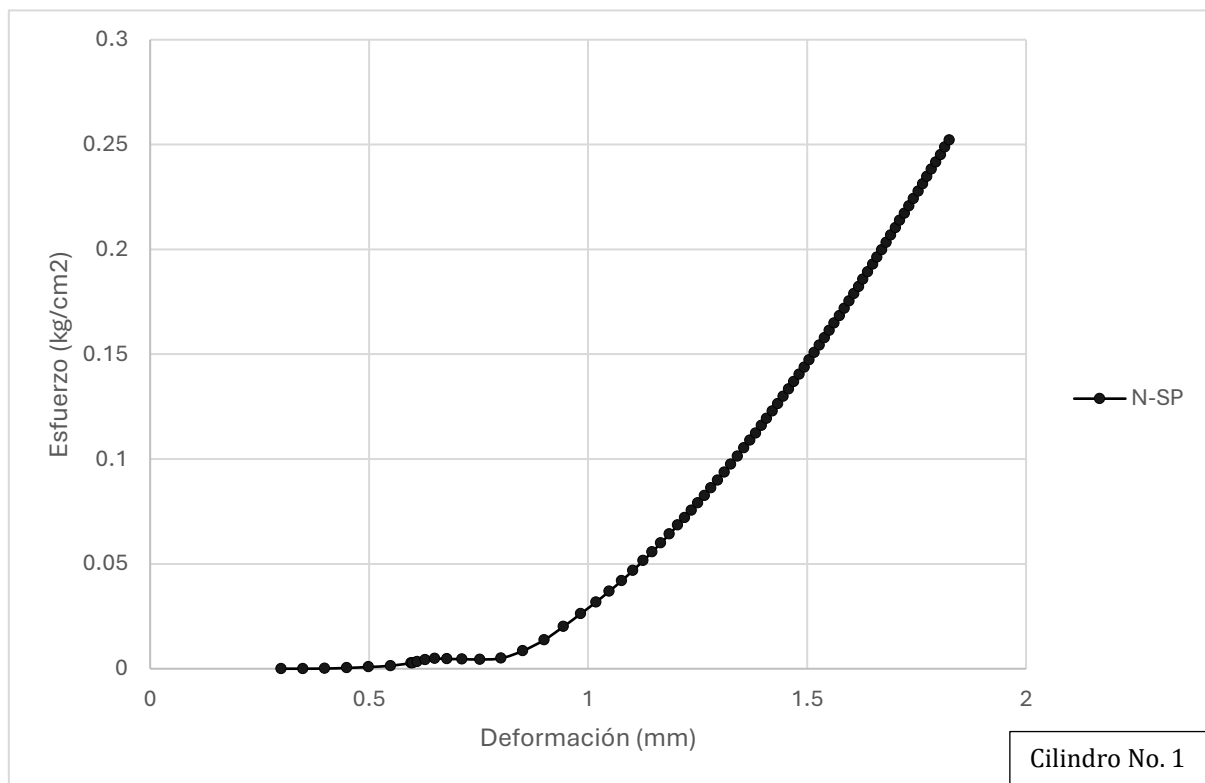


Fig. 79 Gráfica Esfuerzo-Deformación de un cilindro N-SP.
Elaboración propia.

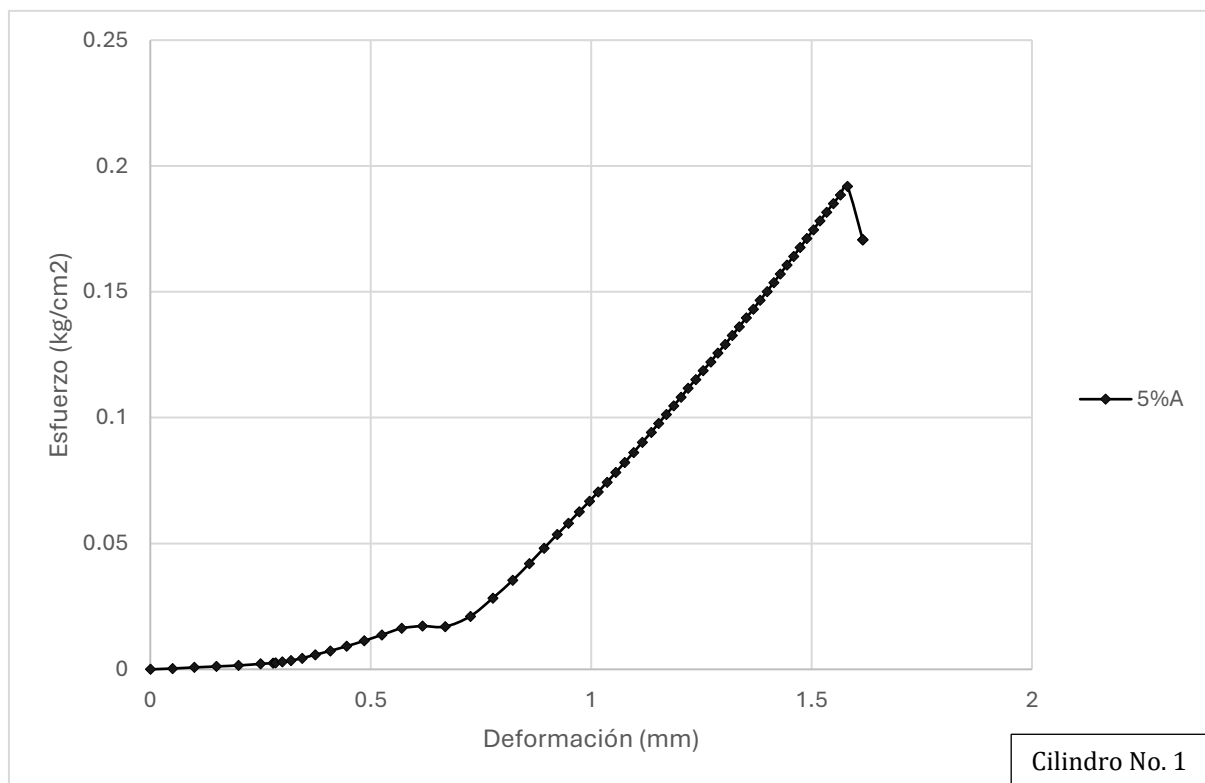


Fig. 80 Gráfica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 5%A.
Elaboración propia.

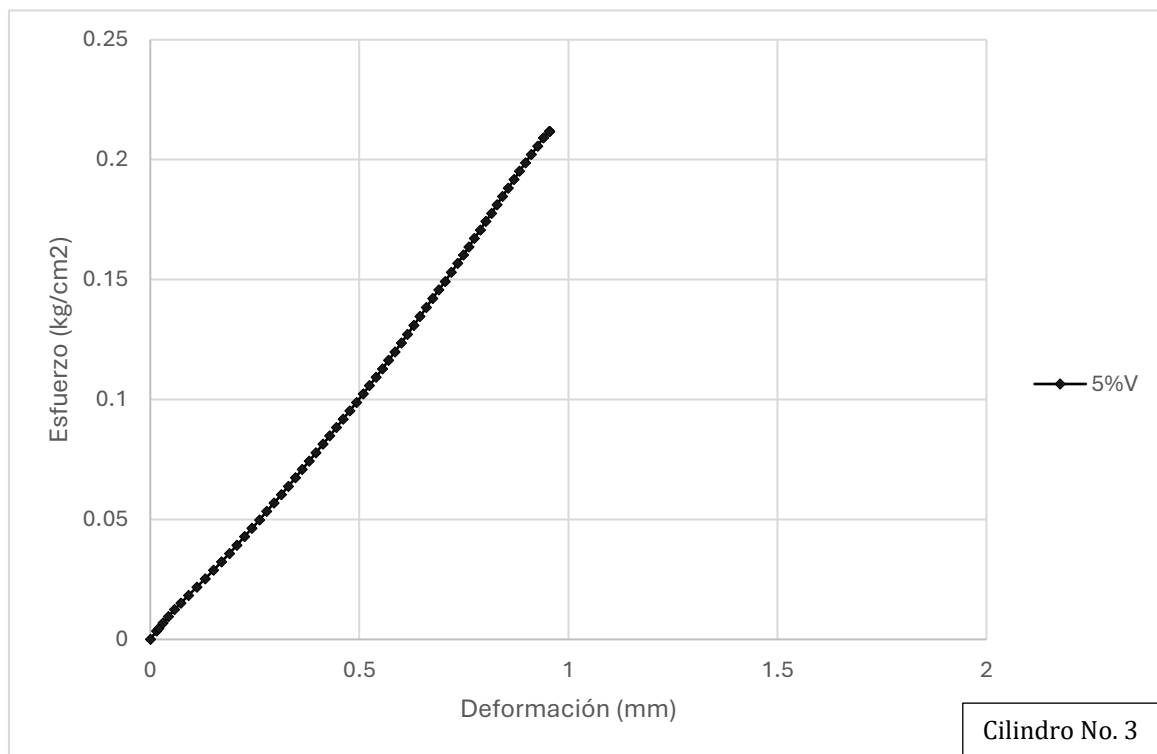


Fig. 81 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 5%V.

Elaboración propia.

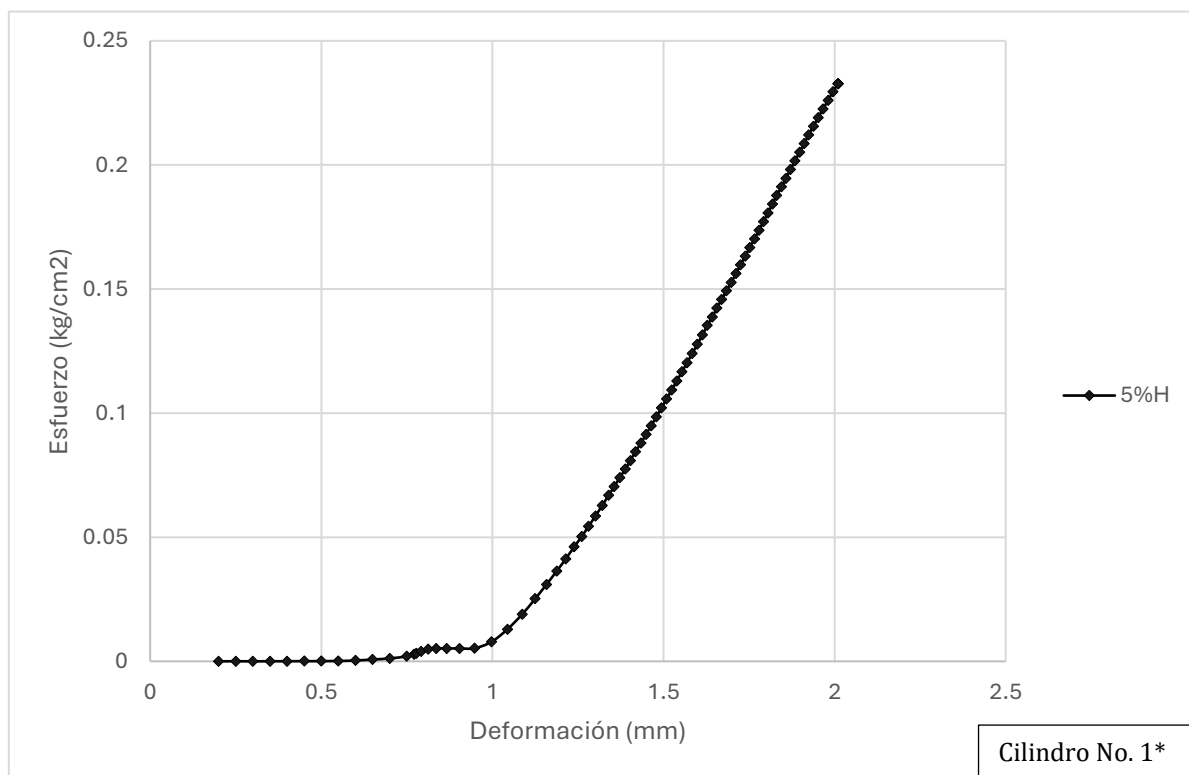


Fig. 82 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 5%H.

Elaboración propia.

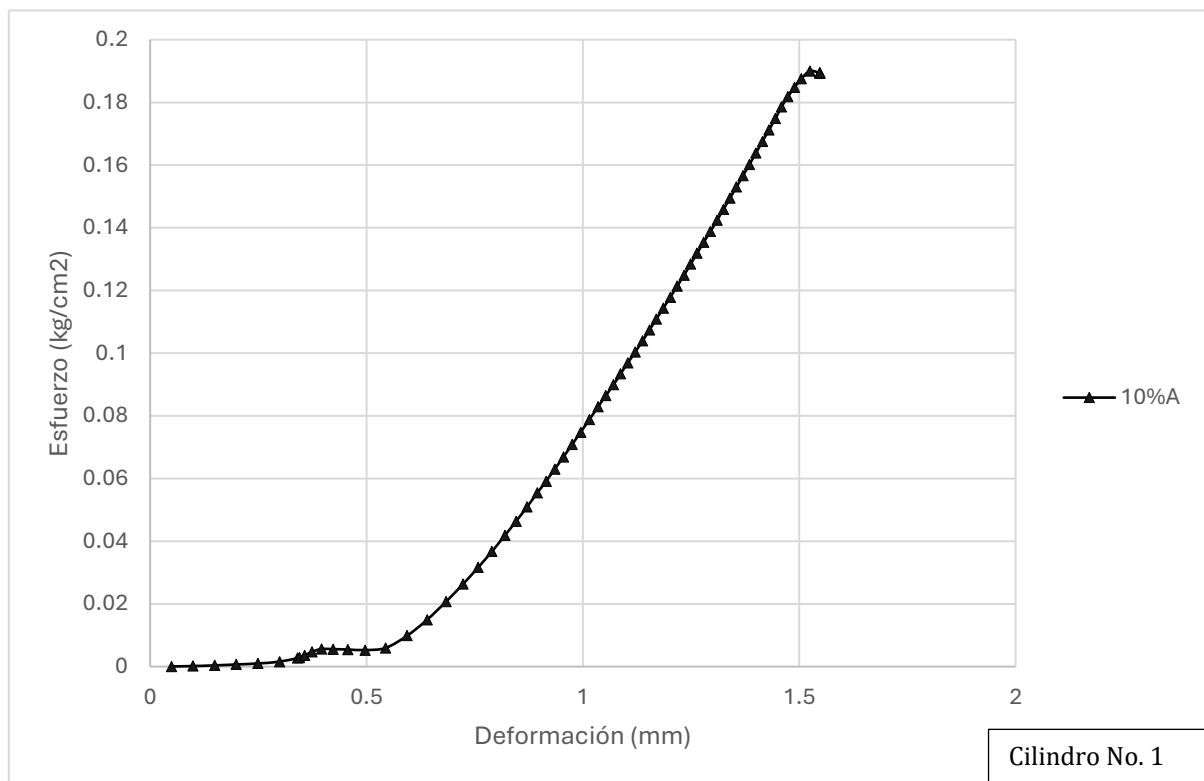


Fig. 83 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 10%A.

Elaboración propia.

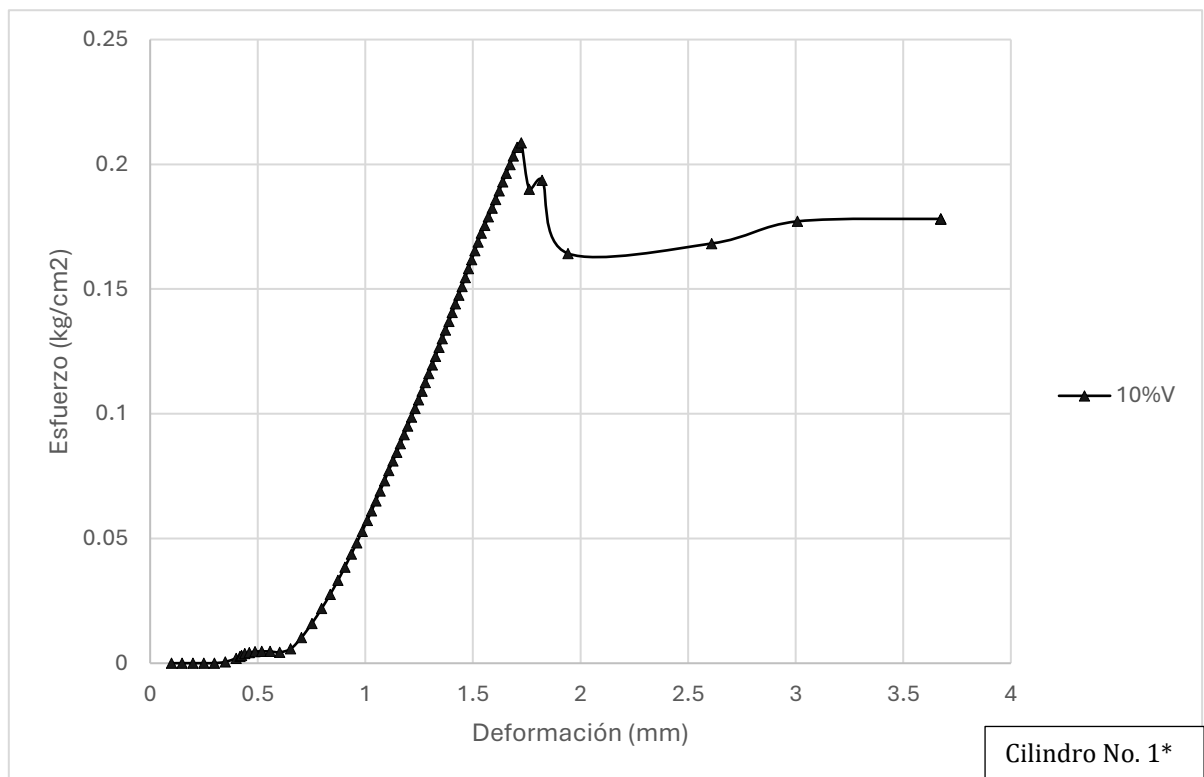


Fig. 84 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 10%V.

Elaboración propia.

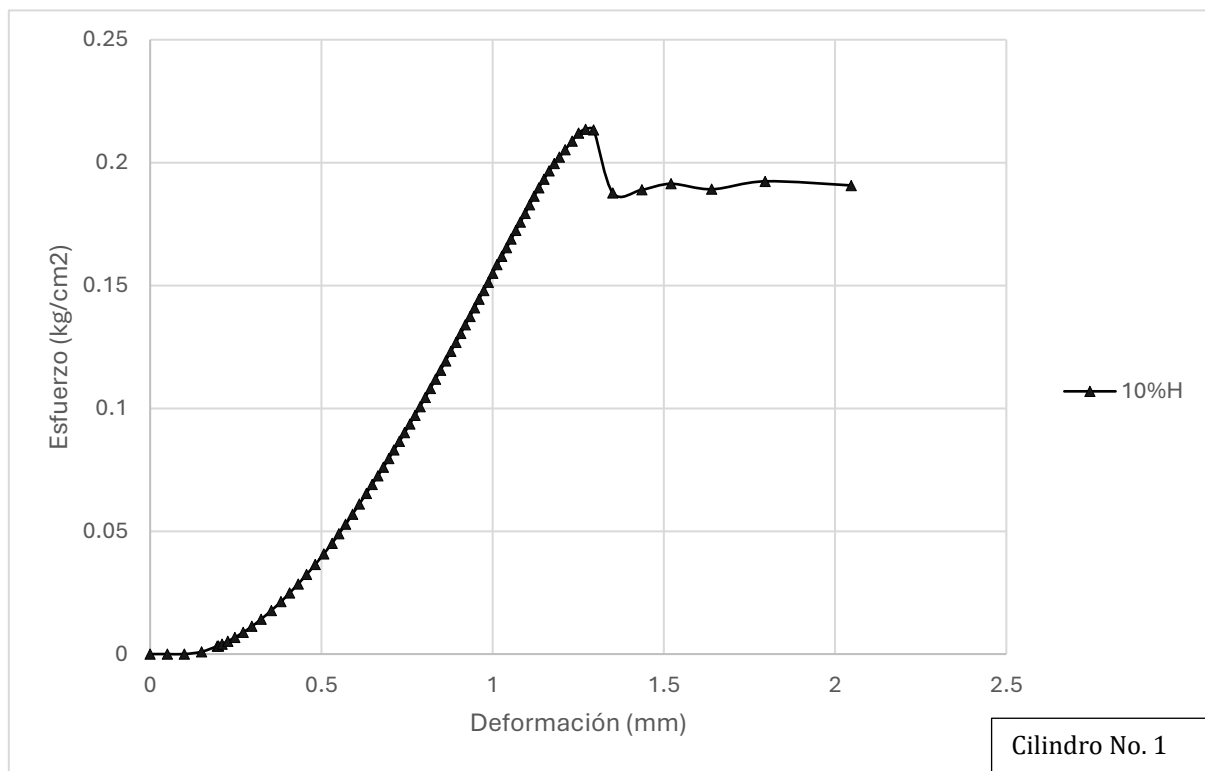


Fig. 85 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 10%H.

Elaboración propia.

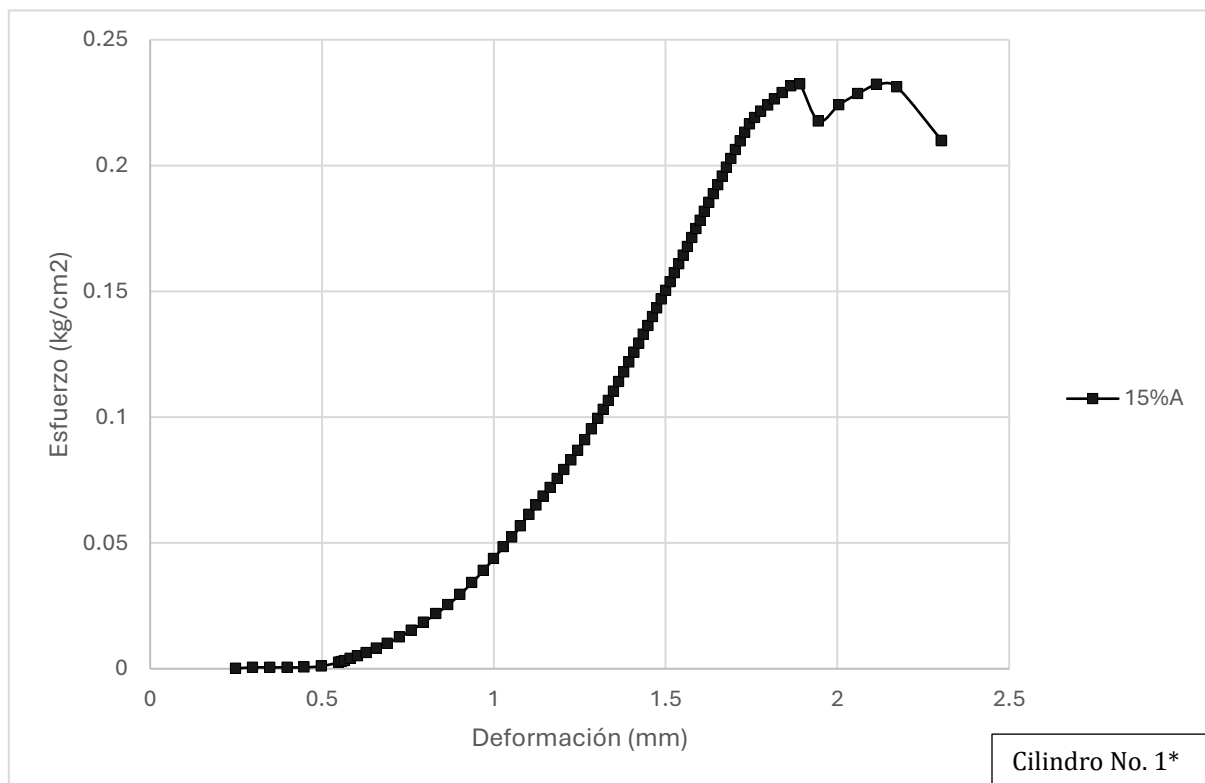


Fig. 86 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 15%A.

Elaboración propia.

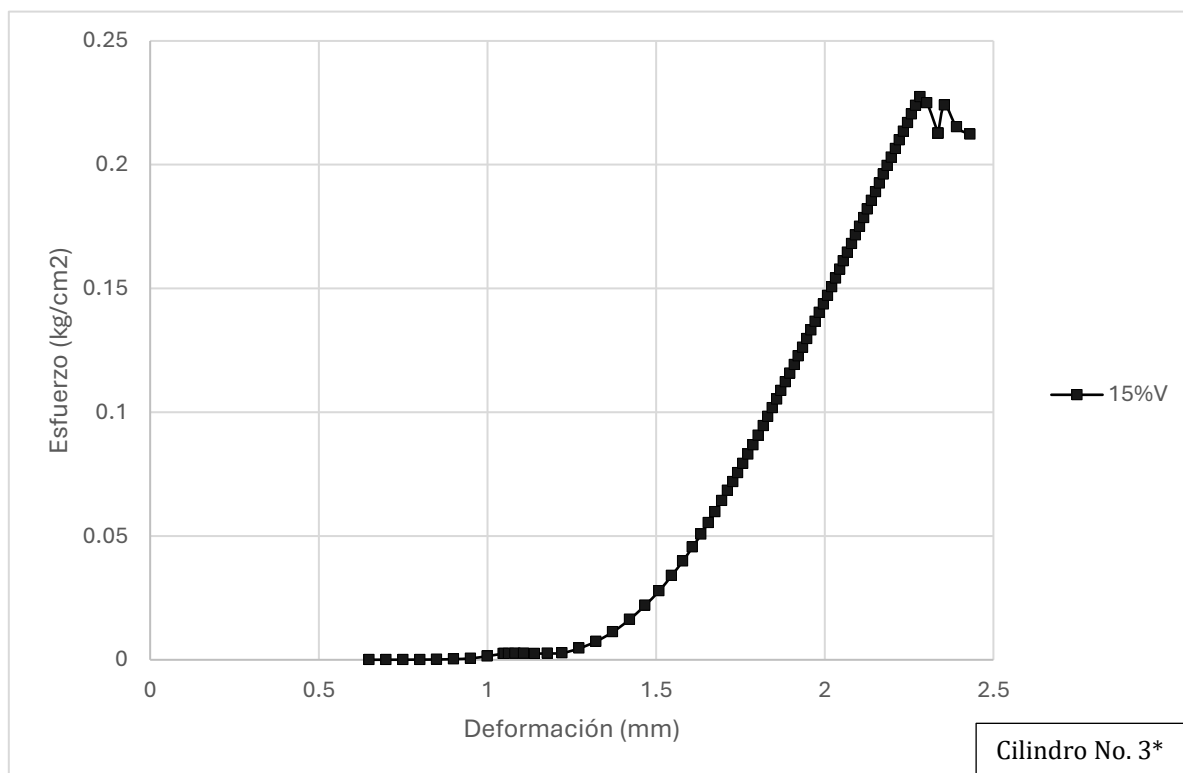


Fig. 87 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 15%V.

Elaboración propia.

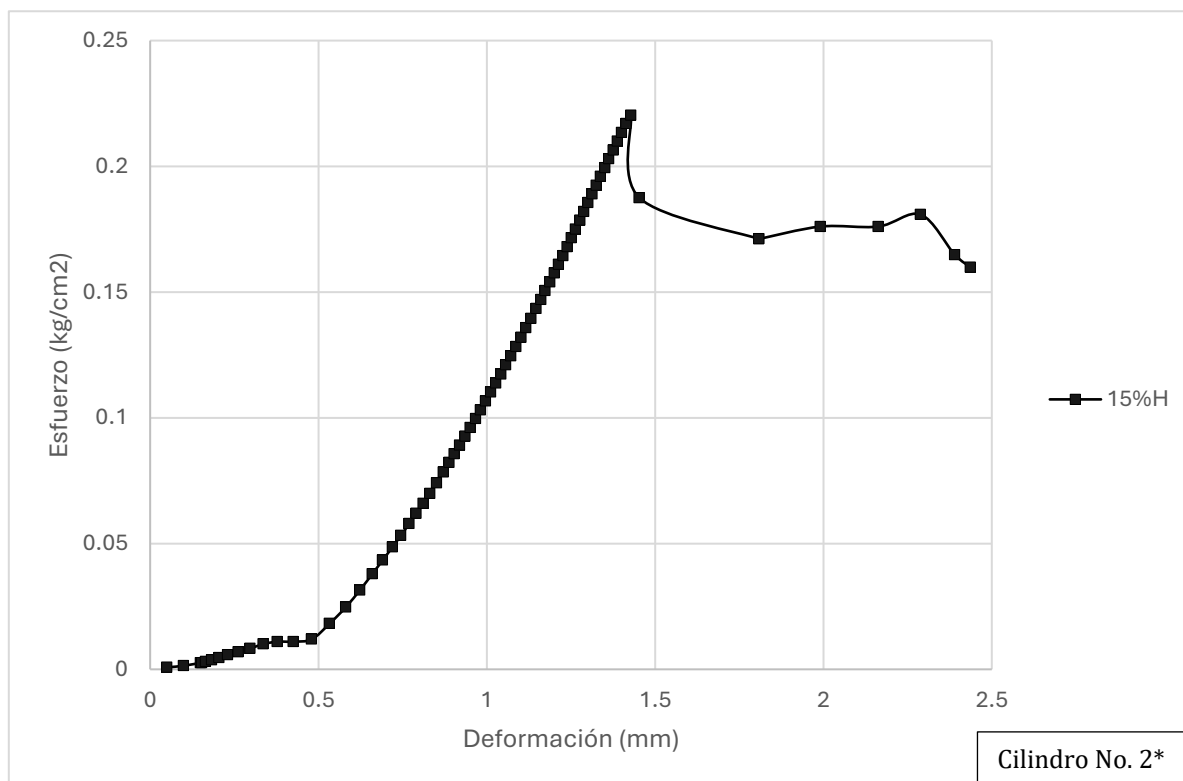


Fig. 88 Grafica Esfuerzo-Deformación de un cilindro 15%H.

Elaboración propia.

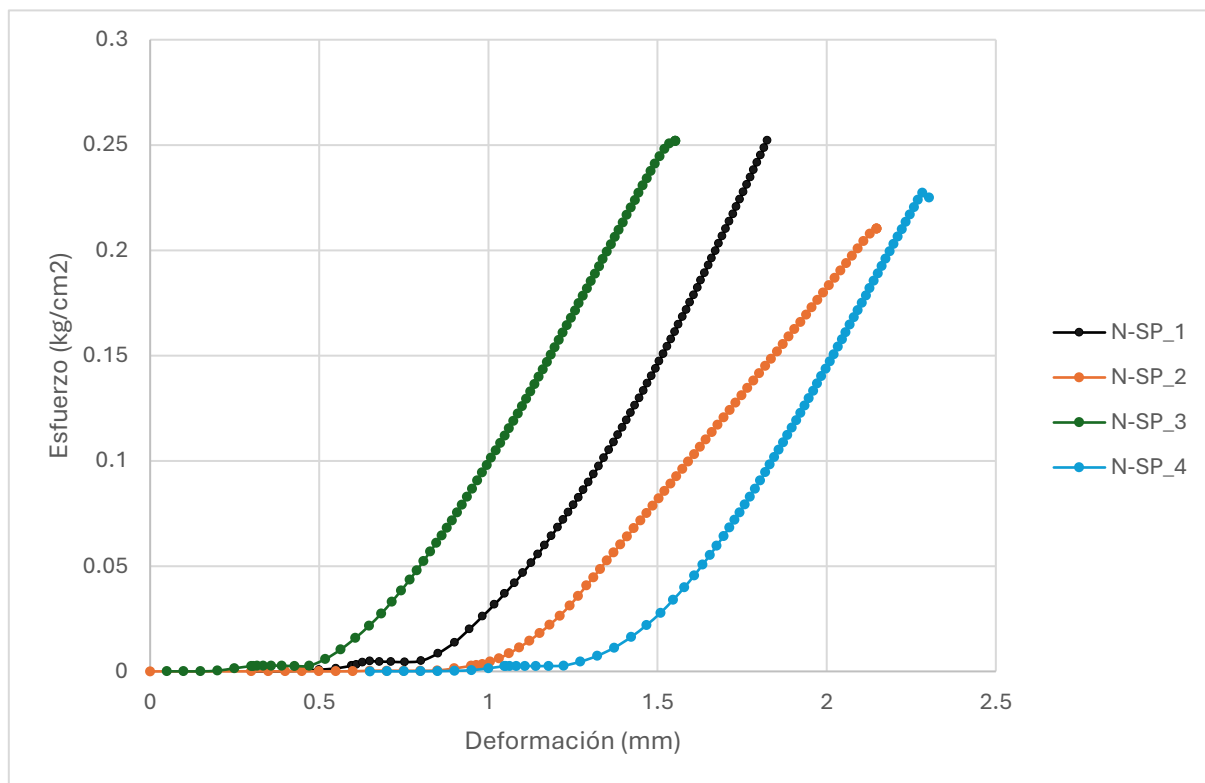


Fig. 89 Gráfica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes N-SP.

Elaboración propia.

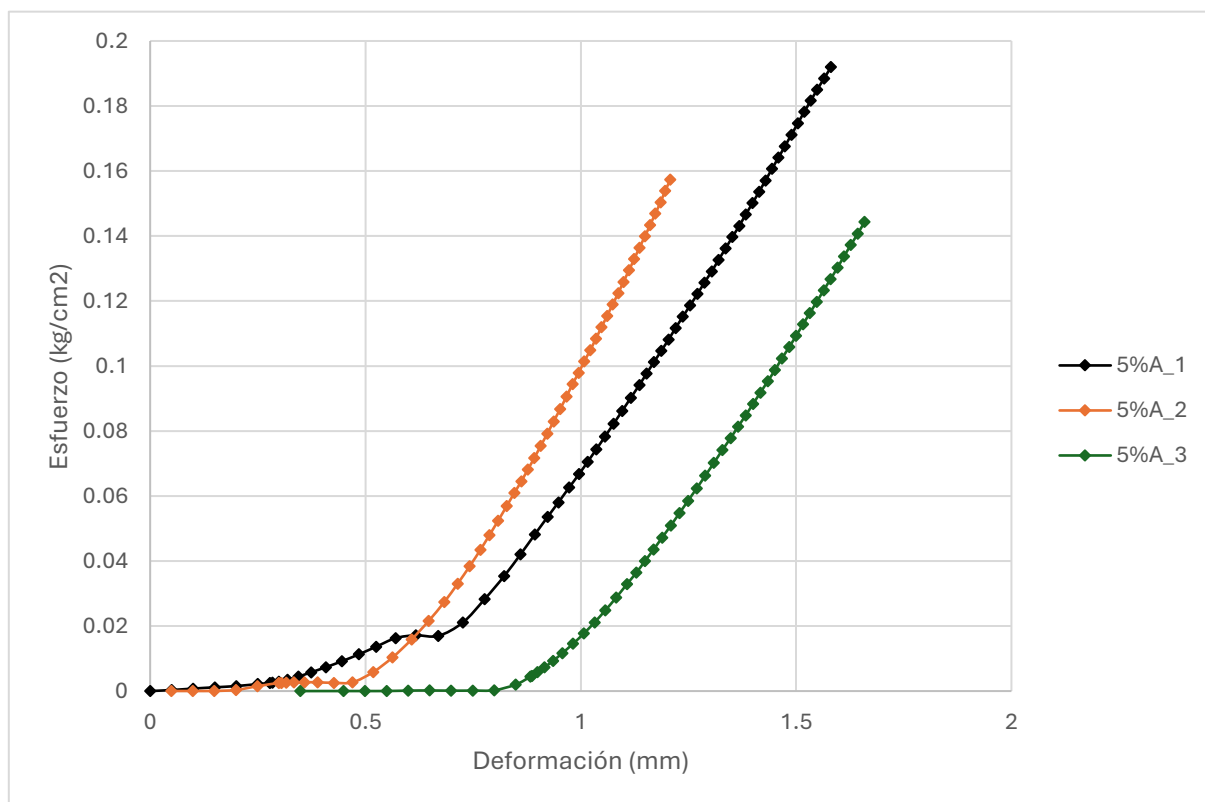


Fig. 90 Gráfica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 5%A.

Elaboración propia.

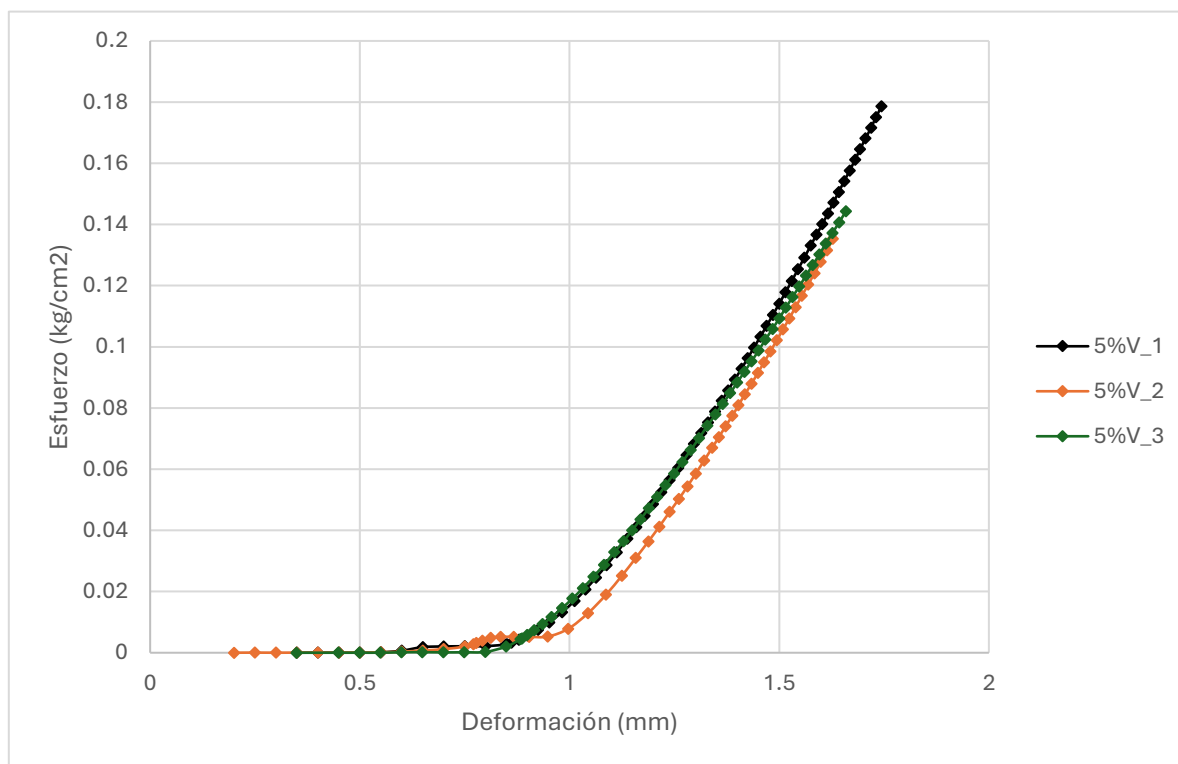


Fig. 91 Grafica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 5%V.

Elaboración propia.

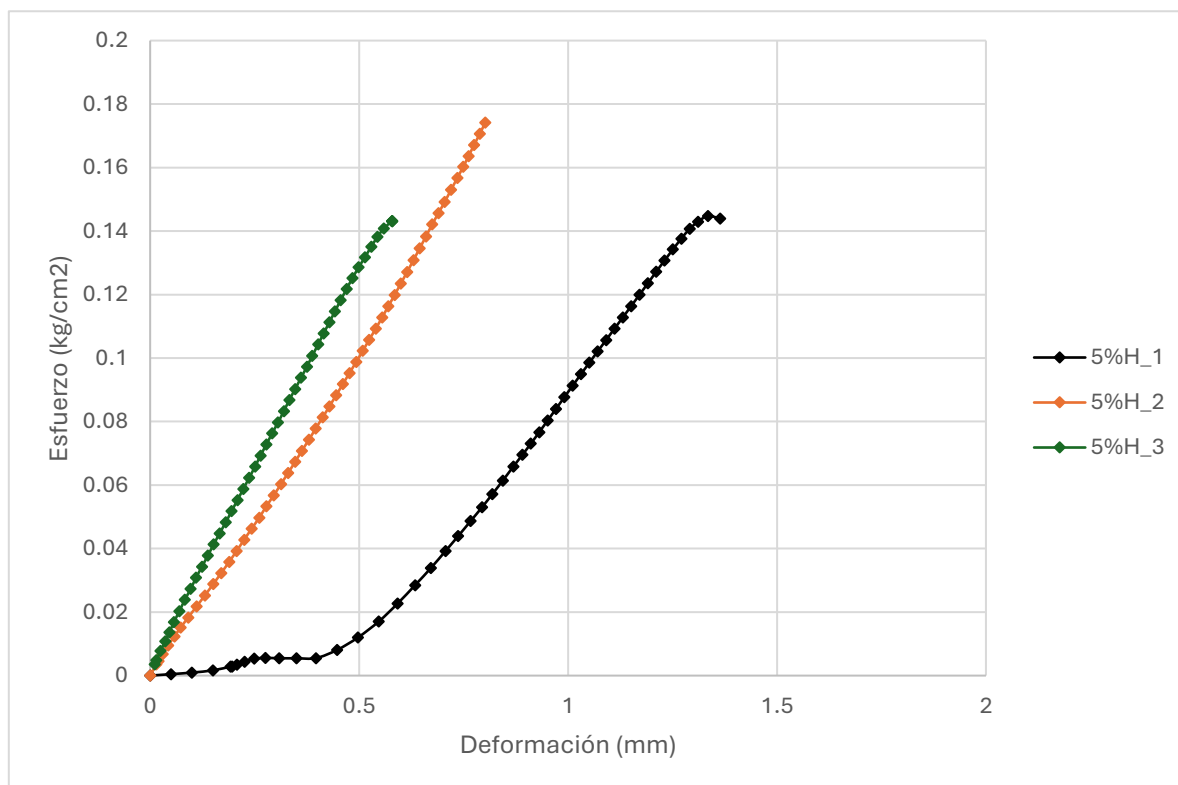


Fig. 92 Grafica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 5%H.

Elaboración propia.

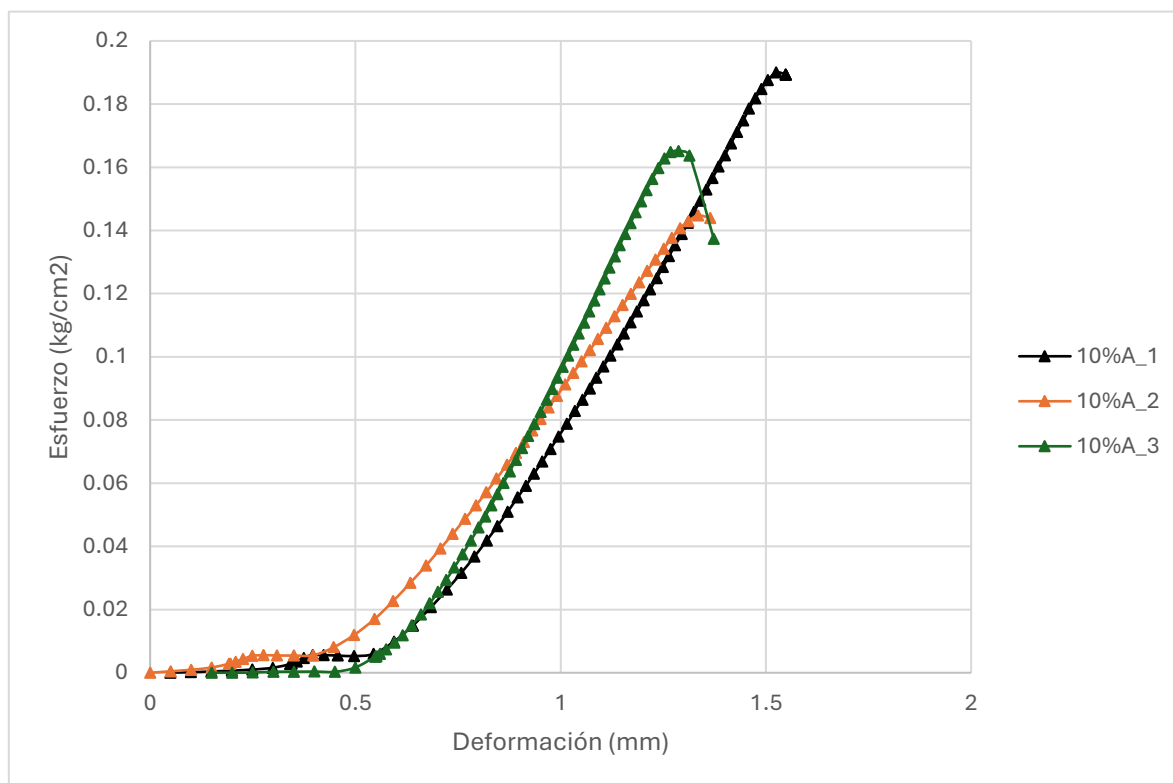


Fig. 93 Gráfica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 10%A.
Elaboración propia.

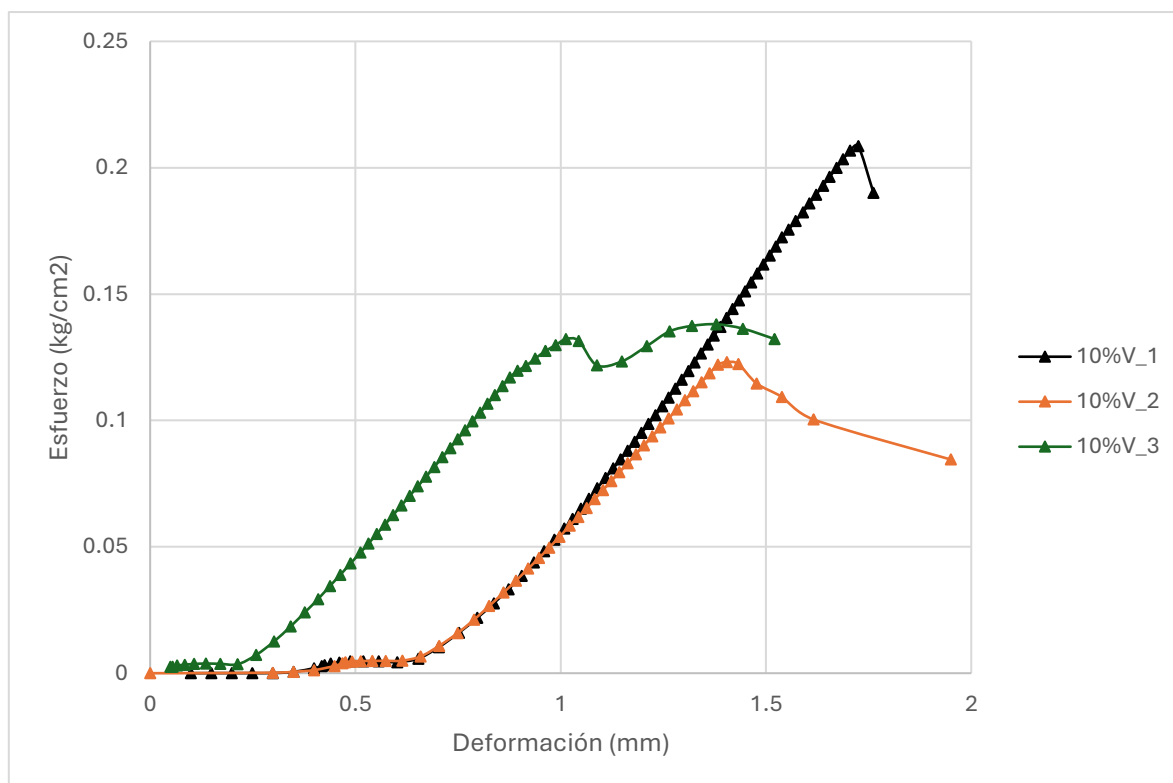


Fig. 94 Gráfica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 10%V.
Elaboración propia.

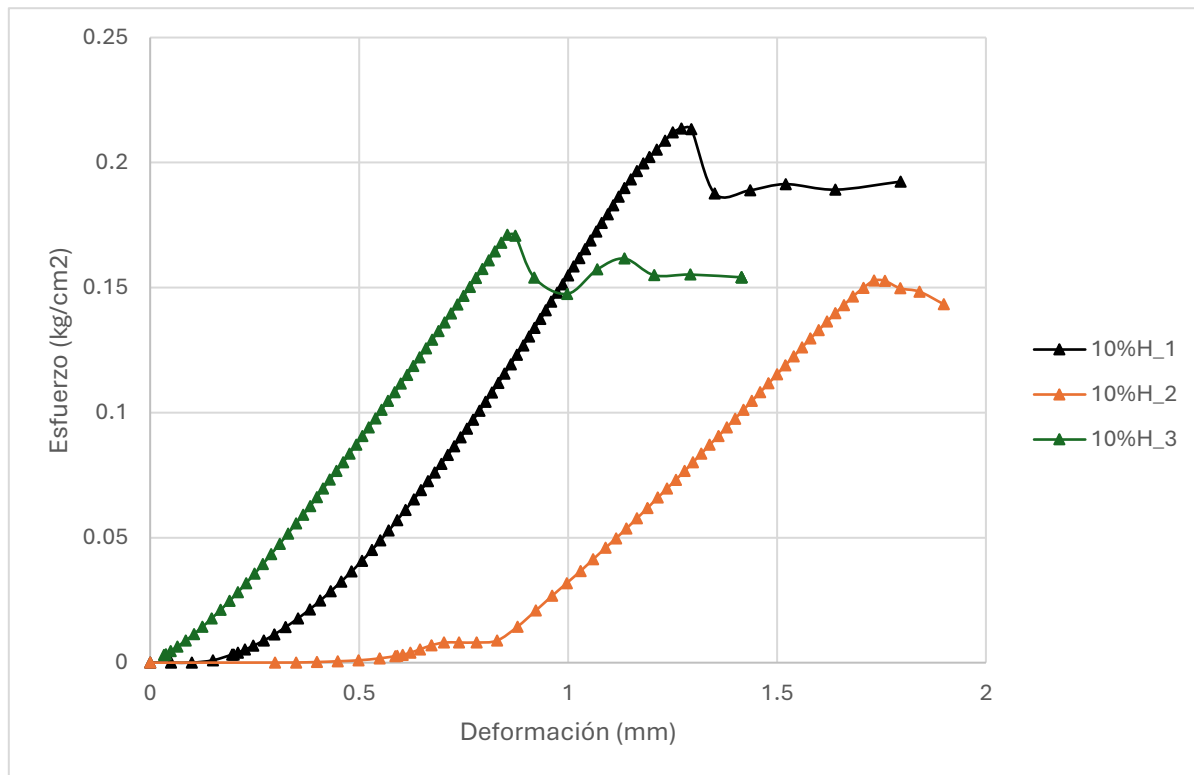


Fig. 95 Gráfica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 10%H.

Elaboración propia.

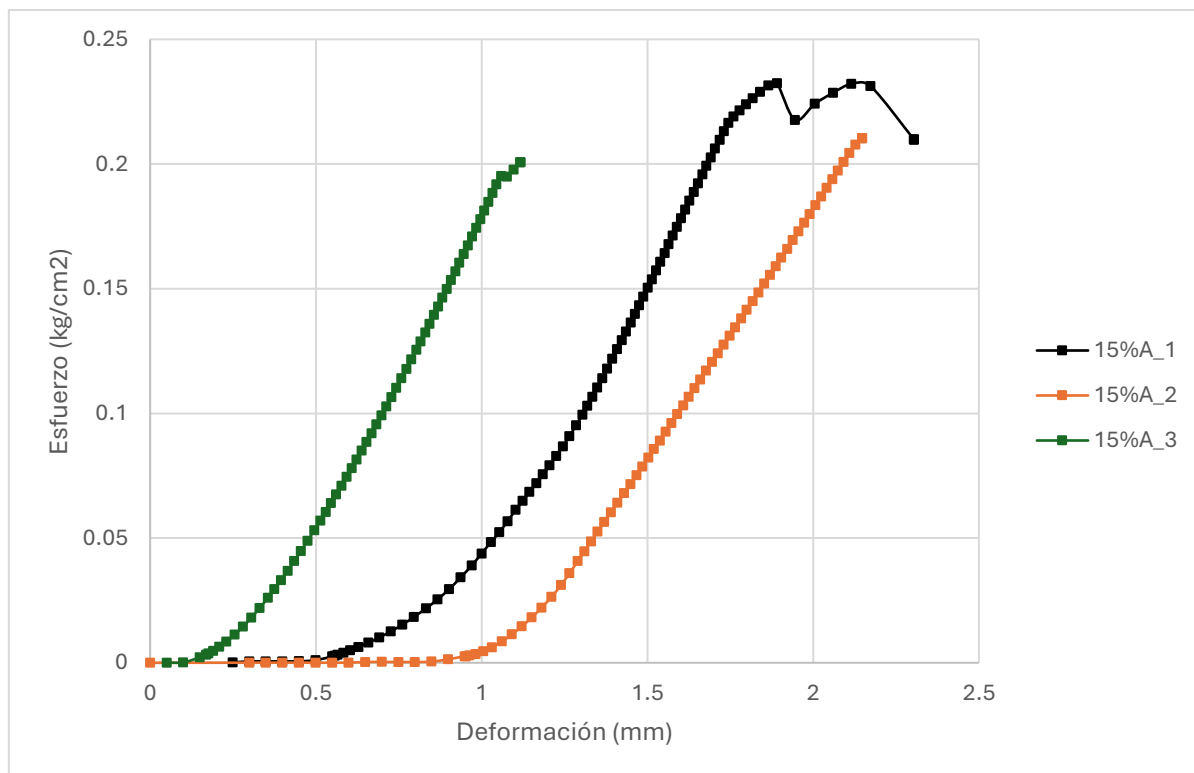


Fig. 96 Gráfica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 15%A.

Elaboración propia.

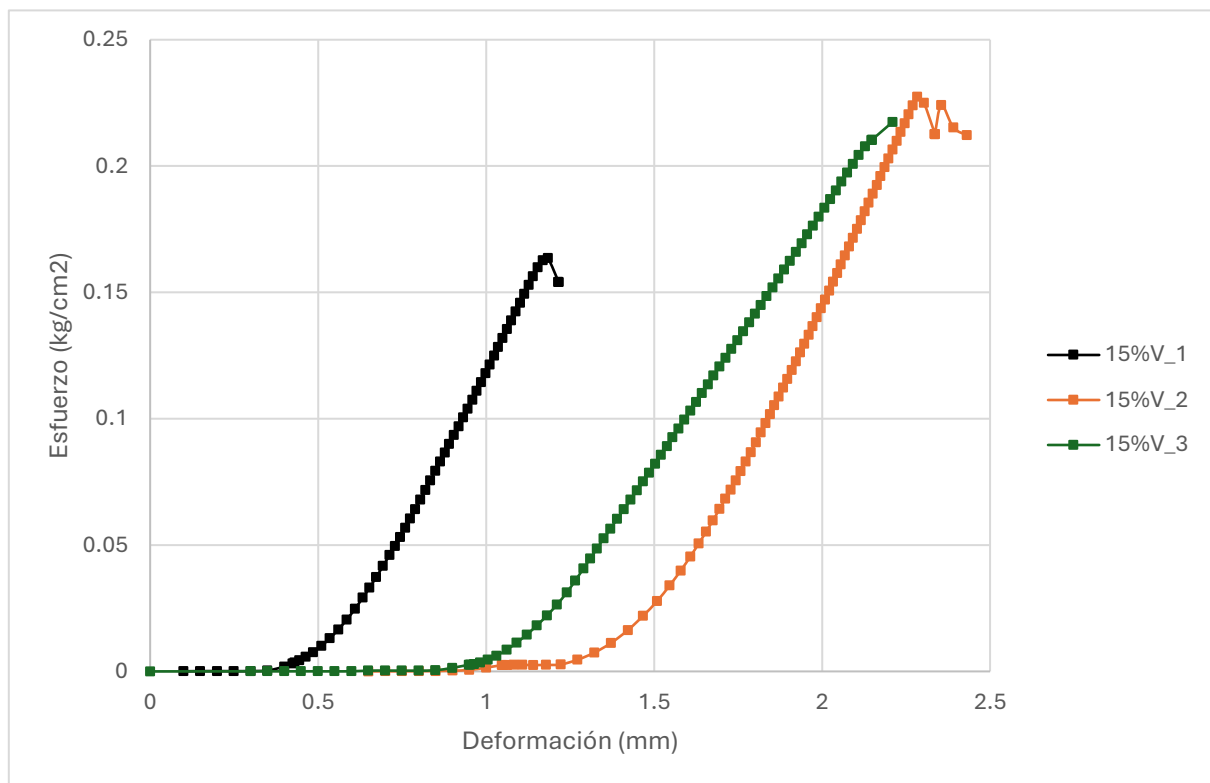


Fig. 97 Gráfica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 15%V.
Elaboración propia.

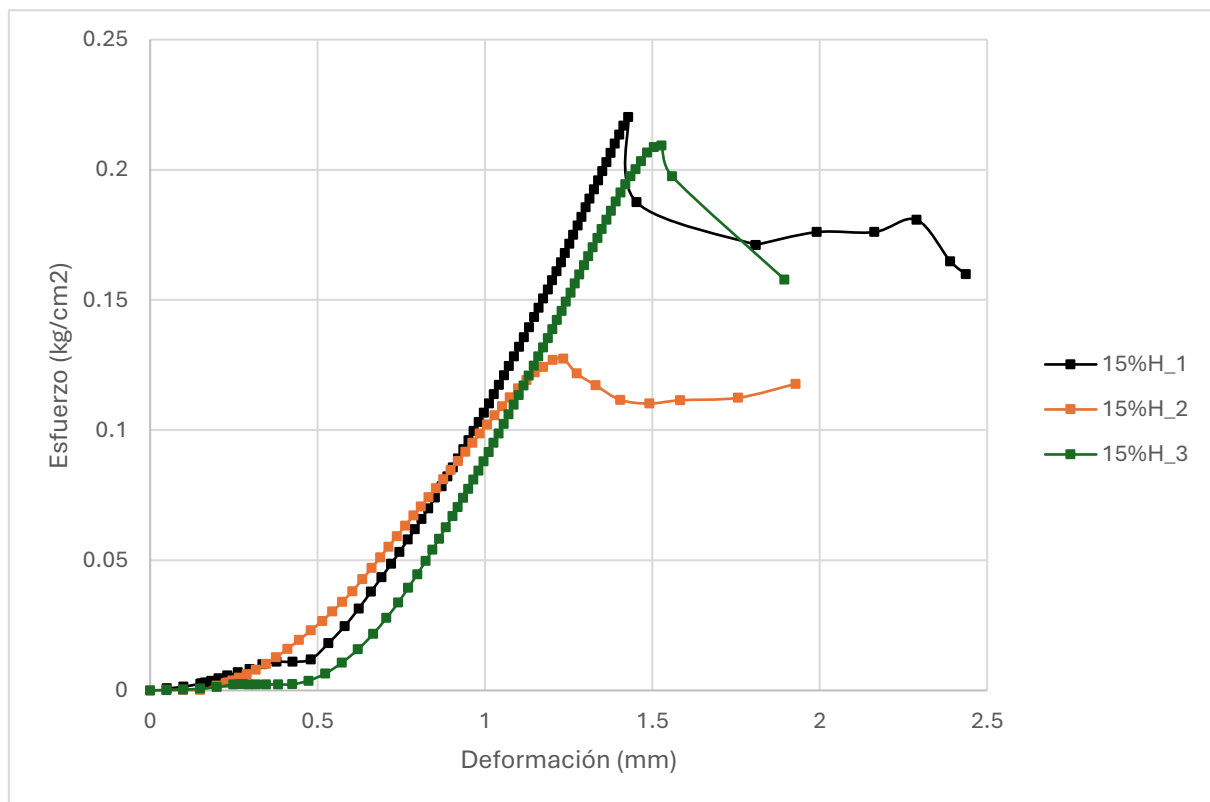


Fig. 98 Gráfica Esfuerzo-Deformación comparativa entre los especímenes 15%H.
Elaboración propia.

XIV.7 Degradación de sulfatos (Durabilidad)

Para la realización de esta prueba se tomó como base lo que dicta la Norma ASTM C88-99, que, si bien esta norma no es específicamente para especímenes cilíndricos de concreto, es la que más se acerca para los resultados que se requieren.

Dicha norma menciona dos soluciones con los que se pueden trabajar: sulfato de sodio y sulfato de magnesio, si bien la primera solución es destructiva y se puede trabajar con esta, se eligió la segunda ya que es mucho más destructiva (para los especímenes) que la otra, la razón es para que los resultados que se obtuvieran fueran los más críticos y trabajar sobre eso.

Para la preparación de la solución, que simula un intemperismo acelerado, se necesitaban dos cosas importantes, agua destilada y el sulfato de magnesio ($MnSO_4$), componentes que se muestran en la figura 99; por cada litro de agua destilada se agregaron 350 gr de sulfato de magnesio (grado industrial), como marca la norma.

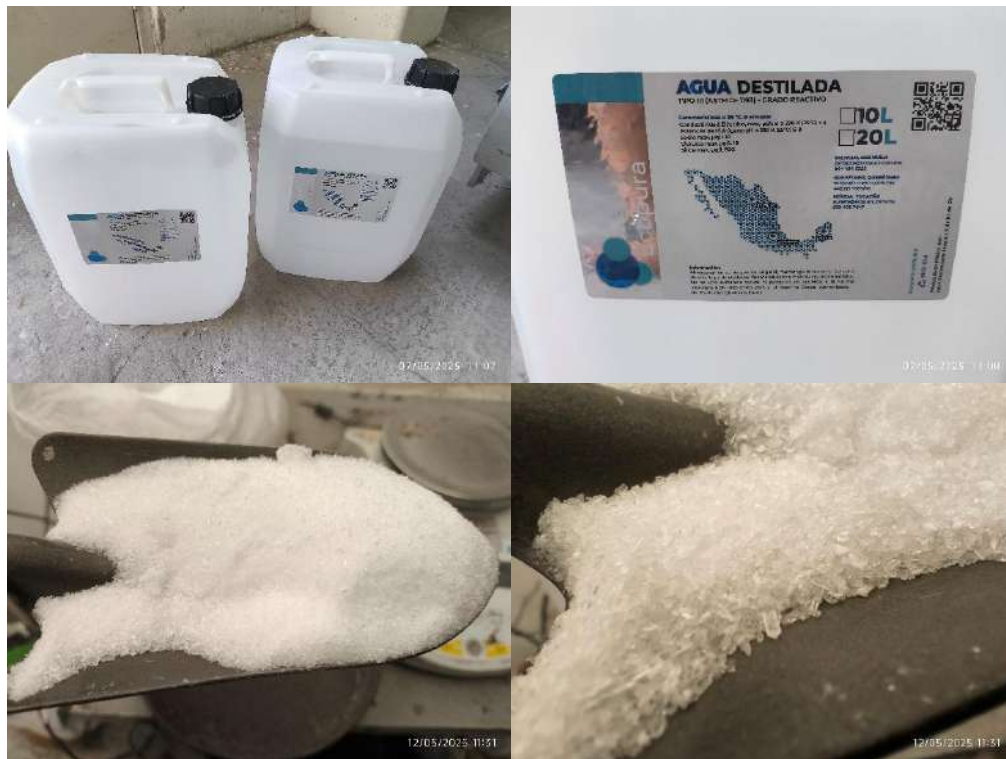


Fig. 99 Botes de Agua destilada y sulfato de magnesio a usar.

Fuente propia.

La Norma ASTM C 1012-04 se tomó de referencia para los ciclos correspondientes a los que se tenían que someter los especímenes, los cuales fueron 5 ciclos, un ciclo comprende el dejar los especímenes en la solución por 24 hrs para después sacarlos y dejarlos 24 hrs secándose en el horno a una temperatura de 100 °C, por cada 24 hrs de sumergido y de secado de estos se tomaron los pesos y evidencias fotográficas que se pueden observar en la figura 100 para verificar si hubo cambios notables en los mismos.



Fig. 100 Especímenes después de 24 hrs sumergidos, 24 hrs secos y algunos cambios físicos que se notaron durante los ciclos.

Fuente propia.

Al término de la prueba se pudieron hacer las tablas 27 y 28 en la que se muestran los cambios en el peso de los dos grupos que tuvieron los especímenes conforme fueron pasando los ciclos, así como el porcentaje representativo del 100% del peso original.

Tabla 25. Peso de los especímenes del grupo 1 en cada ciclo.

G1 - 5 Ciclos- NORMA ASTM C 1012-04													
Especimen	Peso original (kg)	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3		Ciclo 4		Ciclo 5		Promedio del peso final.	
		Peso 1 (kg)	Peso 2 (kg)	Peso 3 (kg)	Peso 4 (kg)	Peso 5 (kg)	Peso 6 (kg)	Peso 7 (kg)	Peso 8 (kg)	Peso 9 (kg)	Peso 10 (kg)	Peso 11 (kg)	
		24 hrs seco	24 hrs agua	25 hrs seco	25 hrs agua	26 hrs seco	26 hrs agua	27 hrs seco	27 hrs agua	28 hrs seco	28 hrs agua	29 hrs seco	
N	3.532	3.193	3.280	3.194	3.242	3.135	3.254	3.194	3.234	3.194	3.233	3.187	90.96%
	100%	90.40%	92.87%	90.43%	91.79%	88.76%	92.13%	90.43%	91.56%	90.43%	91.53%	90.23%	
	3.234	2.871	3.010	2.913	2.977	2.758	2.993	2.915	2.972	2.911	2.962	2.896	
5% A	3.234	2.871	3.010	2.913	2.977	2.758	2.993	2.915	2.972	2.911	2.962	2.896	90.45%
	100%	88.78%	93.07%	90.07%	92.05%	85.28%	92.55%	90.14%	91.90%	90.01%	91.59%	89.55%	
	3.334	3.092	3.210	3.117	3.176	2.890	3.170	3.091	3.160	3.090	3.145	2.985	
5% V	3.334	3.092	3.210	3.117	3.176	2.890	3.170	3.091	3.160	3.090	3.145	2.985	93.05%
	100%	92.74%	96.28%	93.49%	95.26%	86.68%	95.08%	92.71%	94.78%	92.68%	94.33%	89.53%	
	3.190	2.756	2.938	2.831	2.949	2.749	3.036	2.928	3.088	2.983	3.146	2.922	
5% H	3.190	2.756	2.938	2.831	2.949	2.749	3.036	2.928	3.088	2.983	3.146	2.922	92.12%
	100%	86.39%	92.10%	88.75%	92.45%	86.18%	95.17%	91.79%	96.80%	93.51%	98.62%	91.60%	
	3.355	3.069	3.243	3.113	3.252	2.987	3.558	3.184	3.421	3.242	3.479	3.190	
10% A	3.355	3.069	3.243	3.113	3.252	2.987	3.558	3.184	3.421	3.242	3.479	3.190	96.84%
	100%	91.48%	96.66%	92.79%	96.93%	89.03%	106.05%	94.90%	101.97%	96.63%	103.70%	95.08%	
	3.260	2.828	3.041	2.875	3.169	2.885	3.337	2.992	3.386	3.051	3.424	3.022	
10% V	3.260	2.828	3.041	2.875	3.169	2.885	3.337	2.992	3.386	3.051	3.424	3.022	94.84%
	100%	86.75%	93.28%	88.19%	97.21%	88.50%	102.36%	91.78%	103.87%	93.59%	105.03%	92.70%	
	3.270	2.958	3.097	2.948	3.060	2.846	3.102	2.960	3.042	2.953	3.061	2.967	
10% H	3.270	2.958	3.097	2.948	3.060	2.846	3.102	2.960	3.042	2.953	3.061	2.967	91.73%
	100%	90.46%	94.71%	90.15%	93.58%	87.03%	94.86%	90.52%	93.03%	90.31%	93.61%	90.73%	
	3.247	2.970	3.094	2.994	3.064	2.811	3.076	2.993	3.060	2.993	3.052	2.970	
15% A	3.247	2.970	3.094	2.994	3.064	2.811	3.076	2.993	3.060	2.993	3.052	2.970	92.61%
	100%	91.47%	95.29%	92.21%	94.36%	86.57%	94.73%	92.18%	94.24%	92.18%	93.99%	91.47%	
	3.233	2.880	3.016	2.899	2.990	2.872	3.009	2.910	2.986	2.905	2.971	2.884	
15% V	3.233	2.880	3.016	2.899	2.990	2.872	3.009	2.910	2.986	2.905	2.971	2.884	90.89%
	100%	89.08%	93.29%	89.67%	92.48%	88.83%	93.07%	90.01%	92.36%	89.85%	91.90%	89.21%	
	3.252	2.905	3.061	2.934	3.023	2.855	3.054	2.994	3.023	2.949	3.002	2.911	
15% H	3.252	2.905	3.061	2.934	3.023	2.855	3.054	2.994	3.023	2.949	3.002	2.911	91.44%
	100%	89.33%	94.13%	90.22%	92.96%	87.79%	93.91%	92.07%	92.96%	90.68%	92.31%	89.51%	

Elaboración propia.

Tabla 26. Peso de los especímenes del grupo 2 en cada ciclo.

G2 - 5 Ciclos- NORMA ASTM C 1012-04													
Especimen	Peso original (kg)	Ciclo 1		Ciclo 2		Ciclo 3		Ciclo 4		Ciclo 5		Promedio del peso final.	
		Peso 1 (kg)	Peso 2 (kg)	Peso 3 (kg)	Peso 4 (kg)	Peso 5 (kg)	Peso 6 (kg)	Peso 7 (kg)	Peso 8 (kg)	Peso 9 (kg)	Peso 10 (kg)	Peso 11 (kg)	
		24 hrs seco	24 hrs agua	25 hrs seco	25 hrs agua	26 hrs seco	26 hrs agua	27 hrs seco	27 hrs agua	28 hrs seco	28 hrs agua	29 hrs seco	
N	3.572	3.365	3.446	3.338	3.246	3.246	3.289	3.251	3.284	3.246	3.293	3.247	
	100%	94.20%	96.47%	93.45%	90.87%	90.87%	92.08%	91.01%	91.94%	90.87%	92.19%	90.90%	92.26%
5% A	3.283	3.132	3.227	3.022	2.971	3.022	3.087	3.035	3.083	3.031	3.092	2.991	
	100%	95.40%	98.29%	92.05%	90.50%	92.05%	94.03%	92.45%	93.91%	92.32%	94.18%	3.05%	85.29%
5% V	3.416	3.128	3.262	3.133	3.100	3.070	3.135	3.058	3.127	3.064	3.144	3.050	
	100%	91.57%	95.49%	91.72%	90.75%	89.87%	91.77%	89.52%	91.54%	89.70%	92.04%	89.29%	91.20%
5% H	3.276	3.104	3.210	3.023	2.981	2.976	3.104	3.022	3.163	3.080	3.221	3.051	
	100%	94.75%	97.99%	92.28%	91.00%	90.84%	94.75%	92.25%	96.55%	94.02%	98.32%	93.13%	94.17%
10% A	3.213	2.959	3.089	2.903	2.902	2.850	2.967	2.898	3.007	2.926	3.180	2.928	
	100%	92.09%	96.14%	90.35%	90.32%	88.70%	92.34%	90.20%	93.59%	91.07%	98.97%	91.13%	92.26%
10% V	3.405	3.369	3.292	3.157	3.057	3.074	3.169	3.087	3.181	3.090	3.273	3.138	
	100%	98.94%	96.68%	92.72%	89.78%	90.28%	93.07%	90.66%	93.42%	90.75%	96.12%	92.16%	93.14%
10% H	3.203	3.103	3.147	2.998	2.301	2.815	3.010	2.859	3.137	2.934	3.362	3.108	
	100%	96.88%	98.25%	93.60%	71.84%	87.89%	93.97%	89.26%	97.94%	91.60%	104.96%	97.03%	93.02%
15% A	3.346	3.251	3.261	3.176	3.057	2.992	3.153	3.060	3.184	3.057	3.200	3.113	
	100%	97.16%	97.46%	94.92%	91.36%	89.42%	94.23%	91.45%	95.16%	91.36%	95.64%	93.04%	93.75%
15% V	3.303	3.101	3.194	3.093	2.999	2.948	3.043	2.966	3.045	2.975	3.070	3.014	
	100%	93.88%	96.70%	93.64%	90.80%	89.25%	92.13%	89.80%	92.19%	90.07%	92.95%	91.25%	92.06%
15% H	3.281	2.997	3.229	3.129	3.201	2.923	3.075	2.960	3.067	2.963	3.086	3.021	
	100%	91.34%	98.42%	95.37%	97.56%	89.09%	93.72%	90.22%	93.48%	90.31%	94.06%	92.08%	93.24%

Elaboración propia.

Como se puede observar, en general todos los especímenes de ambos grupos fueron bajando sus pesos con respecto del peso inicial de cada uno (sin modificar), lo que quiere decir que se fueron desprendiendo partes de estos muy pequeñas, o sea, el estarlos sumergiéndolos en la solución y secándolos cada 24 hrs si hizo efecto.

Después de haber cumplido con los 5 ciclos, se realizó una prueba de resistencia a la compresión a todos los especímenes para saber si hubo cambio en esta propiedad física con respecto de los especímenes que no fueron sometidos a la solución antes mencionada, de la cual los resultados se muestran en la tabla 29.

Tabla 27. Resultados de la resistencia a compresión después de los 5 ciclos.

Especimen	G1	G2
	Resistencia a la compresión (Kg/cm2)	
N	192.57	184.36
5% A	185.18	188.26
5% V	156.70	160.51
5% H	169.56	166.25
10% A	97.37	139.80
10% V	47.53	159.78
10% H	161.85	35.94
15% A	153.79	145.41
15% V	165.66	167.48
15% H	160.12	163.99
Promedio	149.03	151.18

Elaboración propia.

XIV.8 Calculo de la durabilidad de los especímenes.

Para estimar el tiempo de degradación a largo plazo del concreto con pilas en ambientes agresivos se empleó la hipótesis propuesta por Vijay and GangaRao (1999); la cual menciona que se relaciona el tiempo y la temperatura obtenidos en pruebas aceleradas, con el fin de poder predecir el comportamiento a largo plazo de los materiales.

Este modelo (Ec. 9) ya ha sido empleado en otras pruebas de degradación como lo son concreto reforzado con fibras de vidrio, fibras de acero, fibras sintéticas, entre otros; en base a este mismo se llevo a cabo una simulación equivalente a 30 años de degradación. Para esto se consideraron dos etapas: la primera a 15°C durante un periodo de una semana y la segunda a 100° C durante el mismo tiempo; los resultados se muestran en la Tabla 30.

$$\text{Age} = 0.098 \cdot e^{0.0558T} \quad (\text{Ec.9})$$

Age = dias / dia
T = temperatura en °F

Tabla 28. Tiempo de exposición en años para diferentes condiciones de laboratorio.

Temperatura (°C)	Temperatura (°F)	Ciclos degradación acelerada (dias)	Degradación (dias naturales/dia tratamiento)	Dias (temp. ambiente)	Años (temp. ambiente)
15	59	5	2.6	21.1	0.1
100	212	5	13,451.0	60,529.7	165.8

Elaboración propia, basado en el modelo de Vijay and GangaRao.(1999).

XIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar el comportamiento mecánico de distintas mezclas de concreto elaboradas con cemento portland y con la incorporación de pilas alcalinas para reciclaje, analizando principalmente su desempeño por medio de ensayos de resistencia a compresión y tensión diametral a una edad de 30 días de curado. Los resultados mostrados anteriormente permiten identificar ciertas tendencias que existen sobre la influencia del porcentaje de las pilas como del acomodo de estas en las mezclas.

En el caso de la resistencia a compresión, la mezcla convencional de concreto que se utilizó como referencia, alcanzo el valor que se esperaba, el cual era de 210 kg/cm² para la relación agua-cemento que se maneja que es de 0.61. Por otro lado, la mezcla modificada, en específico la que tenía 5% de pilas en acomodo aleatorio fue la que presento un comportamiento más favorable alcanzando una resistencia promedio de 186.21 kg/cm². Aunque este valor es inferior al registrado por la mezcla tradicional, representa el desempeño más cercano entre las demás mezclas con los diferentes acomodos. Por lo cual, el resultado sugiere que un acomodo aleatorio de las pilas favorece una distribución mas uniforme de los esfuerzos, lo cual crea una reducción de concentración de carga y evita fallas

prematuras, a diferencia de los acomodos horizontales o verticales que tienden a generar zonas de debilidad estructural más definidas.

En contraste, al analizar la resistencia a tensión diametral, el comportamiento observado difiere significativamente. En esta prueba la configuración más eficiente fue la mezcla con 15% de pilas colocadas de forma horizontal, alcanzando una resistencia promedio de 13.9 kg/cm^2 , valor que no está muy lejos del obtenido de la mezcla referencia el cual fue de 15.5 kg/cm^2 . En las figuras 85-94 se muestra que cuando las pilas se ponen en orientación vertical con respecto a la carga, esta actúa como elementos que soportan parte del esfuerzo de tensión, generando un incremento momentáneo en la capacidad que resiste antes de fracturarse por completo, generalmente dividiéndose en dos partes. Esto no significa que esta configuración sea la más adecuada para este tipo de esfuerzos, solo quiere decir que a nivel laboratorio, ocurrió esta interacción, mas no quiere decir que a un nivel mayor ocurra lo mismo.

En cuanto a las condiciones de las pilas utilizadas, se observó que la marca no tuvo un efecto apreciable en el desempeño final. Sin embargo, se estableció como criterio primordial el uso exclusivo de pilas en buen estado físico (sin corrosión, deformaciones, sulfatación o daños en la carcasa), con el fin de evitar contaminaciones internas o variaciones estructurales que pudieran comprometer la integridad de la mezcla.

Respecto a las propiedades en estado fresco, la Tabla 21 indica que el revenimiento de las mezclas con pilas se mantuvo en el límite inferior aceptable para un concreto convencional, alcanzando valores cercanos a los 6 cm. Esto sugiere una trabajabilidad reducida, aunque aún manejable en aplicaciones prácticas. Por otro lado, la densidad de las mezclas ($2,280 \text{ kg/m}^3$) mostró una disminución respecto a valores típicos, lo cual se le puede atribuir a la presencia de pilas que actúan como inclusiones de objetos extraños que no son cementantes.



Fig. 101 Grietas y fisuras presentadas durante la prueba de degradación de sulfatos.

Fuente propia.

En la prueba de degradación por sulfatos, que representa un escenario de intemperismo acelerado, los especímenes presentaron la formación temprana de grietas y fisuras desde el primer ciclo de secado-inmersión, como se aprecia en la Figura 101. Esto

evidencia que las mezclas con pilas presentan una menor resistencia a ambientes químicos agresivos, posiblemente debido a la interacción entre la solución sulfatada y las interfaces generadas alrededor de las pilas, zonas donde típicamente se acumula humedad o se desarrollan micro fisuras.

Considerando el conjunto de ensayos, se recomienda seleccionar la mezcla en función del tipo de esfuerzo predominante en la aplicación deseada, ya que la mezcla con mejor desempeño en compresión no coincide con la óptima en tensión diametral. Esto refuerza la conclusión de que la incorporación de pilas modifica la estructura interna del concreto de manera diferenciada según el mecanismo de carga.

XIV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten concluir que la incorporación de pilas alcalinas como sustituto parcial del agregado grueso no es recomendable en proporciones superiores al 10%, debido a que su presencia afecta de manera significativa propiedades fundamentales del concreto, como la resistencia a compresión y a tensión, el revenimiento y la trabajabilidad. Asimismo, se identificó que el uso de grava de ½" o menor favorece una mezcla más homogénea y un mejor desempeño mecánico, por lo que se recomienda mantener este tamaño máximo de agregado en este tipo de mezclas si es que se requiere replicar.

En relación con la resistencia a compresión, se reconoce la necesidad de profundizar un poco más en configuraciones adicionales, como lo es aquella en la que las pilas se colocan verticalmente en grupos de cuatro unidades y centradas en el espécimen de concreto. Durante la experimentación se observaron comportamientos que sugieren que este acomodo podría mejorar la respuesta mecánica bajo carga axial, por lo que se recomienda abordar este aspecto en estudios posteriores.

En cuanto a los aspectos económicos, aunque el costo del concreto no se modifica en realidad, la sustitución parcial del agregado grueso por pilas permite una reducción aproximada del 2% cuando se producen volúmenes mayores de mezcla. Esto debido a que las pilas pueden provenir de programas o convenios de reciclaje y si es así, no representarían un costo adicional. Por lo tanto, su uso podría tener una ventaja económica en aplicaciones donde la reducción de costos sea un factor relevante.

Respecto a la tipología de las pilas, este estudio se limitó exclusivamente al uso de pilas AA, por ser las más comunes en dispositivos electrónicos. Sin embargo, evaluar otras como AAA, de litio o combinaciones entre ellas podría ofrecer vista de un panorama más amplio sobre su efecto en el rendimiento del concreto. No obstante, es importante mantener un control estricto de las variables que puedan surgir, ya que incrementar el número de tipos de pilas podría dificultar y hacer aún más complicado el análisis de los resultados.

Al revisar los objetivos planteados en este trabajo, se concluye que la mezcla con el menor porcentaje analizado (5%) presenta una reducción moderada de la resistencia respecto al concreto convencional con relación agua-cemento 0.61. Aunque no iguala su

desempeño, esta mezcla conserva propiedades suficientes para ser considerada dentro de la categoría de concreto ligero o de baja densidad, lo que abre la posibilidad de ser usada en elementos no estructurales o de relleno donde se requiere un menor peso.

Finalmente, este trabajo puede considerarse como una base para futuras investigaciones relacionadas con el uso de pilas alcalinas recicladas en materiales cementantes. Si bien no se abarcaron todas las pruebas necesarias para una caracterización completa, el estudio establece una línea inicial de análisis a nivel de laboratorio.

XV. BIBLIOGRAFIA

ACI 221R. (2008). *American Concrete Institute*.

BBASS, KHAN Y MOURAD (2018), Evaluation of mechanical properties of steel fiber reinforced concrete with different strengths of concrete. Artículo científico Gale Academic Onefile. Consultado el 15 de marzo del 2022.

Al-Amoudi, O. S. B. (1995). Performance of 15 reinforced concrete mixtures in magnesium-sodium sulphate environments. *Construction and Building Materials*, 9(3), 149–158. [https://doi.org/10.1016/0950-0618\(95\)00007-3](https://doi.org/10.1016/0950-0618(95)00007-3)

ASTM C150. (2007). *Standard Specification for Portland Cement*.

AASHTO. (1993). AASHTO guide for design of pavement structures. Obtenido de <https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>

Acevedo Jaramillo, A. B., & Posada Franco, J. E. (Enero-Junio de 2019). Polietileno tereftalato como reemplazo parcial del agregado fino en mezclas de concreto. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, XVIII(34), 45-56. doi:10.22395/rium.v18n34a3

Alesmar, L., Rendón, N., & Korody, M. E. (Febrero de 2008). Diseños de mezcla de tereftalato de polietileno (PET)-Cemento. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V.*, XXIII(1), 77-86.

Aquino Castro, Y. J. (2019). Estudio comparativo de la influencia del plástico (PET) en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto reciclado y concreto convencional. Perú.

ASTM. (1978). ASTM C78-02: Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).

AKTAR, SHARMIN et al. 2019. Determination of compressive strength of concrete by using steel nail. 2, Bangladesh : Presidency University, 2019, Vol. 32.

- Bonen, D., & Cohen, M. D. (1992). Magnesium sulfate attack on portland cement paste-I. Microstructural analysis. *Cement and Concrete Research*, 22(1), 169–180. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(92\)90147-N](https://doi.org/10.1016/0008-8846(92)90147-N)
- Braverman-Bronstein, A., Camacho-García-Formentí, D., Zepeda-Tello, R., Cudhea, F., M. Singh, G., Mozaffarian, D., & Barrientos-Gutierrez, T. (10 de Diciembre de 2019). Mortality attributable to sugar sweetened beverages consumption in Mexico: an update. *International Journal of Obesity*(44), 1341-1349. doi:10.1038/s41366-019-0506-x
- CAGGIANO, Antonio, et al 2017. On the mechanical response of Hybrid Fiber Reinforced Concrete with Recycled and Industrial Steel Fibers.
- CANACEM. (2007). *Cámara Nacional del Cemento*.
- Carrillo, J., & Alcocer, S. (Octubre-Diciembre de 2012). Revisión de criterios de sostenibilidad en muros de concreto para viviendas sismorresistentes. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XIII(4), 479-487. doi:1405-7743 FI-UNAM
- Castillo, J. I., & Bolaños, J. L. (2005). Tecnología para el tratamiento de pilas y baterías desechadas a partir de equipos electrónicos portátiles. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 21, 1159–1164.
- Castro, B. P. (1998). *Corrosión en estructuras de concreto armado. Teoría, Inspección, Vida útil y Reparaciones* (Primera Edición). IMCYC.
- Cobos-Sáenz de Viteri, L. A., & Wladimir Valle-Benítez, A. (Septiembre de 2021). Estudio comparativo sobre el comportamiento mecánico del concreto con fibra de polietileno tereftalato (PET) reciclado y concreto con fibra de acero. *Dominio de las ciencias*, VII(5), 798-818. doi:2477-8818
- CONACYT. (2023). CONACYT. Obtenido de Programas Nacionales Estratégicos: <https://conacyt.mx/pronaces/>
- Del Valle Morena, A. (2001). *El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado*. Instituto Mexicano del Transporte.
- Directive 2003/108/EC, European Parliament and Council of Waste of Electrical and Electronic Equipment, Official Journal of European Union.
- E. Huincho Salvatierra, “Concreto de alta Resistencia usando aditivo superplastificante, microsílice y nanosílice con cemento portland tipo I”, Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2011
- Foti, D. (21 de Diciembre de 2010). Preliminary analysis of concrete reinforced with waste bottles PET fibers. *Construction and Building Materials*(25), 1906-1915. doi:10.1016/j.conbuildmat.2010.11.066

- González de la Cotera, M. (1991, December). *Ataque químico al concreto*.
- Gonzales Armas, R. K. (2016). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto con la incorporación de PET en diferentes porcentajes. Perú.
- Gravina, R. J., Xie, T., Bennett, B., & Visintin, P. (2021). HDPE and PET as aggregate replacement in concrete: life-cycle assessment, material development and a case study. *Journal of Building Engineering*(44), 1-14. doi:10.1016/j.job.2021.103329
- Guy, A. (1980). *Deterioro de los materiales*. Mc Graw Hill.
- Guzmán, D. (2011). *Durabilidad y Patología del Concreto*, (Segunda Edición). Nomos SA.
- HOLCIM Apasco. (2015, November 10). *Proceso de fabricación del cemento*. <Http://Www.Holcim.Es/Editorials/Proceso-de-Fabricacion.Html>
- I. Tobón, “Evaluación del Desempeño del Cemento Portland adicionado con Nanopartículas de Silice”, Tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2011
- IEEE. (2004). IEEE 1625 Standard of rechargeable batteries for portable computer USA. *IEEE Power Engineering Society*.
- IMCYC. (2004). Capítulo 1. In *Conceptos básicos del concreto*.
- INECC; SEMARNAT. (2012). GOB. Obtenido de Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos 2012: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187440/diagnostico_basico_extenso_2012.pdf
- Instituto del Concreto. (1997). *Manual Tecnología y Propiedades*. Asociación Colombiana de Productores de Concreto.
- Kalousek, G. L., Porter, L. C., & Benton, E. J. (1972). Concrete for long-time service in sulfate environment. *Cement and Concrete Research*, 2(1), 79–89. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(72\)90025-7](https://doi.org/10.1016/0008-8846(72)90025-7)
- Khajuria, A., & Sharma, P. (Noviembre de 2019). Use of plastic aggregates in concrete. *International journal of innovative technology and exploring engineering (IJITEE)*, IX(1), 4406-4412. doi:2278-3075
- KOSMATKA, S., KERKHOFF, B., PANARESE, W. y TANESI, J., 2004. Diseño y control de mezclas de Concreto [en línea]. Primera. México: Portland Cement Association. ISBN 0893122335. Disponible en: ps://www.nrmca.org/operations/OPERATIONS/Courses_plant-manager.htm.
- Kumar, M., & Monteiro, P. (1998). *Concreto Estructura y Materiales*. IMCYC.

- López Muro, J. D. (Noviembre de 2019). Mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto hidráulico mediante la aplicación de homopolímeros reciclados para su aplicación como pavimento rígido. Queretaro, Queretaro.
- Lugo Mejía, J. E., & Torres Pérez, Y. S. (2019). Caracterización del comportamiento mecánico del concreto simple con adición de fibras poliméricas recicladas PET. Colombia.
- Mendoza, C. J., Aire, C., & Dávila, P. (Enero-Junio de 2011). Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. *Concreto y cemento. Investigación y desarrollo*, II(2), 35-47. doi: 2007-3011
- Montes, L. T., & Garcia, M. R. (2005). Analysis of stucco floors from the citadel of the archaeological zone of Teotihuacán, Mexico. *Materials Research Society Symposium Proceedings*, 852, 353–359.
- Neville, A. (1998). *Concrete Technology (Permeability and Durability)*. Pearson.
- Neville, A. (1999). *Tecnología del concreto*. Pearson.
- Nivea M VegaLongo et al (2002) Impactos sanitarios e ambientais devido aos resíduos gerados por pilhas e baterias usadas. memorias XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y ambiental, México.
- NMX-C-021-ONNCCE. (2015). CEMENTO PARA ALBAÑILERÍA (MORTERO)-ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE ENSAYO. In *INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN*.
- NMX-C-160-ONNCCE. (2004). Concreto - Elaboración y Curado en Obra de Especímenes de Concreto. In *Industria de la Construcción*.
- NMX-C-414-ONNCCE. (2010). Cementantes Hidráulicos - Especificaciones y Métodos de Ensayo. In *Industria de la Construcción*.
- NMX-C-514-ONNCCE. (2016). Resistividad eléctrica del concreto hidráulico - especificaciones y métodos de ensayo. In *Industria de la construcción*.
- NTP 334.090. (2016). Cementos Portland Adicionados. Requisitos. In *INACAL*.
- O. A. Díaz, "La evolución de la industria del cemento con énfasis en Latinoamérica", Universidad San Carlos de Guatemala, 2012
- PULIDO, E., 2014. *Comportamiento a cortante de vigas de hormigón reforzado con fibras* [en línea]. S.I.: Universidad Politécnica de Cataluña - Barcelona. Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/107/146>.
- Sánchez Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. LTDA.

- Santos Cortés, L. d. (Septiembre de 2006). Contribución de fibras PP provenientes de plásticos reciclados en el agrietamiento y resistencia del concreto en pavimentos portuarios de Veracruz. Veracruz, México.
- SCT. (2002). *Materiales para mamposterías-Morteros, Características de los Materiales*.
- Shetty, M. S. (2008). *Concrete technology: Theory and practice*.
- Steven, H., & Kostmatka, B. K. (2017). *Diseño y Control de mezclas de Concreto*. Portland Cement Association.
- Torres Acosta, A. (2001). Diseño de Estructuras de Concreto con Criterios de Durabilidad. *Publicación Técnica No.181*.
- Torres Acosta, A. (2005). El efecto de la corrosión y su efecto en la infraestructura del concreto en México. . *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia*, 30, 245–251.
- Valencia, G., Mejia de Gutiérrez, R., Barrera, J., & Delvasto, S. (2012). Durability and Corrosion Study of reinforced blended mortars with tuff and sugar cane bagasse ash. *Revista de La Construcción* , 11(2), 112–122.
- Valenzuela, A. (2015). Las patentes de hormigón armado. Del gran negocio al gran desarrollo tecnológico. Los antecedentes del movimiento moderno. : : *Revista Indexada de Textos Académicos*, 134–135.
- Vilakazi, S., Onyari, E., Nkwonta, O., & Bwapwa, J. K. (1 de Noviembre de 2022). Reuse of domestic sewage sludge to achieve a zero waste strategy & improve concrete strength & durability - A review. *South African Journal of Chemical Engineering*(43), 122-127. doi:10.1016/j.sajce.2022.10.012
- Zhou, Y., Li, M., & Sui, M. (2016). Effect of sulfate attack on the stress–strain relationship of FRP-confined. . . *Construction and Building Materials*, 110, 235–250.

XV. ANEXOS

XV.1 Anexo 1



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
SECRETARÍA ADMINISTRATIVA
COORDINACIÓN DE GESTIÓN PARA LA SUSTENTABILIDAD



Centro Universitario a 19 de junio de 2024

Oficio núm. CGS/146/2024

Asunto: donación de pilas

Dr. José Luis Reyes Araiza
Coordinador de la Maestría en Ciencias de la DIPFI

David Sánchez Barrera
Estudiante de la Maestría en Ciencias
PRESENTE

Por medio de la presente me dirijo a usted para extenderle un cordial saludo, asimismo aprovecho para dar respuesta a su oficio con carácter de solicitud.

Con mucho gusto nos mostramos en la mejor disposición de apoyar su petición y su proyecto que pretende llevar a cabo, únicamente recordarle que las baterías, algunas, ya se encuentran en deterioro, por lo que se sugiere manejarlas con extremo cuidado.

Le solicito nos informe el día y hora en que vendría a recoger el material solicitado para dejar indicaciones a los compañeros. Copio asimismo a la Lic. Melissa García, quien es responsable del manejo de residuos, en la coordinación.

Sin más por el momento, quedo atento a cualquier duda o comentario, me despido con un cordial saludo.

ATENTAMENTE

“Educo en la verdad y en el honor”

Lic. En Biol. J. Leonardo Álvarez Alvarado
Coordinador de Gestión para la Sustentabilidad
Correo: leonardo.alvarez@uaq.mx

C. c. p. Archivo



✉ leonardo.alvarez@uaq.mx
✉ karina.estela.martinez@uaq.mx
☎ 442 192 12 00 EXT. 3335

📍 Centro Universitario, Cerro de las Campanas s/n,
Santiago de Querétaro, Qro. México, C.P. 76010.

Padrón de prestadores de Manejo Integral de los Residuos de Manejo Especial

REGISTRO	RAZÓN SOCIAL	DOMICILIO	CONTACTO	MUNICIPIO	TIPO DE RESIDUOS	VIGENCIA	ESPECIALIDADES
SEDESU/RPPSA/053-06	C. MA. GUADALUPE GARCÍA LEPSMA	CARLOS ZETINA 123, REFORMA AGRARIA, QUERÉTARO, QUERÉTARO, C.P. 76085	Tel. (442) 222 0778 Email: reosbauser@hotmail.com	QUERÉTARO	RESIDUOS MEZCLADOS	2021-05-04 a 2022-02-28	Recolección y transporte
SEDESU/RPPSA/055-06	GEN INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.	ACCESO 866, ZONA INDUSTRIAL, BENITO JUAREZ, QUERÉTARO, QUERÉTARO, C.P. 76200	Tel. 210-4210 EXT. 106 Fax: Email: info@genia.mx	QUERÉTARO	CARTÓN, CHATAARRA METÁLICA, MADERA, METALES FERROSOS Y NO FERROSOS, PAPEL, RESTOS DE ALIMENTOS, TAMBOS, VIDRIO, POLIESTIRENO (PS), POLIETILENO DE ALTA Y BAJA DENSIDAD (HDPE Y LDPE), POLIPROPILENO (PP), RESIDUOS TECNOLÓGICOS, RESIDUOS MEZCLADOS, TERREFLUATO DE POLIETILENO (PET), OTRO, GARRAFAS, TOTES, SUPPLER SACS	2021-07-03 a 2022-04-30	Recolección y transporte Acopio y almacenamiento Reciclación
SEDESU/RPPSA/061-06	C. CASIMIRO GARCÍA LEPSMA	JULIÁN RAMÍREZ 13, REFORMA AGRARIA, QUERÉTARO, QUERÉTARO, C.P. 76085	Tel. (442) 222 32-53 Fax: Email: carlgar@hotmail.com	QUERÉTARO	CARTÓN, CHATAARRA METÁLICA, MADERA, POLICOLORURO DE VINILO (PVC), POLIESTIRENO (PS), POLIETILENO DE ALTA Y BAJA DENSIDAD (HDPE Y LDPE), POLIPROPILENO (PP), TERREFLUATO DE POLIETILENO (PET), OTRO, PLÁSTICO ABS Y OTROS PLÁSTICOS DE INGENIERÍA.	2021-04-14 a 2022-04-30	Recolección y transporte Acopio y almacenamiento Separación
SEDESU/RPPSA/068-06	METALES RECICLABLES DE QUERÉTARO, S.A. DE C.V.	CARRETERA A MONTENEGRO S/N, SANTA ROSA, JAUQUESUI, QUERÉTARO, QUERÉTARO, C.P. 76200	Tel. (442) 210 2977 Fax: Email: admin1@metarec.com.mx	QUERÉTARO	CARTÓN, CHATAARRA METÁLICA, MADERA, POLIETILENO DE ALTA Y BAJA DENSIDAD (HDPE Y LDPE)	2021-04-29 a 2022-04-30	Recolección y transporte Acopio y almacenamiento Separación
SEDESU/RPPSA/073-07	C. ONIAR SIMÓN HERRERINO HERRERINO	AV. PASEO CENTRAL 694, SAN CAYETANO, QUERÉTARO, SAN JUAN DEL RÍO, C.P. 76907	Tel. 4722263579 Fax: Email: servicio_tecnic@hac.com	SAN JUAN DEL RÍO	CARTÓN, MADERA, METALES FERROSOS Y NO FERROSOS, PAPEL, RESIDUOS DE CERALES, TAMBOS, TEXTILES, VIDRIO, POLICOLORURO DE VINILO (PVC), POLIESTIRENO (PS), POLIETILENO DE ALTA Y BAJA DENSIDAD (HDPE Y LDPE), POLIPROPILENO (PP), RESIDUOS MEZCLADOS, TERREFLUATO DE POLIETILENO (PET), OTRO, BARRERAMA DE PRODUCTO ALIMENTICIO, TABLEROS ELECTRONICOS SIN COMPONENTES Y CON COMPONENTES, PLÁSTICOS DE INGENIERÍA.	2021-07-23 a 2022-03-31	Recolección y transporte Acopio y almacenamiento Separación
SEDESU/RPPSA/075-07	C. JOSÉ JAVIER CÁRDENAS JUÁREZ	ENTRONQUE RODRIGO JESÚS MARÍA PARCELA 72 Z-1974, JESUS MARIA, QUERÉTARO, EL MARQUÉS, C.P. 76267	Tel. (442) 277 30-42 Fax: Email: kermoy@gmail.com	EL MARQUÉS	CARTÓN, MADERA, METALES FERROSOS Y NO FERROSOS, PAPEL, RESTOS DE ALIMENTOS, RESIDUOS MEZCLADOS, OTRO, GARRAFAS Y CLERETAS, PLÁSTICOS DE INGENIERÍA, ORGANICOS (CHIRAL, HUMERO)	2021-11-11 a 2022-04-30	Recolección y transporte Acopio y almacenamiento Separación
SEDESU/RPPSA/083-07	TOHA, S.A. DE C.V.	PARCELA EJIDO STA. MARIA MAGDALENA S/N, EJIDO SANTA MARIA MAGDALENA, QUERÉTARO, QUERÉTARO, C.P. 76138	Tel. 01 (442) 4547722 Fax: Email: administracion@toha.com.mx Tel. (442) 2172201	QUERÉTARO	CARTÓN, CHATAARRA METÁLICA, MADERA, RESIDUOS MEZCLADOS, TERREFLUATO DE POLIETILENO (PET)	2021-04-26 a 2022-04-30	Recolección y transporte Acopio y almacenamiento Separación
SEDESU/RPPSA/084-07	LAS AMÉRICAS CARTONERA, S.A. DE C.V.	CERRO DEL ZANOHAR 162, LAS AMÉRICAS, QUERÉTARO, QUERÉTARO, C.P. 76121	Fax: Email: centinah-61@hotmail.com	QUERÉTARO	CARTÓN, PAPEL	2021-04-22 a 2022-04-30	Estación de transferencia Acopio y almacenamiento Separación
SEDESU/RPPSA/085-07	PLÁSTICOS DE LAS AMÉRICAS, S.A. DE C.V.	CARRETERA ESTATAL 309 KM 30-419, NAVE 50, TIERRA BLANCA, QUERÉTARO, EL MARQUÉS, C.P. 76256	Tel. (442) 240 30-22 Fax: Email: rgarcia@plasma.com	EL MARQUÉS	POLICOLORURO DE VINILO (PVC), POLIESTIRENO (PS), POLIETILENO DE ALTA Y BAJA DENSIDAD (HDPE Y LDPE), POLIPROPILENO (PP), TERREFLUATO DE POLIETILENO (PET)	2021-03-29 a 2022-04-30	Acopio y almacenamiento Separación Tratamiento Reciclación y transporte
SEDESU/RPPSA/094-07	C. ROGELIO GALDE DOPIANTES	CAMINO VIEJO AL CORRIÓN 65, LA PREDA, QUERÉTARO, EL MARQUÉS, C.P. 76246	Fax: Email: roci@roci.com Tel. 4422741751	EL MARQUÉS	CARTÓN, CHATAARRA METÁLICA, LUDOS RESCULARES, NO FERROSOS, MADERA, METALES FERROSOS Y NO FERROSOS, PAPEL, POLICOLORURO DE VINILO (PVC), POLIESTIRENO (PS), POLIETILENO DE ALTA Y BAJA DENSIDAD (HDPE Y LDPE), POLIPROPILENO (PP), RESIDUOS MEZCLADOS, TERREFLUATO DE POLIETILENO (PET)	2021-02-24 a 2022-04-30	Recolección y transporte Acopio y almacenamiento Separación Reciclación
SEDESU/RPPSA/097-07	VERUA RESIDUOS BAÑO, S.A. DE C.V.	CARRERA SAUTEITE-MONTEAHI KM. 3.5 S/N, TLACOTE EL BAÑO, QUERÉTARO, QUERÉTARO, C.P. 76280	Fax: Email: info@verua.com Tel. 4422222222	QUERÉTARO	AGUAS RESIDUALES, INGENIERÍA, LUDOS RESIDUALES, NO FERROSOS, RESTOS DE ALIMENTOS, RESIDUOS MEZCLADOS	2021-04-23 a 2022-04-30	Recolección y transporte Flella sanitario

XV.3 Anexo 3



Fuente propia.

XV.4 Anexo 4



Fuente propia.