



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**

Facultad de Ingeniería Civil

**“Comportamiento físico-mecánico de
morteros elaborados con pétreos de dos
bancos del estado de Michoacán”**

TESIS

Para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

ENRIQUE RUIZ HURTADO

Asesor:

DR. WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA

Coasesor interno:

**M.I.T. SANDRA DEL CARMEN ARGUELLO
HERNÁNDEZ**

Coasesor externo:

DRA. HEIDY GÓMEZ BARRANCO



Morelia Michoacán, septiembre 2022



RESUMEN

El mortero es uno de los elementos de construcción más utilizados en el mundo gracias a su amplia gama de posibilidades de uso en la construcción, generalmente utilizado en la pega de piezas de mampostería de muros o también para recubrirlos. Parte importante del mortero es su material de relleno o agregado fino, del cual dependerá la cantidad del mismo, de acuerdo a las características y propiedades del agregado utilizado. En el presente estudio se evaluará el comportamiento físico-mecánico de morteros con distintas proporciones de agregado fino, a partir de pruebas de resistencia a diferentes edades tempranas y tardías con dos diferentes agregados del estado de Michoacán, la arena de río del banco de materiales “El Coro” (CH) y la arena volcánica del banco de materiales “Joyitas” (J), para conocer el impacto de las arenas utilizadas en esta región. Se elaboraron 12 distintas mezclas dónde se fue variando la cantidad de arena, con base en los proporcionamientos recomendados por la (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014) y la (N-CMT-2-01-004, 2002). En la elaboración de los morteros en sus distintas proporciones, primero se realizó una caracterización de los agregados pétreos utilizados, determinando su granulometría, humedad de absorción y su densidad; del cemento de albañilería (mortero hidráulico comercial) se obtuvo la masa volumétrica seca y suelta (MVSS) y masa volumétrica seca varillada (MVSV); del cemento portland se determinaron su densidad, tiempo de fraguado y consistencia normal y, finalmente, de la cal hidratada se obtuvo la masa volumétrica seca y suelta (MVSS) y su consistencia normal. Se realizaron pruebas a las mezclas de mortero a edades tempranas de 7, 14 y 28 días y a edades tardías de 90 y 180 días, las pruebas fueron de resistencia a la compresión simple, resistencia a la flexión, tensión y resistividad eléctrica, con estos datos se comparó y analizó la posible correlación entre las diferentes pruebas. Se realizaron ensayos en cilindros de mortero de 5 cm de diámetro x 10 cm de altura a edades de 28 y 180 días, para obtener los módulos de elasticidad estático en los diferentes proporcionamientos de estudio y se realizaron ensayos en pilas de mampostería y muretes para obtener su resistencia a la compresión y esfuerzo cortante respectivamente. Como resultado se tiene que los proporcionamientos con arena volcánica del Banco “Joyitas” (J) son los que mejor comportamiento físico-mecánico presentaron de una manera más constante y lineal en el transcurso de todas las edades de estudio, aunque estas mezclas presentaron una resistividad eléctrica menor a las de El Coro (CH). Las mezclas con arena de “Joyitas”, presentaron mayores resistencias a compresión y flexión; siempre tuvieron una correlación muy directa con lo obtenido en su resistividad eléctrica dónde las mezclas con mayores resistividades obtenían de igual forma la mayor resistencia mecánica.

Palabras clave: Mortero, resistividad, compresión, flexión, tensión.



ABSTRACT

Mortar is one of the most widely used construction elements in the world thanks to its wide range of possibilities of use in construction, generally used in the gluing of masonry pieces of walls or also to cover them. An important part of the mortar is its filler material or fine aggregate, on which the quantity will depend, according to the characteristics and properties of the aggregate used. In the present study, the physical-mechanical behavior of mortars with different proportions of fine aggregate will be evaluated, based on resistance tests at different early and late ages with two different aggregates from the state of Michoacán, river sand from the "El Coro" (CH) materials bank and volcanic sand from the "Joyitas" (J) materials bank, in order to know the impact of the sands used in this region. Twelve different mixtures were elaborated where the amount of sand was varied, based on the proportions recommended by the (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014) and the (N-CMT-2-01-004, 2002). In the preparation of the mortars in their different proportions, first a characterization of the stone aggregates used was carried out, determining their granulometry, absorption moisture and density; The dry and loose volumetric mass of the masonry cement (commercial hydraulic mortar) and the dry and loose volumetric mass (MVSS) were obtained; the density, setting time and normal consistency of the portland cement were determined; and finally, the dry and loose volumetric mass (MVSS) and normal consistency of the hydrated lime were obtained. The mortar mixtures were tested at early ages of 7, 14 and 28 days and at late ages of 90 and 180 days, the tests were of resistance to simple compression, resistance to bending, tension and electrical resistivity. Tests were carried out on mortar cylinders of 5 cm diameter x 10 cm height at ages of 28 and 180 days, to obtain the static modulus of elasticity in the different proportions under study, and tests were carried out on masonry piles and walls to obtain their compressive strength and shear strength, respectively. As a result, the proportions with volcanic sand from the "Joyitas" (J) bank showed the best physical-mechanical behavior in a more constant and linear manner throughout the study ages, although these mixtures had a lower electrical resistivity than those from El Coro (CH). The mixtures with sand from "Joyitas" presented higher compressive and flexural strengths; they always had a very direct correlation with the electrical resistivity obtained, where the mixtures with higher resistivities also obtained the highest mechanical strength.

Keywords: Mortar, resistivity, compression, flexure, tension.



DEDICATORIAS

Este importante logro de vida va dirigido principalmente a mi madre; María Guadalupe Hurtado Camarillo, quien, a pesar de no haber estado en vida desde mi primer año de universidad, siempre estuvo presente en mi mente y mis ganas de seguir creciendo como persona.

También este logro está dedicado a mis hermanos; Jesús, David y Diana quienes en todo momento me estuvieron apoyando, principalmente por siempre estar ahí cuando más los necesitaba, por ser la compañía que necesitaba en mis momentos de soledad y tristeza, así como de los días felices. De igual manera este logro se lo dedico a mi papá por siempre dejarme seguir mis ideales, a mis abuelos por siempre confiar en mí y darme sus consejos que me han servido de mucho durante toda mi carrera universitaria y la vida.

Le dedico este logro con mucho cariño, alegría y lágrimas al pequeño Enrique de los años difíciles, aquel que, a pesar de las circunstancias vividas, siempre tuvo la garra para salir adelante.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre por todos los buenos momentos y consejos que me dio en vida, que fueron de primordial ayuda durante toda esta etapa universitaria.

Agradezco a mi padre por siempre apoyarme en mis ideales y también por apoyarme en lo económico durante los años de estudio de lo cual estoy muy agradecido.

Agradezco a mis hermanos por siempre estar ahí cuando más los necesitaba, porque gracias a su presencia y compañía es posible sobrellevar los malos momentos y es algo que siempre les agradeceré.

Agradezco a mis abuelos por ser los que siempre recargaban mis energías cada vez que regresaba al rancho, con sus buenas vibras, los consejos, la comida y las pláticas amenas que siempre he escuchado con mucho cariño.

Agradezco a todos mis compañeros y amigos de la universidad; “Los Leos” con los que compartí infinidad de momentos y a los que les guardo un gran cariño, “Los Krelboynes” por los buenos momentos, a Eduardo Méndez (Lalo) por ser de gran apoyo en las diferentes pruebas que realice a lo largo del estudio, a todos los del servicio social del laboratorio de materiales por brindarme su apoyo en las pruebas realizadas.

Agradezco infinitamente el gran apoyo que tuve de parte de la Maestra Sandra y del Maestro Cipriano Bernabé (Berna) los cuales siempre estuvieron ahí apoyando en las dudas e inquietudes que se iban presentando. Y también por ayudarme en aquellas pruebas que se demoraban hasta altas horas de la noche.

Agradezco a mi asesor de tesis, el Dr. Wilfrido Martínez Molina por brindar su apoyo y conocimientos para desarrollar y mejorar este trabajo de investigación y por apoyarme cuando surgían dudas.

Agradezco al laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” así como a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por ser mi segunda casa y el lugar de mi formación académica.



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	i
ABSTRACT.....	ii
DEDICATORIAS	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
TABLA DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
JUSTIFICACIÓN	xvi
OBJETIVOS.....	xvii
OBJETIVO GENERAL.....	xvii
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	xvii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO, REFERENCIAL Y CONCEPTUAL	2
2.1. DEFINICIONES.....	2
2.2. EL MORTERO	4
2.2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	4
2.2.1.1. CONSTITUCIÓN Y PROPIEDADES.....	6
2.2.1.2. CLASIFICACIÓN Y TIPOS.....	7
2.3. CEMENTO PORTLAND	8
2.3.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	9
2.3.1.1. CONSTITUCIÓN Y PROPIEDADES.....	10
2.3.1.2. PROCESO DE FABRICACIÓN.....	12
2.3.1.3. CLASIFICACIÓN Y TIPOS.....	14
2.4. CAL HIDRATADA	15
2.5. AGUA.....	15
2.6. AGREGADOS PÉTREOS	16
2.6.1. CLASIFICACIÓN	16
2.6.1.1. PROPIEDADES.....	17
2.6.1.2. ESPECIFICACIONES	18



3.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	19
3.1.	CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.....	19
3.1.1.	MUESTREO	21
3.1.1.1.	CUARTEO.....	22
3.1.1.2.	GRANULOMETRÍA	26
3.1.1.3.	HUMEDAD DE ABSORCIÓN Y LA DENSIDAD EN ARENAS	28
3.2.	CARACTERIZACIÓN DE LOS CEMENTANTES	32
3.2.1.	MORTERO.....	32
3.2.1.1.	MASA VOLUMÉTRICA SECA Y SUELTA (MVSS).....	32
3.2.1.2.	MASA VOLUMÉTRICA SECA VARILLADA (MVSV)	33
3.3.	CEMENTANTES HIDRÁULICOS Y SU CARACTERIZACIÓN	35
3.3.1.	DENSIDAD Y SU DETERMINACIÓN	35
3.3.2.	TIEMPO DE FRAGUADO.....	38
3.3.3.	CONSISTENCIA NORMAL.....	41
3.4.	LA CAL HIDRATADA	42
3.4.1.	MASA VOLUMETRICA SECA Y SUELTA (MVSS).....	43
3.4.2.	DENSIDAD.....	44
3.5.	EL DISEÑO DEL MORTERO.....	45
3.5.1.	PROPORCIONAMIENTO POR PARTES EN VOLUMEN DE MEZCLAS PLÁSTICAS AGLOMERANTES EN ESTADO FRESCO	45
3.5.2.	FLUIDEZ	47
3.6.	PROCESO DE ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES.....	49
3.6.1.	ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES CÚBICOS DE 50 mm POR LADO.....	49
3.6.2.	ELABORACIÓN DE PRISMAS DE MORTERO DE 40 mm X 40 mm X 160 mm ...	51
3.6.3.	ELABORACIÓN DE BRIQUETAS DE MORTERO	53
3.6.4.	ELABORACIÓN DE CILINDROS DE MORTERO 50 mm X 100 mm.....	55
3.6.5.	ELABORACIÓN DE PILAS Y MURETES	57
3.7.	ENSAYOS A ESPECÍMENES.....	58
3.7.1.	ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.....	58
3.8.	ENSAYOS DESTRUCTIVOS.....	62
3.8.1.	PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE A ESPECÍMENES CÚBICOS.....	62
3.8.2.	PRUEBA DE FLEXIÓN A ESPECÍMENES PRISMÁTICOS	64
3.8.3.	PRUEBA DE TENSIÓN A ESPECÍMENES BRIQUETAS	66



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

3.8.4.	PRUEBA DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD ESTÁTICO A CILINDROS	68
3.8.5.	PRUEBAS DE ESFUERZO CORTANTE A MURETES	72
3.8.6.	PRUEBAS DE COMPRESIÓN A PILAS	74
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	75
4.1.	RESULTADOS DE PRUEBAS DE LA CARACTERIZACIÓN	75
4.1.1.	RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS	75
4.2.	CEMENTANTES HIDRÁULICOS.....	80
4.2.1.	DETERMINACIÓN DE CONSISTENCIA NORMAL, TIEMPO DE FRAGUADO Y DENSIDAD DEL CEMENTO PORTLAND (CPC 30 R RS).....	80
4.2.2.	DENSIDAD Y MASA VOLUMÉTRICA SECA Y SUELTA DE LA CAL HIDRATADA ..	81
4.2.3.	MASA VOLUMÉTRICA SECA Y SUELTA DEL CEMENTO DE ALBAÑILERÍA.....	81
4.2.4.	ANÁLISIS DE AGUA	82
4.3.	DISEÑO Y MEZCLAS DE MORTERO UTILIZADAS	83
4.3.1.	FLUIDEZ	86
4.4.	ESPECÍMENES ENSAYADOS	87
4.4.1.	PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS	88
4.5.	PRUEBAS DESTRUCTIVAS	97
5.	CONCLUSIONES.....	127
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	129



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de mortero y su resistencia a la compresión.-----	8
Tabla 2. La composición química de los cementos % en masa. Fuente: Propia.-----	11
Tabla 3. Composición Química del Clinker. Fuente: Dr. Ciencias Geológicas. Unidad de Geomática. Centro de Estudios de Técnica Aplicadas (CEDEX-MOPTMA). -----	11
Tabla 4. Tipos de cemento portland de acuerdo a su composición. Fuente: (N-CMT-2-02-001, 2002). -----	14
Tabla 5. Clases resistentes de cementos portland. Fuente: (N-CMT-2-02-001, 2002). -----	14
Tabla 6. Clasificación de cemento portland por características especiales. Fuente: (N-CMT-2-02-001, 2002). -----	15
Tabla 7. Clasificación de los agregados según su tamaño. Fuente: (Ferreira Cuellar & Torres López, 2014).-----	17
Tabla 8. Tipos de minerales en los agregados pétreos. Fuente: (Ferreira Cuellar & Torres López, 2014).-----	18
Tabla 9. Límites de granulometría para el agregado fino. Fuente: (NMX-C-111-ONNCCE, 2018). -----	18
Tabla 10 Normativas, ensayos y sus características obtenidas del agregado. -----	21
Tabla 11. Tipos de mortero y sus proporcionamientos propuestos en la N-CMT-2-01-004/02. -----	46
Tabla 12. Tipos de morteros y su proporcionamientos sugeridos por la NMX-C-486-2014. -	46
Tabla 13. Especificaciones de resistividad eléctrica de acuerdo a la norma (NMX-C-514-ONNCCE-2019, 2019).-----	61
Tabla 14. Tipos de mortero y resistencia de diseño a la compresión para uso estructural. --	63
Tabla 15. Tipos de mortero y resistencia de diseño a la compresión para uso No estructural. -----	64
Tabla 16. Factores Correctivos para las resistencias de pilas con diferentes relaciones de Altura/Espesor. -----	74
Tabla 17. Pruebas y resultados de caracterización del agregado pétreo del Banco Joyitas. Fuente: (Mondragón Martínez , 2021).-----	76
Tabla 18. Pruebas y resultados de caracterización del agregado pétreo del Banco El Coro. Fuente: (Mondragón Martínez , 2021).-----	76
Tabla 19. Resumen de resultados de densidad relativa de agregados en estudio. Fuente: (Mondragón Martínez , 2021).-----	77
Tabla 20. Resumen de resultados de absorción de agregados en estudio. Fuente: (Mondragón Martínez , 2021).-----	77
Tabla 21. Resumen de los resultados obtenidos de MVSS de los agregados en estudio. Fuente: (Mondragón Martínez , 2021).-----	78
Tabla 22. Resumen de los resultados obtenidos de MVSV de los agregados en estudio. Fuente: (Mondragón Martínez , 2021).-----	78
Tabla 23. Análisis Granulométrico de la Arena Joyitas (J). Fuente: Propia. -----	78
Tabla 24. Análisis Granulométrico de la Arena El Coro (CH). Fuente: Propia. -----	79
Tabla 25. Resultados obtenidos de ensayos al Cemento Portland. Fuente: (Mondragón Martínez , 2021). -----	80



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Tabla 26. Resultados obtenidos en pruebas de densidad y MVSS en la cal hidratada. Fuente: (Durán Ramos , 2021). ----- 81

Tabla 27. Resultado obtenido de prueba de MVSS en Cemento de Albañilería utilizado en las pruebas. Fuente: (Durán Ramos , 2021). ----- 82

Tabla 28. Resultados obtenidos de laboratorio al agua usada en todas las pruebas de este estudio. Fuente: (Mondragón Martínez , 2021). ----- 82

Tabla 29. Diseño de mezclas de mortero Tipo I - Proporcionamiento por partes en volumen utilizado en estudios de (Mondragón Martínez , 2021) y (Durán Ramos , 2021).----- 83

Tabla 30. Diseño de mezclas de mortero Tipo II - Proporcionamiento por partes en volumen utilizado en estudios de (Mondragón Martínez , 2021) y (Durán Ramos , 2021).----- 84

Tabla 31. Diseño de mezclas de mortero Tipo III - Proporcionamiento por partes en volumen utilizado en estudios de (Mondragón Martínez , 2021) y (Durán Ramos , 2021).----- 85

Tabla 32. Diseño de mezclas de mortero utilizado correspondiente a agregado El Coro (CH). Proporcionamiento en volumen.----- 85

Tabla 33. Diseño de mezclas de mortero utilizado correspondiente a agregado Joyitas (J). Proporcionamiento en volumen.----- 85

Tabla 34. Resultados obtenidos de fluidez en los diferentes proporcionamientos en volumen utilizados para el estudio con Arena volcánica Joyitas (J). Fuente: Propia. ----- 86

Tabla 35. Resultados obtenidos de fluidez en los diferentes proporcionamientos en volumen utilizados para el estudio con Arena de río El Coro (CH). Fuente: Propia. ----- 86

Tabla 36. Total, de especímenes realizados para todos los ensayos correspondientes de este estudio. Fuente: Propia. ----- 87

Tabla 37. Simbología utilizada en los gráficos para los proporcionamientos. Fuente: Propia. ----- 88

Tabla 38. Clasificación del mortero con base a su resistencia a compresión a 28 días. Fuente: Propia. ----- 101

Tabla 39. Datos de Esfuerzos máximos en pilas con agregado del Banco El Coro (CH). ----- 122

Tabla 40. Datos de Esfuerzos máximos en pilas con agregado del Banco Joyitas (J). ----- 123

Tabla 41. Datos de Esfuerzos máximos en muretes con agregado del Banco El Coro (CH). 125

Tabla 42. Datos de Esfuerzos máximos en muretes con agregado del río Joyitas (J). Fuente: Propia. ----- 126



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. El famoso teatro de Pompeya. Fuente: Sitio web https://www.visitarpompeya.com/visita/los-edificios-de-espectaculos-de-pompeya/ -----	9
Ilustración 2. El Coliseo Romano una de las construcciones más importantes. Fuente: Sitio web https://www.rome-museum.com/es/coliseo-romano.php -----	9
Ilustración 3. Chichén Itzá, en península de Yucatán en México. Fuente: Sitio web https://www.musement.com/ -----	9
Ilustración 4. Machu Picchu, Perú. Fuente: Sitio web https://viajes.nationalgeographic.com/es/z/machu-picchu -----	9
Ilustración 5. Ubicación del Banco de Material "Joyitas". Fuente: Google Earth.-----	20
Ilustración 6. Ubicación del Banco de Material "El Coro". Fuente: Google Earth.-----	20
Ilustración 7. Secado del agregado "El Coro" en patio del Laboratorio de Materiales. Fuente: Propia.-----	22
Ilustración 8. Secado de agregado "Joyitas" en patio del Laboratorio de Materiales. Fuente: Propia.-----	22
Ilustración 9. Cuarteador en lugar seguro para comenzar el ensayo de muestreo. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).-----	24
Ilustración 10. Colocación de charolas debajo del cuarteador en ambos lados. Fuente: Propia.-----	24
Ilustración 11. Vaciado del agregado (Cuarteo). Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).-----	24
Ilustración 12. Con ayuda de la pala se aplanan la parte superior. Fuente: (Durán Ramos, 2021).-----	25
Ilustración 13. División del agregado. Fuente: (Durán Ramos, 2021).-----	25
Ilustración 14. Se descartan 2 partes. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).-----	25
Ilustración 15. Muestra para el ensayo de granulometría. Fuente: Propia.-----	27
Ilustración 16. Mallas ordenadas y acomodadas para la prueba. Fuente: Propia.-----	27
Ilustración 17. Se programa por 10 minutos. Fuente: Propia.-----	27
Ilustración 18. Se retiran los agregados atorados en la malla. Fuente: Propia.-----	27
Ilustración 19. Uso de molde troncocónico. Fuente: (Durán Ramos, 2021).-----	29
Ilustración 20. Uso de cristal para verificar humedad. Fuente: (Durán Ramos, 2021).-----	29
Ilustración 21. Volumen inicial Vi en Frasco Chapman. Fuente: Propia.-----	31
Ilustración 22. Llenado hasta nivel de aforo (450 ml). Fuente: Propia.-----	31
Ilustración 23. Registro de masa total del frasco. Fuente: (Durán Ramos, 2021).-----	31
Ilustración 24. Vaciado del material. Fuente: (Durán Ramos, 2021).-----	33
Ilustración 25. Masa total de la arena. Fuente: (Durán Ramos, 2021).-----	33
Ilustración 26. Varillado del material. Fuente: (Durán Ramos, 2021).-----	34
Ilustración 27. Enrasado de material. Fuente: (Durán Ramos, 2021).-----	34
Ilustración 28. Llenado de petróleo hasta las marcas 0-1 ml. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).-----	37
Ilustración 29. Primera lectura. Fuente: (Durán Ramos, 2021).-----	37
Ilustración 30. Agregado de cemento. Fuente: (Durán Ramos, 2021).-----	37
Ilustración 31. Lectura final. Fuente: (Durán Ramos, 2021).-----	37
Ilustración 32. Preparación de la muestra. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).-----	40



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Ilustración 33. Amasado de la mezcla para su colocación en el molde. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).	40
Ilustración 34. Muestra en cuarto de curado. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).	40
Ilustración 35. Primera lectura al momento del fraguado. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).	40
Ilustración 36. Medición final. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).	40
Ilustración 37. Vertido de agua en el cemento. Fuente: (Durán Ramos, 2021).	42
Ilustración 38. Aparato de Vicat apoyado sobre cristal liso. Fuente: (Durán Ramos, 2021).	42
Ilustración 39. Lectura de penetración del aparato de Vicat. Fuente: (Durán Ramos, 2021).	42
Ilustración 40. Llenado del recipiente con la muestra. Fuente: (Durán Ramos, 2021).	43
Ilustración 41. Enrasado del material. Fuente: (Durán Ramos, 2021).	43
Ilustración 42. Vaciado de cal al frasco Le Chatelier. Fuente: (Durán Ramos, 2021).	45
Ilustración 43. Toma de lectura final de prueba. Fuente: (Durán Ramos, 2021).	45
Ilustración 44. Mesa de fluidez en condiciones para utilizar. Fuente: Propia.	48
Ilustración 45. Primera capa y compactaciones con el pisón. Fuente: Propia.	48
Ilustración 46. Segunda capa y últimas compactaciones. Fuente: Propia.	48
Ilustración 47. Enrasado de material sobrante. Fuente: Propia.	48
Ilustración 48. Limpieza de platillo para no afectar resultados de fluidez. Fuente: Propia.	48
Ilustración 49. Se retira molde de forma vertical. Fuente: Propia.	48
Ilustración 50. Palanca de fluidez dónde se hacen 25 giros en 15 segundos. Fuente: Propia.	48
Ilustración 51. Toma de lecturas de fluidez. Fuente: Propia.	48
Ilustración 52. Primera capa de mortero de 25 mm aprox. Fuente: Propia.	51
Ilustración 53. Orden de apisonadas. Fuente: NMX-C-061-ONNCCE-2015.	51
Ilustración 54. Segunda y última capa de mortero. Fuente: Propia.	51
Ilustración 55. Enrasado de material excedente. Fuente: Propia.	51
Ilustración 56. Aplicación de capa de aceite en el molde prismático. Fuente: Propia.	53
Ilustración 57. Agregado de primera capa de mortero. Fuente: Propia.	53
Ilustración 58. Apisonado de primera capa. Fuente: Propia.	53
Ilustración 59. Enrasado con pisón de acrílico. Fuente: Propia.	53
Ilustración 60. Llenado de molde con la mezcla de mortero. Fuente: Propia.	55
Ilustración 61. Compactación con pulgares de forma uniforme 12 veces. Fuente: Propia.	55
Ilustración 62. Enrasado de molde con pisón de acrílico. Fuente: Propia.	55
Ilustración 63. Retiro de molde en forma vertical. Fuente: Propia.	55
Ilustración 64. Llenado de primera capa de mortero. Fuente: Propia.	57
Ilustración 65. Varillado en forma de espiral de 25 penetraciones. Fuente: Propia.	57
Ilustración 66. Compactado de molde en superficie firme. Fuente: Propia.	57
Ilustración 67. Elaboración de pilas y muretes para pruebas a 28 días. Fuente: Propia.	58
Ilustración 68. Toma de temperatura de muestras. Fuente: Propia.	60
Ilustración 69. Verificación del adecuado uso y colocación de cables. Fuente: Propia.	60
Ilustración 70. Toma de lectura de voltaje en el Resistómetro. Fuente: Propia.	60
Ilustración 71. Máquina de Pruebas Forney. Fuente: Propia.	63
Ilustración 72. Parte central de la máquina para controlar su funcionamiento.	63
Ilustración 73. Muestra cubica fallada. Fuente: Propia.	63



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Ilustración 74. Marcado de especímenes. Fuente: Propia. -----	65
Ilustración 75. Colocación adecuada del prisma antes de la prueba. Fuente: Propia. -----	65
Ilustración 76. Momento de falla de espécimen prismático. Fuente: Propia.-----	65
Ilustración 77. Máquina para probar briquetas. Fuente: Foto propia.-----	67
Ilustración 78. Briqueta colocada en mordaza antes de su ensayo a tensión. Fuente: Foto propia. -----	67
Ilustración 79. Briqueta de mortero probada a tensión. Fuente. Foto propia. -----	67
Ilustración 80. Colocación de anillos al espécimen cilíndrico a ensayar. Fuente: Propia. ----	69
Ilustración 81. Colocación y centrado de la muestra a ensayar en la máquina universal de pruebas Forney. Fuente: Propia. -----	69
Ilustración 82. Toma de lecturas cada 0.01 para registrar cargas y obtener las gráficas. Fuente: Propia. -----	69
Ilustración 83. Calentamiento de azufre a temperatura óptima para cabeceo de especímenes cilíndricos. Fuente: Propia. -----	71
Ilustración 84. Engrasado de muestras para facilitar el retiro de cabeceo si adherirse al mortero. Fuente: Propia. -----	71
Ilustración 85. Especímen cilíndrico cabeceado con azufre. Fuente: Propia. -----	71
Ilustración 86. Colocación y centrado de murete en Máquina Forney. Fuente: Foto propia. 73	
Ilustración 87. Aplicación de carga diagonal en murete con Máquina de pruebas Forney. Fuente: Foto propia.-----	73
Ilustración 88. Murete fallado y probado a carga diagonal en Máquina Forney. Fuente: Foto propia. -----	73
Ilustración 89. Pila centrada y nivelada en máquina Forney para su ensayo a compresión. Fuente: Foto propia.-----	75
Ilustración 90. Pila fallada y probada a compresión. Fuente: Foto propia. -----	75
Ilustración 91. Arena del Banco El Coro (CH). Fuente: Propia. -----	76
Ilustración 92. Arena del Banco Joyitas (J). Fuente: Propia. -----	76
Ilustración 93. Especímenes colados para las diferentes pruebas destructivas y no destructivas programadas. Fuente: Propia. -----	88



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resultados de análisis granulométrico de Arena Joyitas (J).....	79
Gráfico 2. Resultado de análisis granulométrico de Arena El Coro.	80
Gráfico 3. Resultados de resistividad eléctrica en cubos de mortero correspondientes al Banco Joyitas (J). Mezclas J1, J2, J3, J4, J5 y J6.	89
Gráfico 4. Resultados de resistividad eléctrica en cubos de mortero correspondientes al Banco El Coro (CH). Mezclas: 1CH, 2CH, 3CH, 4CH, 5CH, y 6CH.	90
Gráfico 5. Comparativa de resistividad eléctrica en cubos de mortero a edades tardías de 180 días correspondientes al Banco El Coro vs Banco Joyitas.....	91
Gráfico 6. Resultados de resistividad eléctrica en prismas de mortero correspondientes al Banco Joyitas (J). Mezclas: 1J, 2J, 3J, 4J, 5J y 6J.	92
Gráfico 7. Resultados de resistividad eléctrica en prismas de mortero correspondientes al Banco El Coro (CH). Mezclas: 1CH, 2CH, 3CH, 4CH, 5CH y 6CH.	93
Gráfico 8. Comparación de resistividad eléctrica en prismas de mortero a edades tardías a 180 días correspondientes al Banco El Coro vs Banco Joyitas.....	94
Gráfico 9. Resultados de resistividad eléctrica en cilindros de mortero correspondientes al Banco Joyitas (J).	95
Gráfico 10. Resultados de resistividad eléctrica en cilindros de mortero correspondientes al Banco El Coro (CH).	96
Gráfico 11. Comparativa de resistividad eléctrica en cilindros de mortero con edades tardías de 180 días correspondientes al Banco El Coro vs Banco Joyitas.....	97
Gráfico 12. Resultados de compresión simple en cubos de mortero con Arena Volcánica Joyitas (J).....	98
Gráfico 13. Resultados de compresión simple en cubos de mortero con Arena de Río El Coro (CH).	99
Gráfico 14. Resultados de compresión simple a 28 días en cubos de mortero con agregado El Coro (CH) y Joyitas (J).....	100
Gráfico 15. Comparativa de compresión simple en cubos de mortero a edades tardías a 180 días correspondientes al Banco El Coro vs Joyitas.....	102
Gráfico 16. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión vs resistividad eléctrica en cubos a 28 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro.	103
Gráfico 17. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión vs resistividad eléctrica en cubos a 180 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro.	103
Gráfico 18. Resultados de resistencia a la flexión en prismas de mortero correspondientes al banco Joyitas (J).	104
Gráfico 19. Resultados de resistencia a la flexión en prismas de mortero correspondientes al banco El Coro (CH).	105
Gráfico 20. Resultados de Resistencia a la flexión a 28 días en prismas de mortero con agregado El Coro (CH) y Joyitas (J).....	106
Gráfico 21. Comparativa de resistencias a la flexión en prismas de mortero a edad tardías de 180 días correspondientes al Banco El Coro vs Banco Joyitas.....	106
Gráfico 22. Diagrama de dispersión de la resistencia a la flexión vs resistividad eléctrica en prismas a 28 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro.	107



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Gráfico 23. Diagrama de dispersión de la resistencia a la flexión vs resistividad eléctrica en prismas a 180 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro. 108

Gráfico 24. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión vs resistencia a la flexión a 28 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro..... 108

Gráfico 25. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión vs resistencia a la flexión a 180 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro..... 109

Gráfico 26. Resultados de resistencia a la tensión en briquetas de mortero correspondientes al banco Joyitas (J). 110

Gráfico 27. Resultados de resistencia a la tensión en briquetas de mortero correspondientes al banco El Coro (CH)..... 111

Gráfico 28. Resultados de Resistencia a la tensión a 28 días en briquetas de mortero con agregado El Coro (CH) y Joyitas (J). 112

Gráfico 29. Comparativa de tensión en briquetas de mortero a edades tardías de 180 días correspondientes al Banco El Coro vs Banco Joyitas. 112

Gráfico 30. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión vs resistencia a la tensión a 28 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro..... 113

Gráfico 31. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión vs resistencia a la tensión a 180 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro..... 114

Gráfico 32. Curvas esfuerzo deformación de mezcla I de mortero con agregado El Coro (CH) a 28 días. 115

Gráfico 33. Curvas esfuerzo deformación de mezcla IV de mortero con agregado El Coro (CH) a 28 días. 115

Gráfico 34. Curvas esfuerzo deformación de mezcla II de mortero con agregado El Coro (CH) a 28 días. 115

Gráfico 35. Curvas esfuerzo deformación de mezcla V de mortero con agregado El Coro (CH) a 28 días. 115

Gráfico 36. Curvas esfuerzo deformación de mezcla III de mortero con agregado El Coro (CH) a 28 días. 115

Gráfico 37. Curvas esfuerzo deformación de mezcla VI de mortero con agregado El Coro (CH) a 28 días. 115

Gráfico 38. Curvas esfuerzo deformación de mezcla I de mortero con agregado Joyitas (J) a 28 días. 116

Gráfico 39. Curvas esfuerzo deformación de mezcla IV de mortero con agregado Joyitas (J) a 28 días. 116

Gráfico 40. Curvas esfuerzo deformación de mezcla II de mortero con agregado Joyitas (J) a 28 días. 116

Gráfico 41. Curvas esfuerzo deformación de mezcla V de mortero con agregado Joyitas (J) a 28 días. 116

Gráfico 42. Curvas esfuerzo deformación de mezcla III de mortero con agregado Joyitas (J) a 28 días. 116

Gráfico 43. Curvas esfuerzo deformación de mezcla VI de mortero con agregado Joyitas (J) a 28 días. 116

Gráfico 44. Curvas esfuerzo deformación de mezcla I de mortero con agregado El Coro (CH) a 180 días. 117



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Gráfico 45. Curvas esfuerzo deformación de mezcla IV de mortero con agregado El Coro (CH) a 180 días. 117

Gráfico 46. Curvas esfuerzo deformación de mezcla II de mortero con agregado El Coro (CH) a 180 días. 117

Gráfico 47. Curvas esfuerzo deformación de mezcla V de mortero con agregado El Coro (CH) a 180 días. 117

Gráfico 48. Curvas esfuerzo deformación de mezcla III de mortero con agregado El Coro (CH) a 180 días. 118

Gráfico 49. Curvas esfuerzo deformación de mezcla VI de mortero con agregado El Coro (CH) a 180 días. 118

Gráfico 50. Curvas esfuerzo deformación de mezcla I de mortero con agregado Joyitas (J) a 180 días. 118

Gráfico 51. Curvas esfuerzo deformación de mezcla IV de mortero con agregado Joyitas (J) a 180 días. 118

Gráfico 52. Curvas esfuerzo deformación de mezcla II de mortero con agregado Joyitas (J) a 180 días. 118

Gráfico 53. Curvas esfuerzo deformación de mezcla V de mortero con agregado Joyitas (J) a 180 días. 118

Gráfico 54. Curvas esfuerzo deformación de mezcla III de mortero con agregado Joyitas (J) a 180 días. 119

Gráfico 55. Curvas esfuerzo deformación de mezcla VI de mortero con agregado Joyitas (J) a 180 días. 119

Gráfico 56. Valores de módulo de elasticidad en cilindros de 50x100 (mm) del Banco El Coro a 28 días. 119

Gráfico 57. Valores de módulo de elasticidad en cilindros de 50x100 (mm) del Banco Joyitas a 28 días. 120

Gráfico 58. Valores de módulo de elasticidad en cilindros de 50x100 (mm) del Banco El Coro. 120

Gráfico 59. Valores de módulo de elasticidad en cilindros de 50x100 (mm) del Banco Joyitas a edad de 180 días. 121

Gráfico 60 . Resultados de pruebas a compresión en pilas a edades de 28 días con agregado del Banco El Coro (CH). 122

Gráfico 61. Resultados de pruebas a compresión en pilas a edades de 28 días con agregado del banco Joyitas (J). 123

Gráfico 62. Resultados de pruebas a carga diagonal en muretes a edades de 28 días con agregado del Banco El Coro (CH). 124

Gráfico 63. Resultados de pruebas a carga diagonal en muretes a edades de 28 días con agregado del banco Joyitas (J). 125

Gráfico 64. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión en pilas de mampostería vs resistencia cortante en muretes a 28 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro. 126



JUSTIFICACIÓN

El mortero es uno de los materiales de construcción más utilizados, principalmente para el pegado de piezas de mampostería en la construcción de muros y sus recubrimientos, considerando que el 70-80% del mortero lo componen los agregados, es importante el estudio de estos ya que gran parte de las características de los morteros dependen directamente de las características y propiedades del agregado utilizado. En la ciudad de Morelia como en otras regiones del estado de Michoacán existen bancos de material utilizados en las diferentes obras del estado, dónde es primordial hacer estudios de caracterización y observar su comportamiento físico-mecánico en morteros, para verificar la calidad de agregados pétreos que están utilizando en obra. En muchas ocasiones se omiten estos estudios para reducir costos o simplemente por negligencia, lo que termina en consecuencias graves en las obras de construcción aumentando de esta forma los costos finales.

A partir de ensayos destructivos y no destructivos en diferentes especímenes a edades tempranas y tardías, se realizaron pruebas de compresión simple, pruebas de resistencia a la flexión, tensión, resistividad eléctrica, entre otras. En el estudio se trabaja con dos agregados de bancos de material cercanos a la ciudad de Morelia; arena volcánica de “Joyitas” (J) y arena de río “El Coro” (CH).

Se pretende con este estudio tener una base de referencia para saber la calidad de los agregados pétreos estudiados y también en base a esto poder tener una guía para estudiar de mejor manera otros bancos de material que sean utilizados en alguna futura obra, y garantizar calidad.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento físico-mecánico de morteros con distintas proporciones de agregado fino, a partir de pruebas de resistencia a diferentes edades tempranas y tardías con dos diferentes agregados del estado de Michoacán, para saber la calidad y el impacto de las arenas utilizadas en obra de esta región.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con dos distintos agregados finos del estado de Michoacán.
- Evaluar el comportamiento de ambas arenas en sus diferentes proporciones a partir de los ensayos de compresión simple, flexión, tracción y resistividad eléctrica, en edades tempranas y tardías.
- Conocer y analizar los módulos de elasticidad estática de todas las mezclas de estudio de ambos agregados finos.
- Definir el agregado pétreo y la mezcla con los mejores resultados en todos los ensayos de resistencia programados durante las diferentes edades.



1. INTRODUCCIÓN

El mortero es aquella mezcla que se conforma de un material aglutinante, material de relleno o agregado fino, agua y en ocasiones aditivos, este al endurecerse presentara diferentes propiedades físicas, químicas y mecánicas. Es sin duda el material ideal y más utilizado para pegar piezas de mampostería en la construcción de muros de diversas construcciones alrededor del mundo, o también recubrimientos.

Como en la mayoría de los países en México también existen normativas de calidad respecto a los materiales utilizados en la construcción que se encargan de establecer la seguridad en las obras y estas normas se actualizan constantemente de acuerdo a las necesidades demandadas.

Este estudio se encarga de abordar el diseño de distintos proporcionamientos de mortero realizados y sus comportamientos físico-mecánicos obtenidos de acuerdo al agregado fino utilizado y su lugar de procedencia de dos distintos bancos de material del estado de Michoacán, con la finalidad de evaluar el comportamiento físico-mecánico a partir de pruebas de resistencia a diferentes edades tempranas y tardías, para saber la calidad de las arenas utilizadas en obra de esta región.

Para llevar a cabo el presente estudio, el trabajo se ha estructurado en 6 diferentes capítulos. A partir del capítulo 2 se presenta un marco teórico, referencial y conceptual de todo lo relacionado con el mortero y sus componentes; dónde se hablará de su constitución y propiedades, clasificación y tipos, proceso de fabricación y por supuesto sus antecedentes históricos. En el capítulo 3 “Desarrollo experimental” se efectúan los ensayos realizados de caracterización de los materiales en estudio, el diseño de los proporcionamientos utilizados, los procesos de elaboración de los diferentes especímenes de mortero realizados durante el estudio, así como los ensayos destructivos y no destructivos realizados a diferentes edades tempranas y tardías. Para el capítulo 4 “Resultados y discusiones” se presentan los resultados de caracterización de los materiales utilizados, los resultados de fluidez de las diferentes mezclas de mortero, se muestran las gráficas obtenidas de los diferentes ensayos de resistividad eléctrica, así como las diferentes graficas de los ensayos destructivos realizados, se presentan de igual manera una serie de observaciones en cada una de los gráficos obtenidos.



2. MARCO TEÓRICO, REFERENCIAL Y CONCEPTUAL

2.1. DEFINICIONES

Cemento.

Su uso habitual es en combinación con otros materiales, especialmente con áridos para formar morteros y concreto. Amasado con agua, el cemento fragua y endurece tanto en el aire como sumergido en el agua. Se trata, por consiguiente, de un conglomerante hidráulico (SanJuan Barbudo & Chinchón Yepes , 2014).

Mortero.

Es el material formado por la mezcla de uno o más cementantes, arenas, agua, y eventualmente aditivos o adiciones finamente pulverizadas (piedra caliza, arcilla, puzolana, escoria granulada de alto horno, ceniza volante) tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y formar una masa endurecida que adquiere resistencia mecánica con el paso del tiempo hasta un punto máximo (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014).

Cementante.

Material inorgánico finamente pulverizado que en presencia de agua tiene la propiedad de fraguar y endurecer y que permite unir o pegar piezas de mampostería de modo que resulte un cuerpo compacto (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014).

Cemento para albañilería (mortero).

Es el material finamente pulverizado que debe contener Clinker portland más la adición de uno o más de los materiales siguientes:

Piedra caliza, arcilla, puzolana, escoria granulada de alto horno, ceniza volante y yeso.

El cemento para albañilería (mortero) al mezclarse con arena y agua, produce morteros con características especiales que son utilizadas para el pegado de tabiques, enjarres, repellados, aplanados, trabajos decorativos, etc. (NMX-C-021-ONNCCE, 2015).

Cal.

Término genérico con el que se nombra tanto a la cal hidratada como a la cal viva. En México, es más común emplearlo para la cal hidratada (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014).



Cal Hidratada.

Es el resultado de la hidratación de la cal viva u óxido de calcio. Su fórmula química es $\text{Ca}(\text{OH})_2$, su nombre químico es: Hidróxido de calcio (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014).

Conglomerante.

En el sector de la construcción, se utiliza el término conglomerante para definir a toda una variedad de materiales capaces de adherirse a otros y dar cohesión al conjunto, por efectos de transformaciones químicas que se producen en su masa y que originan un nuevo conjunto, entre ellos, se encuentra el cemento portland (SanJúan Barbudo & Chinchón Yepes , 2014).

Fluidez.

Una medida de la consistencia del mortero fresco. Se mide como porcentaje del diámetro del mortero dispersado respecto al original probado en una mesa de fluidez (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014).

Agregado (arena).

Son Materiales de naturaleza pétreo que pueden proceder de minas, de bancos de extracción, de la trituración de elementos de concreto o también resultantes de un proceso industrial que, al ser mezclados con cementantes, permiten la elaboración de morteros (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014).

Arena Volcánica.

Se va formando de las rocas que expulsa un volcán, gracias al calor éstas se derriten y pasan al estado de ebullición eliminando las impurezas orgánicas, enseguida el material pasa a una temperatura fría de manera precipitada, lo que origina rocas con cuantiosas de celdas de aire internas, son de diversos tamaños las rocas, pero en la gran mayoría de los casos la granulometría es considerablemente baja que forma bancos de arena (Villegas Martínez , 2012).

Resistencia a la compresión.

Es la capacidad de carga a la compresión por unidad de área del mortero, medida en ensayos de especímenes cúbicos o cilíndricos elaborados, curados y aprobados en las condiciones estándar especificadas, expresada en MPa (kg/cm^2) (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014).

Esfuerzo cortante.

El esfuerzo cortante es de forma general las cargas verticales que llegan a actuar en cualquier sección como lo puede ser una viga de concreto y estas cargas tienden a cortar esta viga.



Resistividad eléctrica.

Es una propiedad eléctrica de los materiales que mide la capacidad del material para oponerse al flujo de una corriente eléctrica, y corresponde al recíproco de su conductividad; su unidad de medida es el ohm-cm u ohm-m (NMX-C-514-ONNCCE-2019, 2019).

Resistividad eléctrica del concreto.

Es el recíproco de la conductividad y se obtiene de la relación entre la diferencia de potencial y la intensidad de corriente circulante referida a una geometría normalizada (cubo de 1 m por lado). Depende en gran proporción del grado de saturación de los poros del concreto y en menor grado de la hidratación de la pasta y de la presencia de sales disueltas en la fase acuosa (NMX-C-514-ONNCCE-2019, 2019).

Mampostería.

Arreglo ordenado de piezas sólidas o huecas, prismáticas o naturales (mampuestos) unidas mediante mortero (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014).

2.2. EL MORTERO

El mortero como definición general es aquella mezcla de cemento, arena y agua, que puede o no tener una función estructural. Estos a su vez pueden ser elaborados en la obra, premezclados en planta o premezclados secos. Los morteros son conocidos principalmente por su uso elemental en la mampostería.

El mortero, a pesar de que puede considerarse como una clase especial de concreto el cual contiene solo agregados finos, pero que en sus componentes sigue siendo igual al otro, no ha tenido el mismo grado de aplicación práctica o ha sido considerado injustamente inferior a pesar de su gran utilidad y su amplio uso en obra (Salamanca Correa, 2001).

2.2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El mortero según algunos autores (Malinowski, 1991) comienza desde la prehistoria en los primeros comienzos del hombre donde se dan los inicios del mortero de cal, esto es a partir de los días en que los hombres usan el fuego para calentarse en cuevas (de roca caliza), también cuando vivían en hogares del material antes mencionado y se calentaban la comida. Al hacer esas actividades con el contacto de la humedad o la lluvia se apagaba la caliza



calcinada y el resultado era un polvo que contenía propiedades ligantes de materiales.

Conforme fue pasando el tiempo se fue utilizando en otras aplicaciones la cal apagada y una de las primeras fue como tinte en las pinturas de cuevas (Malinowski & Garfinkel , 1991).

Como primer empleo del mortero utilizado fue cal en una Máscara de Jericó, que es una calavera cubierta con una gran cantidad de cal; tiene una antigüedad que va desde 7.000 a. de C. Gracias a estas investigaciones que se realizaron en esta ciudad se cambiaron las ideas que se tenían en esa época. Se han encontrado casas construidas realizadas con ladrillos y también suelos hechos con emplastes como comúnmente son conocidos por los arqueólogos, el nivel estratigráfico más profundo con mayor antigüedad es de alrededor de los 9.000 a 8.000 a. de C. Mediante una técnica del carbono-14 se ha podido determinar que los granos de cereales y otros restos de origen orgánico que se encontraban en el mortero datan de alrededor de 7.000 a. de C. (Ignacio Alvarez , Martín , & García Casado, 1995).

A través de un estudio que se realizó por Reller en el año 1992, en Turquía, sobre un lugar de interés histórico (Neveli Cori), se encontró evidencia de mortero de cal en los pavimentos con antigüedad que va desde los 10.000 a los 8.000 a. de C. También se han encontrado otros suelos parecidos con mortero de cal y técnicas de pulimentado parecidas en excavaciones de hogares neolíticos con ubicación en Europa y Mediterráneo Oriental.

Se utilizaban grandes cantidades de cal en los yacimientos de épocas neolíticas; como indicativo se tienen zonas muy grandes de suelos de mortero. Los constructores del neolítico sin duda alguna ya sabían cosas elementales como el proceso de calcinación de la caliza, la mezcla de mortero, tecnologías de la construcción, apagado de la cal, etc. (Ignacio Alvarez , Martín , & García Casado, 1995)

No se tienen ejemplos de utilización de cal en la época prehistórica en Europa central y del norte según Furlan (1975). En la época prehistórica los constructores usaban la arcilla cruda la cual se empleaba en sus casas en los suelos y las paredes. Se descubrieron en excavaciones en el Norte de Europa y Norte este de Auvernier vasos de cerámica que tenían decorados realizados a partir de un material duro y blanco. Este material presentaba limo o ser calizo (calcárea). Aún no ha sido posible saber si esta pasta fue utilizada inicialmente como cal o si sólo se trataba de una caliza finamente triturada y que en consecuencia de agregar materia grasa era pastosa (Ignacio Alvarez , Martín , & García Casado, 1995).



En la cultura egipcia se les puede adjudicar que fueron los primeros en utilizar un mortero de yeso puro que incluso fue utilizado en la pirámide de Keops (hacia 2,600 a. de C.) para el mampostado de bloques (Furlan & Bissegger, 1975).

Puede afirmarse que la utilización de la cal como un ligante se origina en el neolítico y el mortero de cal y su uso corresponde a los griegos y romanos.

2.2.1.1. CONSTITUCIÓN Y PROPIEDADES

La elaboración de un mortero convencional requiere de tres componentes básicos; cemento portland, arena y agua, sin embargo, puede incluir otros componentes más como puede ser el cemento para albañilería, también denominado mortero hidráulico o la cal. Además, gracias a incluir aditivos, se pueden tener morteros dónde su proceso de fraguado es más lento o al revés podemos tener fraguados mucho más rápidos.

Todas las propiedades del mortero van a depender en gran medida de ciertos factores como lo son los aditivos, el agua (la cantidad), la granulometría del agregado a utilizar (se obtiene mediante el módulo de finura y de la finura del cemento). Las propiedades que vamos a encontrar dentro del mortero serán en el estado plástico y estado endurecido.

- **En estado plástico:**

Manejabilidad y tiempo de fraguado: Período de tiempo en que un mortero conserva las características de su trabajabilidad lo que involucra la compatibilidad entre el mortero y los elementos en uso, así como las condiciones de aplicación.

Retención de agua: Es la capacidad que tiene el mortero de no perder demasiada agua ni de endurecer con el contacto de materiales que sean absorbentes como los ladrillos, conservando su estado de plasticidad, debido a que es necesario que el cemento se hidrate, propiedad que se obtiene mediante la cal.

Trabajabilidad: Es una estabilidad que se presenta en cuanto a su plasticidad o maleabilidad (mantienen su forma y flujo para ser aplicados con facilidad) y cohesión que es la capacidad de permanecer fluido durante su manipulación.

Contenido de aire: Es la porosidad que presenta el material exceptuando los poros impermeables propios del agregado.

(Mateus Ramírez & Gelves Peña, 2020).



- **En estado endurecido:**

Contracción y estabilidad Volumétrica: Consiste en la respuesta de la mezcla ante el agua; al acercarse se puede contraer, lo que implica exceso de agua.

Consistencia o adherencia: Hace referencia a estado de fluidez y la capacidad que tienen los morteros de adherirse o resistir a la tracción y deslizamiento ante superficies verticales o con alguna inclinación.

Resistencia a la compresión (Resistencia mecánica): Es la capacidad del material para soportar cargas: en este caso en los morteros, cuando es un muro portante o peso si es en mampostería.

Durabilidad: Es la resistencia que tiene la mezcla frente a agentes externos como el clima, la temperatura, retracción al secado, eflorescencia, agentes corrosivos que con el tiempo acaban con la estructura y sus materiales.

(Mateus Ramírez & Gelves Peña, 2020)

2.2.1.2. CLASIFICACIÓN Y TIPOS

De acuerdo a (Mateus Ramírez & Gelves Peña, 2020) se pueden encontrar diferentes caracterizaciones de los morteros que se pueden clasificar de acuerdo a su conglomerante que refuerza la resistencia a compresión a los 28 días, según su uso o aplicación, su método de fabricación y la forma de suministro. A su vez los morteros se dividen en estructurales y no estructurales en el caso particular de este estudio se enfocará más hacia el uso estructural.

Al respecto, (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014) dice que la clasificación de los morteros estructurales puede ser por su fabricación, dónde se subdivide en hecho en obra o industrializado, por otra parte, se puede clasificar por su uso y por su resistencia a la compresión.

1. Por la fabricación.

- **Hecho en obra:** Este es dosificado en volumen y es mezclado por medios manuales o mecánicos en el sitio de construcción.
- **Industrializado:** Este es dosificado por masa y se mezcla por medios mecánicos en planta. Se puede utilizar mortero seco o mortero de larga duración en el estado fresco.



2. Por su uso.

Para adherir piezas de mampostería entre sí o también para llenar los huecos en muros o las celdas de piezas (relleno).

3. Por su resistencia a la compresión.

Éste se clasifica en tres tipos de mortero y en el caso de relleno, debe de estar en el tipo I. Véase en la tabla 1.

Tabla 1 Tipos de mortero y su resistencia a la compresión.

Tipos de Morteros	Resistencia a la compresión (Promedio), MPa (kg/cm²)	Resistencia a la compresión (mínima), MPa (kg/cm²)
Tipo I	18.0 (180)	12.5 (125)
Tipo II	11.0 (110)	7.5 (75)
Tipo III	6.0 (60)	4.0 (40)

2.3. CEMENTO PORTLAND

Un cemento es un conglomerante hidráulico lo que indica un material artificial de una naturaleza inorgánica y mineral, que al ser finamente molidos y también amasados con agua formarán pastas que endurecen y fraguan a consecuencia de reacciones de hidratación de sus constituyentes e hidrólisis, esto dará como resultado productos hidratados estables y resistentes mecánicamente, donde sea que los trabajen ya sea tanto al aire como al agua. Todo este endurecimiento al contacto con el agua se debe en su mayoría a una formación clave de silicatos cálcicos hidratados y de aluminatos hidratados, que son el resultado del contacto de los constituyentes del cemento y el agua (SanJuan Barbudo & Chinchón Yepes , 2014).

De forma general lo que conocemos como cemento portland es aquel material inorgánico finamente molido que al amasarlo con agua forma una pasta que fragua, ésta a su vez endurece y conserva una cierta resistencia y estabilidad tanto en aire como en el agua. Cuando al cemento portland se le agregan arenas, gravas, entre otros, actúa como adhesivo y los une para formar concreto, el cual es en la actualidad el material de construcción más usado en el mundo (CEMEX Corporation, 2019).



2.3.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Entre los años 7,000 y 6,000 a.C. se utilizaron materiales cementantes en territorio israelí y también en la antigua Yugoslavia de acuerdo a varias investigaciones actuales en donde se encontraron hallazgos de lo que fueron construcciones antiguas.

Para el siglo II a.C., cerca del Vesubio en la región de Puzzuoli, se desarrolló el llamado cemento romano o puzolánico, que surgió por la mezcla de caliza calcinada con finas arenas de origen volcánico, lo que hoy conocemos como puzolana. Ejemplos de construcciones utilizando este cemento romano: se tiene al Teatro de Pompeya (Ilustración 1) construido hacia el año 75 a.C. y el Coliseo Romano (Ilustración 2) construido en el año 82 a.C. (Vidaud, 2013).



Ilustración 1. El famoso teatro de Pompeya. Fuente: Sitio web
<https://www.visitarpompeya.com/visita/los-edificios-de-espectaculos-de-pompeya/>



Ilustración 2. El Coliseo Romano una de las construcciones más importantes. Fuente: Sitio web
<https://www.rome-museum.com/es/coliseo-romano.php>

En el continente americano estuvo presente el uso de cementantes en grandes civilizaciones que construyeron grandes estructuras como fueron los mayas (Ilustración 3), aztecas e incas (Ilustración 4), que utilizaban mezclas de aglomerantes primitivos con base principal la cal y materiales puzolánicos.



Ilustración 3. Chichén Itzá, en península de Yucatán en México. Fuente: Sitio web
<https://www.musement.com/>



Ilustración 4. Machu Picchu, Perú. Fuente: Sitio web
<https://viajes.nationalgeographic.com.es/z/machu-picchu>



El origen del cemento portland fue a partir del siglo XIX gracias a James Parker y Joseph Aspdin, quienes patentó el 21 de octubre de 1824 lo que fue el primer cemento portland; éste se obtuvo a partir de una caliza arcillosa y carbón que fueron calcinados a altas temperaturas. Pocos saben que el nombre “portland” viene del color grisáceo que tiene, el cual es muy similar a la piedra de la isla de Portland del canal inglés. Después en 1845 Isaac Johnson aumentó la temperatura de calcinación mejorando el proceso de producción. A él se le adjudica el prototipo del cemento moderno elaborado de una mezcla de caliza y arcilla calcinada a altas temperaturas hasta la formación del Clinker (Vidaud, 2013).

Para principios del siglo XX toda la industria del cemento creció significativamente, esto por la industrialización, pero también en parte por los experimentos de los químicos franceses Vicat, Le Chatelier, y del alemán Michaélis, quienes lograron producir un cemento de buena calidad homogénea.

En la actualidad son pocas las diferencias que existen entre el Cemento portland actual al que se tenía como primer cemento portland patentado. Actualmente el cemento portland se obtiene al calcinar mezclas de calizas y arcillas a temperaturas de 1,500 °C aproximadamente.

2.3.1.1. CONSTITUCIÓN Y PROPIEDADES

A lo largo de la historia han surgido muchas teorías acerca de la constitución del cemento portland. Con los medios que se disponen actualmente se han podido verificar algunas de las teorías y rechazar algunas otras.

Una de las más conocidas es la teoría que sostenía Le Chatelier, dónde el aseguraba que el cemento portland tiene como elemento primordial el silicato tricálcico 3CaO SiO_2 (C_2S), el cual es causante del fraguado y considerando como impurezas a los aluminatos que lo acompañaban.

Por otra parte, Törnebohm identificó con ayuda del microscopio cinco minerales distintos en el cemento portland a los cuales nombro como Alita, Belita, Celita, Felita y residuo vítreo.

Otro investigador de nombre Zulkowski, sostiene que el silicato tricálcico 3CaO SiO_2 (C_2S) no existe, pero según él se acepta dos formas de silicato bicálcico 2CaO SiO_2 (C_2S)

(SanJúan Barbudo & Chinchón Yepes , 2014).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Tabla 2. La composición química de los cementos % en masa. Fuente: Propia.

Parámetro	Rango aproximado
Residuo insoluble	0.1 – 1.4
Óxido de calcio (CaO)	58.2 – 65.6
Sílice (SiO ₂)	19.8 – 26.45
Alúmina (Al ₂ O ₃)	4.1 – 9.5
Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	2.1 – 4.5
Magnesia (MgO)	Trazas – 2.9
Álcalis (K ₂ O, Na ₂ O)	0.1 – 2.8
Sulfatos (SO ₃)	0.1 – 2.2
Pérdida por calcinación	0.2 – 2.8

Los componentes del cemento portland en general se pueden dividir en dos tipos donde están los principales y los secundarios o minoritarios adicionales. Los componentes principales no se encuentran como tal en el cemento portland, sino formando parte de los minerales del cemento (Soriano, 1996).

Se tiene como principales componentes al Clinker (K) el cual se obtiene por sinterización de la mezcla homogénea de materias primas: caliza, arcilla, arena, compuestos de hierro y otros. Esta mezcla se calienta llegando a un rango de temperatura de sinterización y se forman nuevos compuestos (SanJuan Barbudo & Chinchón Yepes, 2014).

Las reacciones que se producen en el horno de cemento a la temperatura de clinkerización dan como consecuencia entre los óxidos de carácter ácido y básico procedentes del material que integra el crudo, éstos van a originar compuestos conocidos como minerales del cemento que tienen la siguiente composición química descrita en la tabla 3.

Tabla 3. Composición Química del Clinker. Fuente: Dr. Ciencias Geológicas. Unidad de Geomática. Centro de Estudios de Técnica Aplicadas (CEDEX-MOPTMA).

Nombre	Fórmula	Fórmula Abreviada
Silicato tricálcico	3CaO.SiO ₂	C ₃ S
Silicato bicálcico	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Aluminato tricálcico	3CaO. Al ₂ O ₃	C ₃ A
Ferritoaluminato tetracálcico	4CaO. Fe ₂ O ₃ . Al ₂ O ₃	C ₄ AF

Otros de los componentes principales del cemento portland son la escoria granulada de horno alto (S), puzolanas (P, Q), Cenizas volantes (V, W), Esquistos calcinados (T), Caliza (L, LL) y Humo de sílice (D).

En los componentes minoritarios adicionales son los sulfatos de calcio y aditivos.



2.3.1.2. PROCESO DE FABRICACIÓN

La fabricación del cemento conlleva varios procesos y se debe de realizar en un lugar amplio con instalaciones a gran escala. En resumen, los procesos principales que conlleva la fabricación del cemento son los siguientes:

1. Obtener y preparar las materias primas.

Para empezar, es necesario conseguir unas materias primas que contengan los componentes principales del cemento portland que son: CaO, óxido de hierro, alúmina y sílice, del Clinker y también el sulfato cálcico que se añade en fase final de molienda.

Para ahorrar traslados y costes de material normalmente las materias primas se extraen muy cerca de las instalaciones dónde se hacen los demás procesos. Para el caso de materiales duros como puede ser las calizas se optan por utilizar explosivos de forma controlada para fracturar el material y hacer más fácil su extracción. En el caso de materiales blandos como arcillas se usan las excavadoras para extraer el material.

2. La trituración primaria.

Ya extraído el material se procederá a triturarlo hasta lograr tener un material con una granulometría apta para la molienda y es en este punto dónde a partir de cintas transportadoras se traslada el material triturado a la fábrica (en ocasiones usan camiones), dónde es almacenado en el parque de prehomogenización.

3. Prehomogeneización.

En ésta básicamente se prepara la dosificación adecuada de los distintos componentes y así reducir su variabilidad.

4. Molienda de materias primas.

Es necesario que los materiales se muelan para poder reducir su tamaño y facilitar su cocción en el horno. A través de una presión que se ejerce por unos rodillos sobre una mesa giratoria de un molino vertical es como se puede triturar el material. Después terminado este proceso la materia prima ya en crudo se almacena en un silo para incrementar la uniformidad de la mezcla (IECA, 2017).

5. Precalentador de ciclones.

En esta etapa se calienta la materia prima para facilitar su cocción una vez este en el horno. Se alcanzan los 1,000 °C en el crudo antes de entrar al horno (IECA, 2017).



6. Obtención del Clinker: Etapa en el horno.

Conforme la harina va avanzando en el horno la temperatura sigue aumentando hasta que logra llegar a los 1,500°C, y es aquí dónde se producen las reacciones químicas que crean el Clinker. Al proceso de creación del Clinker se le conoce como clinkerización en dónde el óxido de calcio reacciona a la alta temperatura de 1,500°C aproximadamente con sílice, alúmina y óxido de hierro para formar silicatos, aluminatos y ferritos de calcio que juntos componen el Clinker (SanJúan Barbudo & Chinchón Yepes , 2014).

7. Obtención del Clinker: Enfriador.

Una vez se obtiene el Clinker para reducir su temperatura es necesario que éste pase por el enfriador que básicamente lo que hace es inyectar aire frío del exterior y de esta forma poder reducir drásticamente la temperatura de los 1400°C – 1500°C a los 100°C (IECA, 2017).

8. Molienda de Clinker y obtención del cemento.

Se le agrega al Clinker una cierta cantidad pequeña de yeso y adiciones dentro de un molino de cemento. La gran mayoría de los molinos trabajan en circuito cerrado (separan el cemento con la finura requerida y devuelven el material grueso al molino) (SanJúan Barbudo & Chinchón Yepes , 2014). Los molinos pueden ser de rodillos y de bolas. Este último a partir de un gran tubo que va rotando sobre sí mismo y a su vez contiene bolas de acero en su interior. Estas bolas y en apoyo a la rotación del tubo se logra triturar el Clinker aún más y las adiciones hasta que se llega a tener un polvo fino y homogéneo que conocemos como cemento.

9. Almacenamiento.

El cemento se va separando según sus clases y almacenado en silos. La descarga del cemento de los silos se realiza con aire comprimido que se inyecta en el silo por unidades de aireación que se ubican en el fondo de los mismos silos. Las condiciones de almacenamiento para el cemento es que éstos deben estar en silos estancos que por ningún motivo permitan su contaminación y protegidos de la humedad (SanJúan Barbudo & Chinchón Yepes , 2014).

10. Envasado o expedición a granel.

Por último, el cemento se puede vender de distintas formas entre las que destacan popularmente los cementos envasados en sacos resistentes que retienen en la mayoría de los casos 50 kg de cemento. También es común que se descargue en un camión cisterna para su transporte por carretera o ferrocarril.



2.3.1.3. CLASIFICACIÓN Y TIPOS

De acuerdo a la Norma (N-CMT-2-02-001, 2002) el Cemento Portland se va a clasificar de acuerdo a su composición, a su resistencia a la compresión y también a características especiales.

- **Según su composición. Véase en la tabla 4.**

Tabla 4. Tipos de cemento portland de acuerdo a su composición. Fuente: (N-CMT-2-02-001, 2002).

Tipo	Descripción
Cemento portland ordinario (CPO)	El producido mediante la molienda del Clinker portland y sulfato de calcio.
Cemento portland puzolánico (CPP)	Resulta de la molienda conjunta del Clinker portland, puzolanas y sulfato de calcio.
Cemento portland con escoria granulada de alto horno (CEPG)	Mediante la molienda conjunta del Clinker portland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio.
Cemento portland compuesto (CPC)	Mediante la molienda conjunta del Clinker portland, puzolanas, escoria de alto horno, caliza y sulfato de calcio.
Cemento portland con humo de sílice (CPS)	Resulta de la molienda conjunta del Clinker portland, humo de sílice y sulfato de calcio.
Cemento con escoria granulada de alto horno (CEG)	Resulta de la molienda conjunta del Clinker Portland, sulfato de calcio y mayoritariamente escoria granulada de alto horno.

- **Según su resistencia a la compresión. Véase en la tabla 5.**

Tabla 5. Clases resistentes de cementos portland. Fuente: (N-CMT-2-02-001, 2002).

Clases resistentes	Resistencia a la compresión		
	A los 3 días	A los 28 días	
	Min	Min	Max
20	-	20 (204)	40 (408)
30	-	30 (306)	50 (510)
30R	20 (204)	30 (306)	50 (510)
40	-	40 (408)	-
40R	30 (306)	40 (408)	-
*Para el caso de 3 días corresponde a la resistencia inicial del cemento y para 28 días a la resistencia normal del cemento.			
*Unidades en MPa (kg/cm ²)			



- De acuerdo a sus características especiales. Véase en la tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de cemento portland por características especiales. Fuente: (N-CMT-2-02-001, 2002).

Característica especial	Nomenclatura
Resistencia a los sulfatos	RS
Baja reactividad álcali-agregado	BRA
Bajo calor de hidratación	BCH
Blanco	B

Un ejemplo para identificar un cemento Portland con una característica especial es el siguiente:

Dónde se comienza con la nomenclatura del tipo de composición, seguida del tipo de resistencia y para finalizar su característica especial.

CPC 30R RS, Cemento Portland compuesto con una resistencia normal mínima de treinta (30) Megapascuales (Mp) ó (306 kg/cm²) y que es resistente a los sulfatos.

2.4. CAL HIDRATADA

La cal hidratada (hidróxido de calcio) que también es conocida como cal apagada, cal muerta o simplemente cal, es aquel polvo seco, incoloro y cristalino que se obtiene a través de un tratamiento de óxido de calcio (cal viva) con agua y este proceso se conoce como apagado. Esta cal es utilizada en la construcción para la producción de morteros, cementos, yesos, entre otros.

Algunos datos importantes de la cal hidratada son su densidad aparente de 40 lb/pies³, a pesar de tener las mismas densidades aparentes la cal hidratada suele tener diferentes características, y en general el personal experimentado que maneja la cal hidratada ha observado que dos muestras no son exactamente iguales (FLEXICON, 2021).

2.5. AGUA

El agua como todos sabemos es un elemento fundamental para la vida y en las reacciones del cemento durante el estado plástico, en el proceso de fraguado y en el estado endurecido del mortero es este el que ocupa de igual forma un lugar muy importante.

Como definición en esta área el agua se puede definir como un componente fundamental para el mortero en dónde el cemento experimenta reacciones químicas que dan como resultado propiedades de fraguado y endurecimiento para formar un sólido. Esta agua se clasifica en agua de mezclado y de curado (Guzmán, 2001).



El agua de mezclado es aquella cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento que contiene ese volumen unitario y de esta forma producir una buena pasta hidratada y buena fluidez. El agua de curado es aquella que tiene un conjunto de condiciones óptimas para que la hidratación de la pasta evolucione sin ningún inconveniente hasta que el cemento se hidrate y el concreto alcance su máximo rendimiento (Guzmán, 2001).

En cuanto a características químicas y físicas del agua de mezclado es necesario que esta sea potable con un buen olor o sabor. No en todas las ocasiones necesariamente el agua potable es buena para usarse en mezclas de concreto o mortero, esto debido a que en algunos casos el agua potable contiene altas concentraciones de sales, cítricos, azúcares, entre otros.

Para saber si la calidad del agua es aceptable es necesario algún estudio general en un laboratorio especializado por otra parte también se acostumbra hacer un ensayo de relación de resistencias usando cubos de mortero a edades de 7, 28 y 90 días de edad, si se presenta en los cubos resistencias no inferiores al 90% de las presentadas en los cubos testigos confeccionados con agua destilada, se considera que el agua es apta para el concreto.

2.6. AGREGADOS PÉTREOS

Como definición podemos decir que el agregado es aquel material meramente pétreo el cual se puede conseguir principalmente de bancos de extracción, pero también se puede conseguir de la trituración de elementos de concreto entre otros. Este material en su proceso de obtención es sujeto a tratamientos como lo son el cribado, disgregación, trituración o incluso lavado de ser necesario.

Los agregados juegan un papel importante en la construcción, por esta razón es primordial obtener agregados de excelente calidad dónde sus partículas estén limpias, de buena resistencia, durables y que al trabajar con la pasta de cemento se consiga una buena adherencia de parte de éste. Es necesario utilizar un agregado que no esté contaminado por impurezas que puedan perjudicar en sus propiedades teniendo mucho cuidado con las arcillas adheridas y demás impurezas que perjudiquen su desarrollo (Guzmán, 2001).

2.6.1. CLASIFICACIÓN

De acuerdo a lo especificado en la Norma Mexicana (NMX-C-111-ONNCCE, 2018) se tiene que los agregados pétreos se clasifican por su tamaño de partícula y por su masa.

Por su tamaño de partícula se tiene a los agregados finos que comúnmente se conoce como arena que estrictamente debe de pasar por la criba con abertura 4.75 mm (malla No.4) y que se retiene en la criba con abertura 0.075 mm (malla No.200). Por otra parte, los agregados gruesos que comúnmente lo



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

conocemos como grava es aquel que se retiene en la criba con abertura 4.75 mm (malla No.4) y pasa por la criba con abertura 75 mm (malla de 3 pulgadas).

Por su masa unitaria o masa volumétrica, se tiene a los agregados ligeros con los que se obtienen concretos con masas unitarias menores a 1900 kg/m^3 , agregados normales que producen concretos con masas unitarias entre 1900 kg/m^3 a 2400 kg/m^3 , y por último agregados pesados que forman concretos con masas unitarias arriba de 2400 kg/m^3 .

Otra clasificación de acuerdo a (Ferreira Cuellar & Torres López, 2014) es según su origen que puede ser naturales y artificiales dónde los naturales provienen de la explotación de fuentes naturales y los artificiales, se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como arcillas expandidas, Clinker, etc.

Tabla 7. Clasificación de los agregados según su tamaño. Fuente: (Ferreira Cuellar & Torres López, 2014).

Tamaño de las partículas en mm (pulgadas)	Denominación popular	Clasificación	Clasificación como agregado para concreto
Inferior a 0.002	Arcilla	Fracción muy fina	No recomendable
Entre 0.002-0.075 (No. 200)	Limo	Fracción muy fina	
Entre 0.075-4.75 (No. 200) – (No.4)	Arena	Agregado fino	Material apto para producir concreto
Entre 4.75-19.1 (No.4) - (3/4")	Gravilla	Agregado grueso	
Entre 19.1 – 50.8 (3/4") – (2")	Grava	Agregado grueso	Material apto para producir concreto
Entre 50.8 – 152.4 (2") – (6")	Piedra	Agregado grueso	
Superior a 152.4 (6")	Rajón, piedra bola	Agregado grueso	

2.6.1.1. PROPIEDADES

- **Propiedades mineralógicas.**

Estas propiedades son primordiales para conocer la calidad del material que se está utilizando, dónde se tienen diferentes minerales como los de arcilla, minerales de carbonato, minerales feldespáticos, ferromagnesianos, micáceos y de sulfato y sulfuro. A continuación, en la tabla 8 se describe cada uno de estos minerales (Ferreira Cuellar & Torres López, 2014).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Tabla 8. Tipos de minerales en los agregados pétreos. Fuente: (Ferreira Cuellar & Torres López, 2014).

Nombre del mineral	Descripción
Minerales de arcilla	Comprende los minerales con estructura laminar menor de 2 μm (0.002 mm) de tamaño.
Minerales de carbonato	El más común es la calcita o el carbonato de calcio, CaCO_3 .
Minerales feldespáticos	Son los más abundantes en la corteza terrestre y son componentes importantes en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.
Minerales ferromagnesianos	Están presentes en muchas rocas ígneas y metamórficas y son silicatos de hierro o de magnesio y en ocasiones ambos.
Minerales micáceos	En este grupo se encuentran la moscovita, la biotita, la clorita y la vermiculita, todos ellos contienen silicatos de aluminio, hierro y de magnesio.
Minerales de sulfato y sulfuro	La pirita, marcasita y la pirrotita que son sulfuros de hierro, se hallan en agregados naturales frecuentemente.

2.6.1.2. ESPECIFICACIONES

Se requieren ciertos estándares en los agregados finos de acuerdo a lo especificado en la Norma Mexicana (NMX-C-111-ONNCCE, 2018) dónde se debe cumplir con la granulometría que a continuación se menciona.

Para el agregado fino se deben cumplir como límites granulométricos los que se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Límites de granulometría para el agregado fino. Fuente: (NMX-C-111-ONNCCE, 2018).

Criba mm (malla No.)	Material acumulado en masa, en porcentaje; % que pasa
9.5 (3/8")	100
4.75 (No. 4)	95 – 100
2.36 (No. 8)	80 – 100
1.18 (No.16)	50 – 85
0.600 (No. 30)	25 – 60
0.300 (No. 50)	10 – 30
0.150 (No. 100)	2 – 10

Para el módulo de finura este deberá estar entre los parámetros 2.30 – 3.10.



No debe de haber un retenido parcial de masa total en cualquiera de las cribas que sea mayor a un 45%.

Si se utilizan agregados finos que no cumplen con las especificaciones anteriores, pero existen antecedentes dónde se trabaja bien con esos materiales en el concreto elaborado con éstos o también que se presenten resultados satisfactorios en los ensayos realizados, se pueden utilizar siempre y cuando se hagan ajustes apropiados en el proporcionamiento del concreto para compensar deficiencias en la granulometría.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

En el presente trabajo realizado con morteros se utilizó agregado fino como único y principal agregado pétreo el cual es considerado como fino siempre y cuando este pase por la malla No. 4 con una abertura de 4.75 milímetros. Se utilizaron para esta investigación dos distintas arenas de lugares cercanos a la región de Morelia en el Estado de Michoacán, específicamente se utilizó para el estudio arena volcánica del Banco “Joyitas” ubicado en la carretera Joyitas-San Bernabé (Ilustración 5), se encuentra a 22 kilómetros aproximadamente del municipio de Morelia y el otro agregado pétreo utilizado fue una arena de río del Banco “El Coro” con ubicación en un costado de la carretera Morelia-Zinapécuaro (Ilustración 6). Se utilizó materiales de la región por ser los materiales que tenemos en nuestros alrededores y ser con ellos con los que se trabaja en la construcción de diferentes obras que se hacen en Morelia (Mondragón Martínez , 2021).

En promedio el agregado (fino), ocupa alrededor de un 75% del mortero en volumen, su composición en conjunto es una mezcla del agregado, el cemento y agua, por esta circunstancia es necesario conocer sus propiedades por que como se puede intuir este influirá considerablemente en las propiedades físicas y mecánicas que adquiera el mortero (Mondragón Martínez , 2021).



Ilustración 5. Ubicación del Banco de Material "Joyitas". Fuente: Google Earth.



Ilustración 6. Ubicación del Banco de Material "El Coro". Fuente: Google Earth.

En resumen, para la investigación se utilizaron dos agregados pétreos los cuales se enlistan a continuación:

1. Arena de río originaria del Banco de material “El Coro”.
2. Arena Volcánica negra originaria del Banco de material “Joyitas”.

Para dicho estudio y para su rápida interpretación se representó la arena de río “El Coro” con la letra (CH) y (J) para la arena volcánica “Joyitas”.

Todas las pruebas realizadas en los agregados pétreos para saber sus propiedades y de acuerdo a sus respectivas normas se presentan en la Tabla 10.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Tabla 10 Normativas, ensayos y sus características obtenidas del agregado. Fuente: Propia.

Ensayos	Característica objetivo del agregado	Norma
Práctica estándar para el muestreo del agregado pétreo.	Obtención de la muestra	NMX-C-030-ONNCCE-2004
Disminución de la muestra de agregados al tamaño requerido.	Cuarteo	NMX-C-170-ONNCCE-2019
Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino.	Densidad y absorción de la arena	NMX-C-165-ONNCCE-2020
Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados pétreos.	MVSV y MVSS	NMX-C-073-ONNCCE-2014
Método para saber análisis granulométrico de agregados pétreos.	Granulometría en arenas	NMX-C-077-ONNCCE-2019

3.1.1. MUESTREO

Fue esencial para este estudio llevar a cabo un muestreo y una recolección óptima de los agregados pétreos ya antes mencionados. En este caso se contaba con los agregados ya disponibles en el laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), fue oportuno tomar las muestras necesarias para llevar a cabo todas las pruebas requeridas durante la investigación y recolectarlas en costales para su almacenamiento en un lugar seco y libre de humedad.

Como ambos agregados se encontraban en un lugar un poco expuesto a la humedad se necesitó extender ambos agregados pétreos en un área limpia y amplia dentro del laboratorio de materiales hasta que estos perdieron su humedad, posteriormente se almacenaron en un lugar seguro y seco. Se utilizó para el muestreo la Norma Mexicana (NMX-C-030-ONNCCE, 2004).



Ilustración 7. Secado del agregado "El Coro" en patio del Laboratorio de Materiales. Fuente: Propia.



Ilustración 8. Secado de agregado "Joyitas" en patio del Laboratorio de Materiales. Fuente: Propia.

3.1.1.1. CUARTEO

El cuarteo de los materiales a utilizar es de fundamental importancia aplicarlo antes de cada prueba a realizar para obtener de la muestra porciones representativas de un tamaño adecuado.

En este caso al trabajar con arenas se utilizó la Norma Mexicana (NMX-C-170-ONNCCE, 2019), esta norma nos marca todo el procedimiento a realizar. Dentro del procedimiento se divide en dos métodos de cuarteo: el método de cuarteo mecánico “A” y el método de cuarteo manual “B”.

Método de cuarteo mecánico “A”.

Equipo a utilizar:

- Cuarteador con al menos 12 conductos para agregado fino.
- Un cucharón.
- Una pala.
- Cuatro charolas.



Procedimientos a realizar:

1. Con la ayuda de un cucharón se llena dos charolas anchas del material a utilizar.
2. En un sitio seguro y amplio se coloca el cuarteador (Ilustración 9).
3. Se utilizan dos charolas debajo del cuarteador en ambos lados para recoger las muestras ya separadas (Ilustración 10).
4. Enseguida se utiliza la pala para ir agregando en la parte superior del cuarteador la muestra a utilizar procurando que todo el material caiga al cuarteador.
5. A continuación, se retira una de las charolas con la muestra ya separada y esta es devuelta al costal de dónde se sacó.
6. Se retira la charola restante con el material cuarteado y se vuelven a colocar otras dos como se marca en el paso 3.
7. Se repite el paso 4 pero ahora con el material restante que se encuentra en la charola de material cuarteado que no se regresó. Este proceso se realizará varias veces hasta obtener la muestra representativa a utilizar (Ilustración 11).



Ilustración 9. Cuarteador en lugar seguro para comenzar el ensayo de muestreo. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).



Ilustración 10. Colocación de charolas debajo del cuarteador en ambos lados. Fuente: Propia.



Ilustración 11. Vaciado del agregado (Cuarteo). Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).

Método de cuarteo manual “B”.

Equipo a utilizar:

- Una pala.
- Una escoba.

Procedimientos a realizar:

1. Se vacía el agregado en una superficie limpia y libre de residuos que puedan contaminar la muestra, para ello se recomienda barrer muy bien la zona a utilizar.
2. Con ayuda de la pala se va acomodando el material de forma cónica esto por medio de un paleado sobre otro, se repite el procedimiento tres veces.
3. Enseguida con la parte posterior de la pala se aplanan la parte superior cónica que se formó con el material (Ilustración 12).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

4. A continuación, con ayuda de la pala se hacen dos divisiones perpendiculares al material por la mitad lo más exactas posibles para obtener 4 partes iguales (Ilustración 13).
5. Una vez teniendo las 4 divisiones se eliminan dos partes opuestas y las restantes son las que se utilizan para las pruebas correspondientes (Ilustración 14). En los casos en los que se ocupa menos material se vuelve a realizar los procedimientos con las dos partes sobrantes y se repiten las veces necesarias hasta tener la muestra representativa deseada.



Ilustración 12. Con ayuda de la pala se aplana la parte superior. Fuente: (Durán Ramos, 2021).



Ilustración 13. División del agregado. Fuente: (Durán Ramos, 2021).



Ilustración 14. Se descartan 2 partes. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).



3.1.1.2. GRANULOMETRÍA

En el estudio es necesario realizar la granulometría de los agregados y es importante ya que esta nos permite saber la distribución del tamaño de todos los elementos que conforman a la muestra a utilizar.

La distribución de los diámetros de las partículas y su módulo de finura se obtienen a partir de que la muestra pasa por una serie de mallas o tamices (NMX-C-077-ONNCCE, 2019).

Equipo a utilizar:

- Un juego de mallas constituidas por la No. 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200, charola y tapa.
- Una báscula o balanza.
- Espátulas.
- Charolas.
- Cepillo de cerdas y alambre.
- Hojas tamaño carta o cualquier otro tipo.
- Máquina agitadora de cribado.

Procedimiento a realizar:

1. Como primer paso se debe de tener pesados 600 gramos de la muestra representativa (Ilustración 15).
2. Se colocan las mallas en orden decreciente una encima de otra ensambladas correctamente, se agrega en la malla superior (No. 4) el material pesado de la muestra, se coloca la tapa y enseguida se acomodan las mallas en la maquina agitadora (Ilustración 16).
3. Se programa la máquina agitadora de tamices en un tiempo aproximado de 10 minutos (Ilustración 17).
4. Concluido el tiempo se van retirando los tamices (empezando con la malla No. 4) y con mucho cuidado se colocan los retenidos de cada malla en las hojas marcadas con el número correspondiente.
5. Para evitar la más mínima perdida de partículas con ayuda del cepillo de cerdas y alambres se va limpiando tamiz por tamiz los residuos que queden atorados en esta (Ilustración 18).
6. A continuación, se procede a pesar cada una de las muestras obtenidas y marcadas en cada una de las hojas correspondientes al No. de malla y se registra el valor individual obtenido.
7. En caso de que la muestra sea requerida más adelante es necesario reincorporarla y almacenarla.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”



Ilustración 15. Muestra para el ensayo de granulometría. Fuente: Propia.



Ilustración 16. Mallas ordenadas y acomodadas para la prueba. Fuente: Propia.



Ilustración 17. Se programa por 10 minutos. Fuente: Propia.



Ilustración 18. Se retiran los agregados atorados en la malla. Fuente: Propia.

Cálculos realizados.

$$\% \text{ RETENIDO} = \frac{\text{PESO RETENIDA EN LA MALLA}}{\text{SUMA DEL PESO RETENIDO}} * 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ ACUMULADO} = \% \text{ RETENIDO MALLA} + \% \text{ ACUMULADO DE LA MALLA ANTERIOR} \quad (2)$$

$$\% \text{ QUE PASA} = 100 - \% \text{ ACUMULADO DE LA MALLA ANTERIOR} \quad (3)$$



3.1.1.3. HUMEDAD DE ABSORCIÓN Y LA DENSIDAD EN ARENAS

Humedad de Absorción:

En este estudio fue necesario hacer pruebas de humedad de absorción que tienen el objetivo de brindarnos el porcentaje de absorción que tiene el material trabajado.

Equipo a utilizar:

- La muestra representativa de 2 Kg aproximadamente.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Parrilla eléctrica.
- Charolas metálicas.
- Un cono metálico troncocónico.
- Un pisón.
- Espátula.

Procedimiento a realizar:

1. Como primer paso se debe saturar la muestra de dos Kg durante un periodo mínimo de 24 horas. Cabe aclarar que la muestra antes mencionada es la que se obtiene a partir de alguno de los métodos de reducción de muestras que se nombraron anteriormente (en este caso el “A”).
2. Una vez pasadas las 24 horas se retira el material y se pone a secar superficialmente la arena colocándola en una charola y encima de la parrilla para eliminar todo el exceso de agua que pueda tener.
3. Enseguida para verificar que la arena se encuentra libre de humedad con ayuda del molde troncocónico se coloca dentro de la charola, volteado hacia abajo su base con diámetro mayor.
4. Se llena el molde en cuatro capas y se distribuirán 25 golpes con el pisón, en la primera capa 10, 10 en la segunda, la tercera 3 y 2 en la última.
5. Posteriormente se retira el cono con cuidado y lo más vertical posible. En caso de obtener un resultado en donde la arena trata de disgregarse entonces significara que se ha secado superficialmente de lo contrario si se mantiene la forma del cono significa que aún hay agua en exceso (Durán Ramos , 2021), de ser así, hay que continuar secando la arena hasta obtener el secado superficial deseado (Ilustración 19).
6. Una vez esta seca superficialmente la arena se procede a pesar una muestra de 300 gramos y se registra como masa saturada y superficialmente seca (Mh).



7. La muestra pesada anteriormente se coloca en una charola para secarla hasta eliminar completamente el agua.
8. Para comprobar que el material está totalmente seco será necesario utilizar un cristal y colocarlo sobre el material y si este no se empaña lo retiramos para dejar enfriar (Ilustración 20), enseguida se pesa y registra como masa seca del material (Ms), en caso de empañarse se debe seguir secando hasta eliminar completamente la humedad.



Ilustración 19. Uso de molde troncocónico. Fuente: (Durán Ramos, 2021).



Ilustración 20. Uso de cristal para verificar humedad. Fuente: (Durán Ramos, 2021).

Cálculos realizados:

$$\% \text{ de humedad de absorción} = \frac{MH - MS}{MS} * 100$$

Dónde:

MH = Masa saturada y superficialmente seca en gr.

MS = Masa seca del material en gr.

Densidad en arenas

En esta prueba se determina el volumen que forman las partículas del agregado (arena) en otras palabras es aquella prueba que tiene como objetivo determinar el volumen efectivo excluyendo los vacíos que llegan a formarse entre las partículas de la arena cada vez que se acomodan una sobre otra (Durán Ramos , 2021). De acuerdo a la norma (NMX-C-152-ONNCCE, 2015).



Equipo a utilizar:

- La muestra representativa de arena de aproximadamente 1Kg.
- Espátula.
- Una charola.
- Parrilla eléctrica.
- Molde troncocónico.
- Un embudo.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Un pisón.
- Frasco de Chapman.

Procedimiento a realizar:

1. En una charola con agua se deja saturar la muestra de arena en un tiempo de 24 horas aproximadamente.
2. Enseguida se utiliza la parrilla para secar superficialmente la muestra como ya se mencionó anteriormente en la prueba de absorción.
3. Utilizamos el frasco de Chapman y colocamos un volumen inicial de agua (V_i) en cm^3 (Ilustración 21).
4. Con la muestra superficialmente seca se pesan 200 gramos aproximadamente.
5. Con un embudo se va vaciando la arena dentro de la probeta procurando que no quede pegada en las paredes.
6. Ahora se termina de llenar con agua el frasco de Chapman hasta los 450 ml (su nivel de aforo) (Ilustración 22).
7. Necesitamos sacarle el aire para ello se mueve y agita con cuidado la probeta que contiene nuestra muestra.
8. Se toma registro del peso del frasco que lleva el agua y la arena, se registra como masa total del frasco, agua hasta nivel de aforo y la muestra (Ilustración 23).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”



Ilustración 21. Volumen inicial V_i en Frasco Chapman. Fuente: Propia.



Ilustración 22. Llenado hasta nivel de aforo (450 ml). Fuente: Propia.



Ilustración 23. Registro de masa total del frasco. Fuente: (Durán Ramos, 2021).

Cálculos realizados:

$$DA = \frac{Ma}{V_f - V_i}$$

Dónde:

Ma = Masa saturada y superficialmente seca en gr.

V_i = Volumen inicial colado dentro de la probeta en cm^3 .

V_f = Volumen final colado dentro de la probeta en cm^3

DA = Densidad de la arena en gr/cm^3



3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS CEMENTANTES

3.2.1. MORTERO

3.2.1.1. MASA VOLUMÉTRICA SECA Y SUELTA (MVSS)

Esta prueba es necesaria para determinar la relación entre la masa de los sólidos existentes y el volumen de esa misma arena dónde su acomodo de partículas es de forma natural o libre (Durán Ramos , 2021).

Equipo a utilizar:

- Un recipiente con su volumen y masa conocidos.
- Balanza con capacidad mínima de 20 Kg y aproximación de g.
- Cucharón.
- Pala.
- Una varilla lisa punta de bala de 5/8” de diámetro.
- La muestra de arena en estado seco.

Procedimiento a realizar:

1. La muestra de arena seca se coloca en una superficie limpia y totalmente seca, dónde se debe palear y dividir en 4 partes iguales, como se explicó anteriormente en la prueba de muestreo.
2. Enseguida con ayuda del cucharón se va vaciando la arena dentro del recipiente a una altura aproximada de 5 cm que es medida a partir de su arista superior (del recipiente), se debe distribuir uniformemente en toda el área hasta llenarlo formando un cono (Ilustración 24).
3. A continuación, con la varilla lisa punta de bala se procede a enrasar.
4. Con la masa obtenida se resta el peso propio del recipiente y así obtenemos la masa de la arena (Ilustración 25).



Ilustración 24. Vaciado del material. Fuente: (Durán Ramos, 2021).



Ilustración 25. Masa total de la arena. Fuente: (Durán Ramos, 2021).

Cálculos realizados:

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

Donde:

MVSS = Masa volumétrica seca y suelta en gr/cm^3

M = Masa de la arena en g

V = Volumen del recipiente en cm^3

3.2.1.2. MASA VOLUMÉTRICA SECA VARILLADA (MVSV)

Su finalidad es que a partir de que el material tiene una determinada compactación se puede obtener la masa por unidad de volumen de la arena en estudio.

Equipo a utilizar:

- Un recipiente con su volumen y masa conocidos.
- La muestra de arena seca.
- Una varilla lisa punta de bala de 5/8” de diámetro.
- Pala.
- Balanza con capacidad mínima de 20 kg y aproximación de g.
- Cucharón.



Procedimiento a realizar:

1. La muestra de arena seca se coloca en una superficie limpia y totalmente seca, dónde se debe palear y dividir en 4 partes iguales, como se explicó anteriormente en la prueba de muestreo.
2. A continuación, con ayuda del cucharón se llena el recipiente dejando caer el material a una altura de 5 cm aproximadamente, se tiene que hacer en tres capas dónde a cada una con la varilla lisa punta de bala se le dará 25 golpes distribuidos en toda la zona (Ilustración 26) de afuera hacia al centro (NMX-C-073-ONNCCE, 2014).
3. La varilla al momento de dar los golpes no debe penetrar la capa anterior, una vez terminadas las capas y golpes se procede a enrasar con la varilla punta de bala (Ilustración 27).
4. Se pesa el recipiente con el material y lo obtenido se le resta el peso propio del recipiente para obtener la masa total del material.



Ilustración 26. Varillado del material. Fuente: (Durán Ramos, 2021).



Ilustración 27. Enrasado de material. Fuente: (Durán Ramos, 2021).

Cálculos realizados:

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

Dónde:

MVSV = Masa volumétrica seca varillada en gr/cm^3

M = Masa de la arena en g

V = Volumen del recipiente en cm^3



3.3. CEMENTANTES HIDRÁULICOS Y SU CARACTERIZACIÓN

Durante las pruebas realizadas en esta investigación en todo momento se trabajó con los siguientes cementantes:

- Cemento Portland CPC 30R RS.
- Cemento de Albañilería.
- Cal hidratada.

En la caracterización del Cemento Portland utilizado se hicieron la prueba de determinación de la densidad con la norma (NMX-C-152-ONNCCE, 2015), Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos usando (NMX-C-059-ONNCCE, 2017) y por último su consistencia normal con (NMX-C-057-ONNCCE, 2015).

3.3.1. DENSIDAD Y SU DETERMINACIÓN

De una muestra representativa del cemento a emplear en el diseño de la mezcla del concreto/mortero se obtiene el análisis correspondiente para obtener la densidad aparente del cemento como lo hacen en la comercialización y fabricación del cemento (Durán Ramos , 2021).

Equipo a utilizar:

- 60 g aproximados de la muestra a utilizar.
- Una balanza con aproximación a 0.1 gramos.
- Un frasco de Le Chatelier.
- Queroseno exento de agua.
- Termómetro.
- Agua.
- Embudo de cristal.

Procedimiento a realizar:

1. Como primer paso vaciamos en el frasco de Le Chatelier hasta la marca que se ubica entre 0 y 1 ml queroseno, con mucho cuidado procurando no formar burbujas durante su vaciado (Ilustración 28).
2. En un recipiente con agua que este a temperatura ambiente se colocara el frasco de Le Chatelier unos minutos para que el líquido que tiene dicho frasco se estabilice.
3. Pasando un tiempo anotamos una lectura inicial del líquido que se obtiene de la parte inferior del menisco (Ilustración 29).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

4. Utilizamos los 60 gramos de cemento (CPC 30R RS).
5. En el mismo frasco de Le Chatelier se agrega el cemento con ayuda del embudo, con mucho cuidado procurando no tapar el frasco (Ilustración 30).
6. Una vez se agrega el cemento se procede a tapar el frasco, lo giramos horizontalmente con la finalidad de sacar el aire que pueda estar atrapado.
7. Volvemos a sumergir el frasco en agua para estabilizar la temperatura y se registra la nueva lectura que se toma como ya se explicó en el paso 3. Se registra la lectura como L_f (Ilustración 31).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”



Ilustración 28. Llenado de petróleo hasta las marcas 0-1 ml. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).



Ilustración 29. Primera lectura. Fuente: (Durán Ramos, 2021).



Ilustración 30. Agregado de cemento. Fuente: (Durán Ramos, 2021).



Ilustración 31. Lectura final. Fuente: (Durán Ramos, 2021).

Cálculos realizados:

$$\rho = \frac{M}{L_f - L_i}$$

Dónde:

P = Densidad en g/cm^3

M = Masa del cemento en g.

L_i = Lectura inicial en ml.

L_f = Lectura final en ml.



3.3.2. TIEMPO DE FRAGUADO

Con ayuda del Método Vicat es que se hizo esta prueba que nos sirve para obtener los tiempos de fraguado en el cemento hidráulico, tanto el inicial como el final.

Equipo a utilizar:

- Una muestra del cemento a utilizar.
- Báscula.
- Agua.
- Un recipiente para la mezcla.
- Cristal liso.
- Cronometro.
- Probeta.
- Aparato para la prueba Vicat.
- Pesas para llevar a cabo la prueba.
- Espátula.
- Guantes de látex o hule.

Procedimiento a realizar:

1. Se pesa en la báscula una muestra de 600 g aproximadamente, enseguida la vaciamos en un recipiente formando un cráter con ella.
2. Utilizamos agua en porcentaje de acuerdo al peso de nuestra muestra de cemento ya pesada.
3. El agua se mide en una probeta y esta se vacía en el cráter formado con el cemento, pero antes es necesario utilizar el cronómetro y hacer el conteo desde el inicio de contacto del agua con el cemento y su final.
4. Después de transcurridos 30 segundos se lleva todo el cemento de las orillas del cráter hacia su centro para humedecer toda la muestra.
5. Se deja 30 segundos más para que la humedad pueda homogenizar la mezcla por completo (Ilustración 32).
6. Se usan guantes para amasar la mezcla por un 1 minuto y 30 segundos. Durante el primer tercio de tiempo (30 s) se golpea la pasta en la mano hasta que logre homogenizarse. En los próximos 30 s se forma una esfera con la mezcla (Ilustración 33) y está la lanzamos entre ambas manos con una distancia de 15 cm aproximadamente en un total de 6 repeticiones. Por último, en los últimos 30 s se deja reposar en una mano.
7. Ahora utilizamos el aparato de Vicat en dónde la boca más chica se apoya sobre el cristal y en la boca más grande del anillo del aparato se agrega la pasta.
8. El exceso de pasta que sobresalga se retira.



9. Ahora la parte ancha del aparato se coloca sobre el cristal para enrasar.
10. Durante 30 minutos aproximados se coloca la muestra en un cuarto húmedo, una vez terminado se registra la medida de penetración de la aguja con el aparato de Vicat (Ilustración 34).
11. Se debe obtener una penetración menor o igual a 2.5 cm para ello una vez se allá tomado la primera lectura se siguen tomando cada 15 min hasta obtener la penetración más aproximada (Ilustración 35).
12. Cuando la aguja ya no permita marcar en la pasta al efectuar la penetración se dejan de hacer esas penetraciones (Ilustración 36).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”



Ilustración 32. Preparación de la muestra. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).



Ilustración 33. Amasado de la mezcla para su colocación en el molde. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).



Ilustración 34. Muestra en cuarto de curado. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).



Ilustración 35. Primera lectura al momento del fraguado. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).



Ilustración 36. Medición final. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).

Es importante aclarar que durante las pruebas las penetraciones deben cumplir con una distancia no menor de 6 mm (una de la otra) y a distancias no menores de 9 mm de la parte interior del cono troncocónico (Mondragón Martínez, 2021). Sin excepción las lecturas registradas de las penetraciones deben ser registradas (NMX-C-059-ONNCCE, 2017).



3.3.3. CONSISTENCIA NORMAL

Su finalidad no es más que determinar qué cantidad de agua se utilizará o será necesaria para mezclarla con determinada cantidad en peso del cemento, con la intención de ser de ayuda en efectuar todas las pruebas necesarias (Durán Ramos , 2021).

Equipo a utilizar:

- 60 g aproximados de cemento a utilizar.
- Agua.
- Balanza.
- Aparato de Vicat.
- Cristal liso.
- Probeta graduada entre 100 y 200 ml.
- Recipiente de cerámica.
- Espátula.
- Pesas con variaciones según (NMX-C-057-ONNCCE, 2015).

Procedimiento a realizar:

1. Se pesa la cantidad de 600 gramos de cemento (el utilizado para este estudio).
2. Se vierte en el recipiente tratando de formar un cráter.
3. Agregamos una cantidad de agua en relación al peso del cemento utilizado.
4. En seguida procedemos a medir el agua en la probeta y cuidadosamente se va vertiendo en el cráter formado (Ilustración 37), al contacto del cemento con el agua de inicia el conteo con un cronómetro.
5. Buscando que todo el cemento se humedezca, pasando 30 segundos de haber agregado el agua se va llevando el material de las orillas hacia el centro del cráter.
6. En los próximos 30 segundos será necesario dejar la mezcla reposar para que se homogenice por completo.
7. Con ayuda de unos guantes ya humedecidos se procede a amasar la pasta durante 1 minuto 30 segundos aproximadamente. En los primeros 30 segundos la mezcla se va golpear con la mano hasta lograr homogenizarla, en los próximos 30 segundos se formará una bola con la mezcla y se lanzará 6 veces de una mano hacia la otra, a una distancia de 15 cm. En el tiempo restante solo se deja reposar la mezcla en una mano.



8. Con ayuda del aparato de Vicat se agrega la pasta formada en la boca más ancha del anillo de dicho aparato, y en la boca más pequeña se apoya sobre el cristal liso (Ilustración 38). Se retira el exceso de pasta que sobresalga de la boca ancha del anillo.
9. Enseguida se enrasa por lo cual es necesario colocar la boca ancha sobre en cristal liso.
10. Por último, se ajusta el aparato para poder dejar caer la aguja sobre la superficie de la pasta, una vez pasen 30 segundos, se toma su lectura de penetración (Ilustración 39).



*Ilustración 37. Vertido de agua en el cemento.
Fuente: (Durán Ramos, 2021).*



*Ilustración 38. Aparato de Vicat apoyado sobre cristal liso.
Fuente: (Durán Ramos, 2021).*



Ilustración 39. Lectura de penetración del aparato de Vicat. Fuente: (Durán Ramos, 2021).

3.4. LA CAL HIDRATADA

La cal hidratada es muy conocida por aportar mejoras en trabajabilidad y plasticidad al incorporarse en ciertas mezclas de mortero dónde deciden utilizarla. Con la finalidad de conocer mejor las propiedades de la cal se realizó



una caracterización dónde se buscó saber su densidad y la masa volumétrica seca y suelta (Mondragón Martínez , 2021).

3.4.1. MASA VOLUMETRICA SECA Y SUELTA (MVSS)

Equipo a utilizar:

- Recipiente dónde se conoce masa y volumen.
- Muestra representativa que sea por lo menos 1.5 veces la capacidad del recipiente.
- Báscula.
- Un cucharón.
- Varilla lisa punta de bala de 5/8.

Procedimiento a realizar:

1. Como primer paso utilizamos la muestra para llenar un poco más del limite el recipiente (Ilustración 40).
2. Usamos la varilla lisa punta de bala para enrasar el recipiente (Ilustración 41).
3. Al retirarlo se procura limpiar para no dejar material adherido en el exterior de dicho recipiente.
4. Por último, se pesa y registra como M la masa que dé como resultado.



Ilustración 40. Llenado del recipiente con la muestra. Fuente: (Durán Ramos, 2021).



Ilustración 41. Enrasado del material. Fuente: (Durán Ramos, 2021).



Cálculos realizados:

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

Dónde:

MVSS = Masa volumétrica seca y suelta en g/cm^3

M = Masa de la arena en g

V = Volumen del recipiente en cm^3

3.4.2. DENSIDAD

Equipo a utilizar:

- 60 gramos de la muestra representativa.
- Una balanza.
- Frasco de Le Chatelier.
- Queroseno exento de agua.
- Charola o recipiente.
- Embudo.
- Termómetro.
- Agua.

Procedimiento a realizar:

1. En el frasco de Le Chatelier se vierte hasta la marca que se encuentra entre 0 y 1 ml Petróleo. Se debe hacer cuidadosamente para evitar hacer burbujas.
2. En un recipiente con agua a temperatura ambiente se coloca el frasco por unos minutos para que el líquido que contiene se homogenice con la temperatura del recipiente.
3. Tomamos una lectura inicial (L_i) del líquido en la parte inferior del menisco.
4. Pesamos 60 gramos de cal.
5. Con ayuda del embudo procedemos a vaciar la cal lentamente siempre cuidando que no se obstruya el frasco (Ilustración 42).
6. Se tapa el frasco y se gira de forma horizontal para retirar el aire que pueda tener atrapado entre las partículas de cal.
7. Por último, solo se deja estabilizar la temperatura del líquido del frasco sumergiéndolo en agua y se toma su lectura final (L_f), que se lee en la parte inferior del menisco (Ilustración 43).



Ilustración 42. Vaciado de cal al frasco Le Chatelier.
Fuente: (Durán Ramos, 2021).



Ilustración 43. Toma de lectura final de prueba.
Fuente: (Durán Ramos, 2021).

Cálculos realizados:

$$\rho = \frac{M}{L_f - L_i}$$

Dónde:

P = Densidad en gr/cm^3

M = Masa del cemento en gr.

L_i = Lectura inicial en ml.

L_f = Lectura final en ml.

3.5. EL DISEÑO DEL MORTERO

Para el diseño de las mezclas de mortero optimas de esta investigación se realizó en base a lo ya establecido en las normas (N-CMT-2-01-004, 2002) y (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014), dónde se consideró el proporcionamiento en partes en volumen tanto de cemento portland y agregado(arena), así como de cemento portland, cal y agregado(arena) y por último de cemento portland, cemento de albañilería y arena.

3.5.1. PROPORCIONAMIENTO POR PARTES EN VOLUMEN DE MEZCLAS PLÁSTICAS AGLOMERANTES EN ESTADO FRESCO

Las diferentes proporciones que se realizaron por partes por volumen fueron realizadas a partir del amplio margen de proporcionamientos que nos brindan las normas (N-CMT-2-01-004, 2002) y la (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

La primera norma antes mencionada nos dice que el mortero se divide en 3 tipos (I, II y III), los cuales a su vez tienen en común una parte de cemento portland y va ir cambiando en cuanto a sus partes de agregado(arena), cemento de albañilería y cal. Se hace mención que las partes de arena van a ser no menos de 2.25 ni más de 4 veces la suma de los cementantes en volumen (Durán Ramos , 2021).

Los diferentes proporcionamientos se indican en las tablas 11 y 12.

Tabla 11. Tipos de mortero y sus proporcionamientos propuestos en la N-CMT-2-01-004/02.

TIPO	PARTES DE CEMENTO PORTLAND	PARTES DE CEMENTO DE ALBAÑILERÍA	PARTES DE CAL	PARTES DE ARENA
I	1	0	0 a ¼	No menos de 2.25 ni más de 4 veces la suma de cementantes en volumen.
	1	0 a ½	0	
II	1	0	¼ a ½	veces la suma de cementantes en volumen.
	1	½ a 1	0	
III	1	0	½ a 1 ¼	

Tabla 12. Tipos de morteros y su proporcionamientos sugeridos por la NMX-C-486-2014.

TIPOS DE MORTERO	PARTES DE CEMENTO HIDRÁULICO	PARTES DE CEMENTO DE ALBAÑILERÍA	PARTES DE CAL HIDRATADA	PARTES DE ARENA
I	1	0	0 a ¼	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen.
	1	0 a ½	0	
II	1	0	¼ a ½	veces la suma de cementantes en volumen.
	1	½ a 1	0	
III	1	0	0	veces la suma de cementantes en volumen.
	1	0	½ a 1 ¼	
IV	1	0	1 ½ a 2	veces la suma de cementantes en volumen.
	1	1	0	

Entre ambas normas se pueden apreciar pequeñas diferencias en cuanto a sus proporcionamientos, prácticamente en ambas se está usando las mismas partes de cementos de albañilería como de cal. Una de las diferencias es que en la norma (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014) ya se presenta un cuarto tipo de mortero cosa que en la (N-CMT-2-01-004, 2002) no pasa, también las partes de arena cambian siendo mayor las partes de arena propuestas por la (N-CMT-2-01-004, 2002) y se puede decir que esta norma es un poco más restrictiva. En base a las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, solo se consideran dos tipos de mortero (I y II), esto por causa de que los otros tipos ya mencionados a edades de 28 días no alcanzan resistencias a la compresión suficientes para ser usados estructuralmente.



3.5.2. FLUIDEZ

Esta prueba nos permite de forma rápida identificar la cantidad de agua necesaria que requiere una mezcla para que esta sea manejable y fluida.

Equipo a utilizar:

- Mesa de fluidez que debe de cumplir con la (NMX-C-144-ONNCCE, 2015).
- Mezclador mecánico (Taladro).
- Regla para fluidez.
- Molde para fluidez.
- Franela.
- Pisón.
- Cuchara de albañil.

Procedimientos a realizar:

1. En primera instancia se procede a hacer el mezclado de forma mecánica de acuerdo a la norma (NMX-C-085-ONNCCE, 2015).
2. Se prepara la mesa de fluidez dónde la parte superior del platillo de la mesa debe estar limpio, secar con cuidado y se coloca el molde en el centro (Ilustración 44).
3. Enseguida se procede a agregar al molde una primera capa de mortero que sea de aproximados 25 mm de espesor, los cuales se compactaran 20 veces con el pisón (Ilustración 45).
4. Se agrega la última capa de mortero hasta llenar totalmente el molde y nuevamente se compacta como se mencionó anteriormente (Ilustración 46).
5. Con ayuda de una cuchara de albañil se enrasa la superficie del mortero (la cuchara se sostiene perpendicularmente al molde) con un movimiento de aserrado sobre el borde superior del molde (Ilustración 47).
6. Con la franela se limpia y seca cuidadosamente la parte del platillo de la mesa de fluidez que no está cubierta por el molde (Ilustración 48).
7. Transcurrido 1 minuto tras haber terminado el mezclado, se levanta el molde con cuidado procurando hacerlo lo más vertical posible (Ilustración 49).
8. Con ayuda de la palanca de la mesa de fluidez se deja caer el platillo 25 veces en 15 segundos a una altura de 12,7 mm (Ilustración 50).
9. Al terminar los 25 golpes se mide el diámetro obtenido por la mezcla de mortero, 4 veces y en 4 direcciones a 45° (la mesa tiene marcadas las lecturas). Una vez obtenidas la fluidez será la suma de esas 4 mediciones (Ilustración 51).
10. Si la fluidez es aceptable se termina el ensayo.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”



Ilustración 44. Mesa de fluidez en condiciones para utilizar. Fuente: Propia.



Ilustración 45. Primera capa y compactaciones con el pisón. Fuente: Propia.



Ilustración 46. Segunda capa y últimas compactaciones. Fuente: Propia.



Ilustración 47. Enrasado de material sobrante. Fuente: Propia.



Ilustración 48. Limpieza de platillo para no afectar resultados de fluidez. Fuente: Propia.



Ilustración 49. Se retira molde de forma vertical. Fuente: Propia.



Ilustración 50. Palanca de fluidez dónde se hacen 25 giros en 15 segundos. Fuente: Propia.



Ilustración 51. Toma de lecturas de fluidez. Fuente: Propia.



Cálculos realizados:

Para esta prueba únicamente se suman las 4 mediciones a 45° y esa suma nos indica la fluidez.

Datos importantes:

- La mesa de fluidez debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma (NMX-C-144-ONNCCE, 2015) y el mezclador mecánico con la norma (NMX-C-085-ONNCCE, 2015).
- La fluidez obtenida debe ser de 110% con 5% de tolerancia (NMX-C-061-ONNCCE, 2015).
- El valor de la fluidez obtenida para mortero utilizado para pega de piezas de mampostería, obtenido en laboratorio mediante el uso de la mesa de fluidez debe estar entre 125% a 130% (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014).

3.6. PROCESO DE ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES

3.6.1. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES CÚBICOS DE 50 mm POR LADO

Se realizaron especímenes cúbicos con dimensiones de 50 mm por lado esto una vez terminando la prueba de fluidez y esta fuera satisfactoria de acuerdo a lo mencionado en la (NMX-C-061-ONNCCE, 2015), también se llevó paso a paso el procedimiento de moldeado de los especímenes en base a lo indicado en dicha norma antes mencionada. Todo esto con la finalidad de tener al menos 5 muestras representativas de cada mezcla ya que la norma nos pide tener al menos tres como mínimo. Con ellas se probará resistencia a la compresión y resistividad eléctrica a edades tempranas (7, 14 y 28 días) y tardías (90 y 180 días).

Equipo a utilizar:

- Moldes cúbicos de metal con cavidades cúbicas de 50 mm por lado.
- Pisón de hule sintético de una dureza Shore “A” de 80 más menos 10.
- Cuchara de albañil.
- Guantes de hule.
- Aceite mineral.
- Brocha.



Procedimiento a realizar:

1. Una vez terminado el ensayo de fluidez y haber cumplido con los porcentajes requeridos, procedemos a regresar el mortero que se empleó en la misma al recipiente dónde tenemos el resto de la mezcla (usando guantes en todo momento) y se bate todo por 15 segundos a una velocidad media.
2. Se agrega una pequeña capa de aceite mineral a los moldes cúbicos de metal.
3. En seguida se hace la preparación de los especímenes que debe ser en un tiempo no mayor a 2 minutos con 30 segundos. Se coloca la primera capa de mortero que debe ser de aproximadamente 25 mm de espesor (Ilustración 52).
4. Con ayuda del pisón se compacta 32 veces en un tiempo de 10 segundos, en 4 vueltas. Las vueltas son a 90° una con respecto a la otra y estas consiste en 8 golpes adyacentes que serán repartidos sobre toda la superficie (Ilustración 53).
5. Una vez terminadas las 4 vueltas se procede a compactar con una presión lo suficiente para asegurar un llenado uniforme de todo el molde.
6. Se agrega la segunda capa y se vuelve a repetir el paso 3 (Ilustración 54).
7. Se termina compactando con la presión suficiente y se enrasa con la ayuda de una cuchara de albañil o pisón de hule sintético (Ilustración 55).
8. Se dejan reposar 24 horas y una vez transcurrido ese tiempo se almacenan en agua limpia para sus posteriores ensayos.



Ilustración 52. Primera capa de mortero de 25 mm aprox. Fuente: Propia.

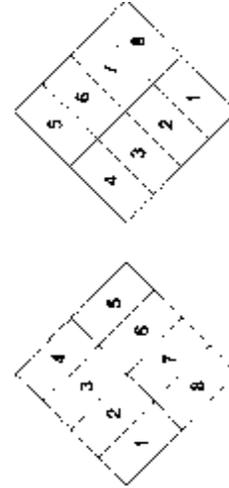


Ilustración 53. Orden de apisonadas. Fuente: NMX-C-061-ONNCCE-2015.



Ilustración 54. Segunda y última capa de mortero. Fuente: Propia.



Ilustración 55. Enrasado de material excedente. Fuente: Propia.

3.6.2. ELABORACIÓN DE PRISMAS DE MORTERO DE 40 mm X 40 mm X 160 mm

Se moldearon prismas de mortero con dimensiones de 40 mm x 40 mm x 160 mm estos una vez cumplidos los ensayos de fluidez de cada mezcla, para su elaboración se siguió los lineamientos establecidos en la norma (UNE-EN-196-1, 2005). Se obtuvieron 5 muestras representativas de cada mezcla de cada uno de las edades tempranas (7, 14 y 28 días) y tardías (90 y 180 días) que se probaran en futuros ensayos no destructivos como lo es la resistividad eléctrica y destructivos como será la prueba a flexión.

Equipo a utilizar:

- Molde de metal para elaborar prismas con dimensiones 40x40x160.



- Cuchara de albañil.
- Guantes de hule.
- Aceite mineral.
- Brocha.
- Pisón de hule sintético de una dureza Shore “A” de 80 más menos 10.

Procedimiento a realizar:

1. Se prepara el molde de metal para elaborar prismas aplicándole una ligera capa de aceite mineral con ayuda de la brocha, utilizando en todo momento guantes de hule (Ilustración 56).
2. Con la mezcla de mortero ya preparada y cumpliendo con el ensayo de fluidez antes mencionado, se procede a llenar la primera capa de mortero en el molde con ayuda de la cuchara de albañil procurando que la capa tenga alrededor de 300 gramos (ilustración 57).
3. Se extiende la capa uniformemente utilizando el pisón de hule sintético manteniéndolo verticalmente pasándolo a lo largo de cada compartimiento del molde, de atrás hacia adelante.
4. Enseguida procedemos a compactar la primera capa de mortero dando 60 golpes con el pisón en forma de zigzag (Ilustración 58).
5. Una vez terminados los 60 golpes con el pisón se procede a compactar el molde completo en una superficie lisa y firme con 3 a 5 golpes para distribuir mejor el mortero y eliminar vacíos.
6. Aplicamos la segunda y última capa de mortero asegurando que haya excedente se iguala con el pisón distribuyendo uniformemente y con ese mismo se compacta con otros 60 golpes.
7. Se repite nuevamente el paso 5, se termina enrasando con ayuda de la cuchara de albañil y se retira el excedente de mortero (Ilustración 59).
8. Se deja reposar todos los prismas en un lapso de 24 horas y una vez transcurridas se procede a desmoldar y guardar en agua limpia todas las muestras ya programadas y marcadas para sus futuros ensayos.



Ilustración 56. Aplicación de capa de aceite en el molde prismático. Fuente: Propia.



Ilustración 57. Agregado de primera capa de mortero. Fuente: Propia.



Ilustración 58. Apisonado de primera capa. Fuente: Propia.



Ilustración 59. Enrasado con pisón de acrílico. Fuente: Propia.

3.6.3. ELABORACIÓN DE BRIQUETAS DE MORTERO

Se realizaron briquetas una vez cumplidas los ensayos de fluidez de cada mezcla, para su elaboración se llevó paso a paso el procedimiento de moldeado descrito en la norma (I.N.V.E-327, 2007). Todo esto con la finalidad de tener al menos 5 muestras representativas de cada mezcla y con ellas se probarán los ensayos de tensión de morteros de cemento hidráulico en edades tempranas (7, 14 y 28 días) y tardías (90 y 180 días).

Equipo a utilizar:

- Molde de metal para elaborar briquetas de mortero.
- Cuchara de albañil.
- Guantes de hule.
- Una placa de vidrio o metal lisa no absorbente.
- Brocha.
- Aceite mineral.



Procedimiento a realizar:

1. Se recubre el molde con una pequeña capa de aceite mineral y se coloca en una placa de vidrio o metal. En todo momento usar guantes.
2. Se procede a llenar el molde con la mezcla de mortero una vez cumpla con el ensayo de fluidez, se debe tener cuidado al llenar el molde procurando no compactarlo y de tal forma que sobresalga por encima de los bordes del molde (Ilustración 60).
3. Se compacta 12 veces con ayuda de los pulgares en cada una de las briquetas del molde de forma distribuida por toda la muestra (Ilustración 61).
4. Se agrega un poco más de mortero a cada briqueta del molde y se enrasa y alisa con ayuda de la cuchara de albañil (Ilustración 62).
5. Con ayuda de las manos se levanta el molde en forma vertical (Ilustración 63).
6. En otro espacio de la placa de vidrio o metal se vuelve a colocar el molde para repetir nuevamente el llenado y los pasos ya antes mencionados.
7. Terminando la operación de llenado se dejan reposar por 24 horas para posteriormente ser sumergidas en agua limpia para sus posteriores ensayos.



Ilustración 60. Llenado de molde con la mezcla de mortero. Fuente: Propia.



Ilustración 61. Compactación con pulgares de forma uniforme 12 veces. Fuente: Propia.



Ilustración 62. Enrasado de molde con pisón de acrílico. Fuente: Propia.



Ilustración 63. Retiro de molde en forma vertical. Fuente: Propia.

3.6.4. ELABORACIÓN DE CILINDROS DE MORTERO 50 mm X 100 mm

La elaboración de cilindros de mortero se realizó con el objetivo de las pruebas de módulos de elasticidad. Deben tener un diámetro mínimo de 50 mm y una longitud mínima de 100 mm. Todo el procedimiento para la preparación y acondicionamiento de las muestras es a partir de la Norma Mexicana (NMX-C-159-ONNCCE, 2016). En estas pruebas la cantidad de especímenes es de 5 por mezcla para probar a edades de 28 y 180 días.

Equipo a utilizar:

- Molde metálico para cilindros de 50 mm x 100 mm.
- Guantes de hule.
- Aceite mineral.
- Cuchara de albañil.
- Varilla punta de bala.



- Brocha.

Procedimiento a realizar:

1. Se recubre el molde con una pequeña capa de aceite mineral, en todo momento usar guantes.
2. Con la mezcla de mortero ya preparada y cumpliendo con el ensayo de fluidez, se procede a llenar la primera capa de mortero en el molde con ayuda de la cuchara de albañil hasta la mitad del mismo (ilustración 64).
3. A continuación, se procede a varillar la primera capa dando 25 penetraciones, empezando de los extremos hasta llegar al centro en forma de espiral con ayuda de la varilla punta de bala (Ilustración 65).
4. Se hace un pequeño vibrado de la primera capa sujetando el molde con la mano palma hacia abajo para evitar que exista un derrame de material y se golpea 5 veces en una superficie firme (Ilustración 66).
5. Se agrega la segunda capa agregando un poco de excedente de material y se vuelve a repetir el varillado como se explicó en el paso 3. Una vez terminado se repite el paso 4.
6. Con ayuda de la cuchara de albañil se enrasa y se retira el material sobrante.
7. Terminando la operación de llenado se dejan reposar por 24 horas para posteriormente ser sumergidos en agua limpia para su posterior ensayo.



Ilustración 64. Llenado de primera capa de mortero. Fuente: Propia.



Ilustración 65. Varillado en forma de espiral de 25 penetraciones. Fuente: Propia.



Ilustración 66. Compactado de molde en superficie firme. Fuente: Propia.

3.6.5. ELABORACIÓN DE PILAS Y MURETES

En el estudio se realizaron pilas y muretes con las respectivas mezclas seleccionadas y utilizadas en los anteriores ensayos y ladrillos de arcilla convencional. Dentro del proceso las pilas fueron realizadas con cinco ladrillos sobrepuestos uno sobre otro, con juntas de 10 mm a 15 mm como máximo y los muretes de igual forma se conformaron por cinco niveles con iguales juntas, como en las pilas.

Se utilizaron en su elaboración las herramientas necesarias como lo fue un nivel de burbuja, cuchara de albañil, guantes de hule y recipiente metálico para la mezcla. Los ladrillos de arcilla utilizados fueron saturados durante 30 minutos antes de ser empleados, en total se crearon dos pilas y dos muretes por cada una de las seis mezclas trabajadas en estas pruebas únicamente con las que contienen agregado fino de “EL CORO”.

Terminadas todas las pilas y muretes se dejan reposar por 28 días para realizar sus ensayos de carga axial en pilas y la resistencia a la compresión diagonal en los muretes.



Ilustración 67. Elaboración de pilas y muretes para pruebas a 28 días. Fuente: Propia.

3.7. ENSAYOS A ESPECÍMENES

3.7.1. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Un ensayo no destructivo, como su nombre lo indica será aquel que no afecte físicamente al espécimen para posteriormente poder realizarle pruebas destructivas, como lo son ensayos a compresión o flexión. Para este estudio únicamente se presenta un ensayo no destructivo que se va a realizar en diferentes especímenes cúbicos, prismáticos y cilíndricos. Ese ensayo es el de resistividad eléctrica el cual nos permite conocer un valor para saber la oposición que existe del flujo de electrones desde un punto de la muestra en estudio a otro punto del mismo.

3.7.1.1. RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

El ensayo de resistividad eléctrica nos permite saber de un espécimen probado estando totalmente saturada su porosidad y también la oposición al flujo de electrones.

También es una propiedad que tiene cada material y su correspondiente recíproco es conductividad, tiene una unidad de medida ohm-cm u ohm-m. Es importante como se mencionó anteriormente que al realizar esta prueba la muestra esté saturada y en menor grado también su hidratación de la pasta y de alguna presencia de sales disueltas en la fase acuosa (García Romero, 2021).

Para esta prueba se utilizó la resistividad eléctrica real, la cual es únicamente saturando el mortero con agua (NMX-C-514-ONNCCE-2019, 2019) y se realizó a diferentes especímenes de mortero prismáticos, cúbicos y cilíndricos en sus diferentes edades (7, 14, 28, 90 y 180 días).



Equipo a utilizar:

- Resistómetro para medir la resistividad eléctrica en suelos y materiales porosos.
- Almohadillas absorbentes de agua y acordes a las caras del espécimen.
- Placas metálicas.
- Flexómetro.
- Un recipiente con agua limpia.
- Vernier.
- Termómetro.
- Báscula.

Procedimiento a realizar:

1. Como primer paso se enumeran todas las muestras y con ayuda del vernier tomamos sus dimensiones de cada uno de los especímenes.
2. Se toma la temperatura de las muestras después de sacarlos del agua (Ilustración 68).
3. Se toman las almohadillas correspondientes al espécimen y se humedecen en agua y se mantienen así durante todo el ensayo.
4. Ahora conectamos las placas al Resistómetro y revisamos que este bien la conexión respecto a las terminales y su voltaje (Ilustración 69).
5. Se coloca el espécimen entre ambas placas y sus almohadillas saturadas de agua, siempre saturado el espécimen y superficialmente seco.
6. Es aquí dónde se mide y registra un voltaje (E) después de someterse a una corriente dada (I) (Ilustración 70).
7. Se retira y registra el voltaje y se repite con los especímenes restantes.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”



Ilustración 68. Toma de temperatura de muestras.
Fuente: Propia.



Ilustración 69. Verificación del adecuado uso y colocación de cables. Fuente: Propia.



Ilustración 70. Toma de lectura de voltaje en el Resistómetro. Fuente: Propia.

Cálculos realizados:

$$Re = \frac{E}{I}$$

Dónde:

Re = Resistencia eléctrica (KOhm).

E = Tensión en Volt con aproximación de una décima.

I = Corriente aplicada en amperio con aproximación de una décima.

El valor de resistividad eléctrica (ρ) se obtiene multiplicando la resistencia eléctrica por un factor de corriente de celda (k), esta última es una relación de área de la sección transversal de la muestra y su longitud (L).

$$k = \frac{A}{L}$$

$$\rho = Re * k$$



Dónde:

K = Constante de celda en m o cm.

A = Área transversal del espécimen en cm^2 .

L = Longitud del espécimen en cm.

P = Resistividad eléctrica en $\text{K}\Omega\text{-cm}$.

R_e = Resistencia eléctrica en $\text{K}\Omega$.

Especificaciones

Con base a la resistividad eléctrica del concreto hidráulico, se propone clasificar el mortero de acuerdo a los parámetros de la tabla 13.

Tabla 13. Especificaciones de resistividad eléctrica de acuerdo a la norma (NMX-C-514-ONNCCE-2019, 2019).

Resistividad eléctrica (ρ)	Probabilidad de corrosión (NMX-C-514-ONNCCE-2019, 2019)
>100-200 $\text{k}\Omega\text{-cm}$	Las velocidades de corrosión del acero son muy bajas. El concreto es muy denso, por lo que su porosidad interconectada es extremadamente baja.
50-100 $\text{k}\Omega\text{-cm}$	Las velocidades de corrosión del acero son bajas. Porosidad interconectada es baja.
10-50 $\text{k}\Omega\text{-cm}$	Las velocidades de corrosión del acero moderadas o altas en concretos carbonatados o con cloruros. Concreto con porosidad interconectada de consideración, transporte de agentes agresivos hacia el acero de refuerzo es rápido.
<10 $\text{k}\Omega\text{-cm}$	Las velocidades de corrosión del acero muy altas en concretos carbonatados o con cloruros. Concreto con porosidad interconectada excesiva.



3.8. ENSAYOS DESTRUCTIVOS

3.8.1. PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE A ESPECÍMENES CÚBICOS

La compresión simple en forma general es aquella capacidad de soportar una carga por unidad de área la cual es representada en unidades de esfuerzo generalmente en kilogramos-fuerza por centímetro cuadrado (kg/cm^2). Es esta resistencia a la compresión simple una de las características físico-mecánicas más importante del mortero, es por ello su importancia en el estudio. Los procedimientos se han realizado de acuerdo a las normas de la (ASTM-C-780, 2002), (NMX-C-083-ONNCCE-2014, 2014), (NMX-C-061-ONNCCE, 2015).

Equipo a utilizar:

- Máquina universal de pruebas Forney.
- Barra metálica para colocar el espécimen.

Procedimiento a realizar:

1. Se retira del agua los especímenes cúbicos a ensayar según edad, se secan y limpian correctamente. Se toma en cuenta las dimensiones tomadas de las pruebas de resistividad.
2. Con la máquina universal Forney ya calibrada se coloca la barra metálica para ajustar el recorrido que haga la máquina y al colocar la muestra debe estar bien ubicada en el centro de la superficie de contacto (Ilustración 71).
3. Se procede a poner la palanca en avance y la palanca gris siempre debe estar arriba, la roja se abre solo hasta la mitad para que pueda avanzar la platina y comience a cargar (Ilustración 72).
4. Se cierra la palanca roja lentamente de forma gradual siempre que las agujas vayan registrando la carga, hasta llegar y cerrar totalmente dentro del primer rango de carga y seguir así hasta que llegue a la carga de ruptura.
5. Fallando se registra la resistencia máxima obtenida, se retira la muestra y limpia la zona para tener lista el área para la siguiente muestra (Ilustración 73).
6. Una vez que la aguja negra se regrese y la aguja roja se quede fija, se procede rápidamente a regresar la palanca de avance a return o solo con la perilla gris la colocamos hacia abajo.
7. Una vez se termine de usar la máquina se regresa el botón de la aguja de aplicación de carga, se cierra la perilla del flujo de aceite, oprimimos el botón rojo (Stop), se apaga la maquina (Off).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”



Ilustración 71. Máquina de Pruebas Forney. Fuente: Propia.



Ilustración 72. Parte central de la máquina para controlar su funcionamiento.



Ilustración 73. Muestra cubica fallada. Fuente: Propia.

Cálculos utilizados:

$$R = \frac{W}{A}$$

Dónde:

R = La resistencia a la compresión, en kgf/cm^2

W = Carga Máxima de la muestra, en kgf

A = Área de contacto, en cm^2

Especificaciones

Con base a los resultados obtenidos a 28 días se clasifica el mortero para su uso estructural (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014) y para su uso no estructural (NMX-C-529-ONNCCE-2017, 2017). En las siguientes tablas (14 y 15) se especifica los valores de las normas de referencia.

Tabla 14. Tipos de mortero y resistencia de diseño a la compresión para uso estructural. Fuente: Propia.

Tipo de mortero	Resistencia promedio a la compresión MPa (kg/cm^2)	Resistencia mínima individual a la compresión MPa (kg/cm^2)
EI	18.0 (180)	12.5 (125)
EII	11.0 (110)	7.5 (75)
EIII	6.0 (60)	4.0 (40)



E: Estructural (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014).

Tabla 15. Tipos de mortero y resistencia de diseño a la compresión para uso No estructural. Fuente: Propia.

Tipo de mortero	Resistencia promedio a la compresión MPa (kg/cm^2)	Resistencia mínima individual a la compresión MPa (kg/cm^2)
NE1	5.9 (60)	4.7 (48)
NE2	3.9 (40)	3.1 (32)
NE3	2.9 (30)	2.4 (24)
NE: No estructural (NMX-C-529-ONNCCE-2017, 2017).		

3.8.2. PRUEBA DE FLEXIÓN A ESPECÍMENES PRISMÁTICOS

En la prueba de flexión a especímenes prismáticos con dimensiones 40 mm x 40 mm x 160 mm de mortero se tiene como objetivo determinar un módulo de ruptura y su esfuerzo cortante que presenta dicho mortero cuando este es sometido a flexión. Todos los procedimientos descritos son realizados de acuerdo a lo establecido en la norma (UNE-EN-196-1, 2005). Estas pruebas de flexión son realizadas en el caso de este estudio en edades tempranas a 7, 14 y 28 días y tardías de 90 y 180 días.

Equipo a utilizar:

- Base metálica para colocar especímenes prismáticos con dimensiones 40x40x160 mm.
- Prensa Universal de pruebas Forney.

Procedimiento a realizar:

1. Retirar del agua los especímenes prismáticos a ensayar según edad, se secan y limpian correctamente. Se toma en cuenta las dimensiones tomadas de las pruebas de resistividad.
2. Se marcan con unas líneas los especímenes para que al momento de colocarlos en la base metálica queden centrados correctamente (Ilustración 74).
3. Se coloca el prisma en la base metálica ya centrada en la máquina de ensayo, con una de las caras laterales sobre los rodillos de soporte y con su eje longitudinal normal a los soportes (Ilustración 75).
4. Se aplica carga lentamente con la Máquina Universal de pruebas Forney como se mencionó en el apartado 3.9.1. hasta que esta falle (Ilustración 76).
5. Se registra la carga máxima resistida y se hacen los cálculos necesarios para obtener su Módulo de ruptura.



6. Retirar la muestra fallada y limpiar el área ocupada para las siguientes muestras a ensayar.



Ilustración 74. Marcado de especímenes. Fuente: Propia.



Ilustración 75. Colocación adecuada del prisma antes de la prueba. Fuente: Propia.



Ilustración 76. Momento de falla de espécimen prismático. Fuente: Propia.

Cálculos realizados:

$$MR = \frac{3WL}{2BD^2}$$

Dónde:

MR = Módulo de ruptura, en kg/cm^2

W = Carga máxima aplicada, en kg.

L = Longitud en cm.

B = Ancho en cm.

D = Peralte en cm.



3.8.3. PRUEBA DE TENSION A ESPECÍMENES BRIQUETAS

La tensión mecánica obtenida no es más que la fuerza por unidad de área en el entorno de un punto material sobre una superficie de un cuerpo, material o medio continuo. Esta tensión es calculada teniendo en cuenta que existe un cambio entre dos estados del cuerpo: el estado en el que comienza y el estado final.

Equipo a utilizar:

- Máquina de pruebas con mordazas especiales para briquetas de mortero.
- Una balanza con una aproximación al décimo de gramo.
- Municiones para aplicar la carga.

Procedimiento a realizar:

1. De acuerdo a la edad de prueba se retiran y secan las briquetas a ensayar.
2. Se toman las dimensiones de la sección media (S_m) de cada una de las briquetas a ensayar y una vez hecho esto se llevan a la máquina que previamente debe estar nivelada para su uso (Ilustración 77).
3. Se coloca la biqueta en la mordaza y se procede a aplicar la carga lentamente y de forma constante con ayuda de las municiones colocadas en la tolva de la máquina hasta que falle la muestra (Ilustración 78).
4. Una vez fallada la muestra se retiran las municiones y se pesan en la balanza, esta masa de las municiones será considerada como la carga que soporto la sección media de la biqueta y se nombrará M_m (Ilustración 79).
5. Se retira la biqueta ya fallada y se limpia la zona para seguir con la siguiente muestra.



Ilustración 77. Máquina para probar briquetas. Fuente: Foto propia.



Ilustración 78. Briqueta colocada en mordaza antes de su ensayo a tensión. Fuente: Foto propia.



Ilustración 79. Briqueta de mortero probada a tensión. Fuente: Foto propia.

Cálculos realizados:

$$R = \frac{Mm * 50}{Sm}$$

Dónde:

R = Resistencia a la tensión, en kgf/cm^2 .

Mm = Masa de municiones o carga de ruptura, en Kg.

Sm = Sección media de la briqueta, en cm^2 .

50 = Constante de la máquina de prueba.



3.8.4. PRUEBA DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD ESTÁTICO A CILINDROS

Se conoce como Módulo de elasticidad estático a aquella relación existente entre un esfuerzo y la deformación unitaria axial al someterse a un esfuerzo de compresión que se encuentre dentro del comportamiento elástico. Lo podemos definir de igual forma como aquella pendiente de la secante marcada por dos puntos de la curva esfuerzo-deformación estando en la zona elástica (NMX-C-128-ONNCCE, 2013). Esta prueba se programó para realizar a edades de 28 y 180 días.

Equipo a utilizar:

- Máquina Universal de pruebas Forney.
- Deformímetro.
- Medidor de la deformación transversal.

Procedimiento a realizar:

1. Una vez secados superficialmente los especímenes y haber realizado su respectivo cabeceo en ambas caras para su mayor planicidad y perpendicularidad, se procede a colocar la muestra en un lugar plano para poder montar exactamente al centro de los anillos el dispositivo de medición, para evitar deslizamientos durante la prueba se deben apretar los anillos de punta (Ilustración 80).
2. Se comprueba que en el deformímetro queden verticales los micrómetros y paralelos al eje longitudinal de la muestra.
3. Ahora es necesario ajustar los micrómetros y enseguida retirar con cuidado las barras que separan los anillos, es importante checar que no se registren movimientos considerables en los indicadores de los micrómetros de lo contrario se tendrá que volver a repetir los pasos anteriores.
4. Ya lista la Máquina Universal de pruebas Forney se coloca la muestra con el deformímetro sobre la platina de la prensa, debe estar lo más centrado posible y los micrómetros deben estar en 0.0 antes de aplicar la carga (Ilustración 81).
5. Se comienza aplicando una precarga del 10% del promedio de los ensayos de resistencia a compresión simple obtenidos.
6. Nuevamente se procede a aplicar carga con la caratula de los micrómetros en 0.0 y se van tomando lecturas cada 0.01 que marque el micrómetro. Todo esto hasta llegar a un 60% de lo obtenido en las pruebas a compresión (Ilustración 82).
7. Una vez terminado lo anterior se retiran los tornillos que fijan los anillos y se retira el espécimen ensayado para colocar el siguiente.



Ilustración 80. Colocación de anillos al espécimen cilíndrico a ensayar. Fuente: Propia.



Ilustración 81. Colocación y centrado de la muestra a ensayar en la máquina universal de pruebas Forney. Fuente: Propia.



Ilustración 82. Toma de lecturas cada 0.01 para registrar cargas y obtener las gráficas. Fuente: Propia.

Cálculos realizados:

1. Una vez obtenida las cargas, lecturas de deformación, área del espécimen y su longitud, se calcula los esfuerzos y las deformaciones unitarias que correspondan a cada carga y su esfuerzo máximo.
2. Se traza esfuerzo-deformación unitaria.
3. Calcular el esfuerzo S_1 en Kgf/cm^2 correspondiente a la deformación unitaria (e_1) de 0.000050.
4. Saber el esfuerzo S_2 al 40% del esfuerzo máximo.
5. Calcular el módulo de elasticidad (E).



$$E = \frac{S2 - S1}{e2 - 0.000050}$$

Dónde tenemos que:

E = Módulo de elasticidad en kgf/cm^2

S1 = Esfuerzo en kgf/cm^2 de la deformación unitaria e1.

S2 = Esfuerzo al 40% del máximo en kgf/cm^2

e2 = Deformación unitaria de S2.

3.8.4.1. CABECEO DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE MORTERO

El cabeceo de especímenes cilíndricos es necesario para poder obtener una mayor planicidad y perpendicularidad en nuestros especímenes, de esta forma al momento de las pruebas a compresión o módulos de elasticidad por dar algunos ejemplos obtenemos mejores resultados porque con ese cabeceo se logra una superficie uniforme que es más o menos de igual resistencia del mortero. De manera que primero falle el mortero. Esta capa puede ser de azufre con algunas aleaciones o de neopreno. Todo es se basa en los procedimientos descritos en la Norma Mexicana (NMX-C-109-ONNCCE, 2013).

Equipo a utilizar:

- Moldes de cabeceo con guías para obtener la verticalidad.
- Aceite mineral.
- Estopa.
- Estufa.
- Olla metálica para calentar el azufre.
- Varilla punta de bala.
- Guantes.
- Termómetro.
- Espátula.

Procedimiento a realizar:

1. Se sacan los cilindros a probar del agua y se secan superficialmente.
2. Se pone a calentar el azufre en una olla metálica hasta que este alcance una temperatura óptima de acuerdo a la Norma (Ilustración 83).
3. Se aceita el molde de cabeceo y ambas caras del cilindro con el fin de que el azufre no quede adherido al mortero y puede desprenderse después (Ilustración 84).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

4. Una vez este líquido el azufre y en temperatura optima se vierte cuidadosamente en el molde de cabeceo a un nivel adecuado y rápidamente se toma el cilindro ya engrasado y se desliza por las guías hasta sumergir su primera cara en el molde, se golpea levemente en la cara no cabeceada para liberar burbujas de aire que puedan estar atrapadas (Ilustración 85).
5. Espera a que se solidifique el azufre y se procede a retirar el molde, enseguida se limpia y se prepara para cabecear la otra cara del espécimen repitiendo el paso 4.
6. Terminando el cabeceo es necesario cubrir al espécimen con alguna franela húmeda.



Ilustración 83. Calentamiento de azufre a temperatura óptima para cabeceo de especímenes cilíndricos. Fuente: Propia.



Ilustración 84. Engrasado de muestras para facilitar el retiro de cabeceo si adherirse al mortero. Fuente: Propia.



Ilustración 85. Especimen cilíndrico cabeceado con azufre. Fuente: Propia.



3.8.5. PRUEBAS DE ESFUERZO CORTANTE A MURETES

Los muretes se programaron para ensayar a la edad de 28 días en la Máquina Universal de Pruebas Forney para saber cómo resisten las mezclas de mortero establecidas en dichos muretes al momento de aplicar carga a compresión diagonal. Se utilizan dos especímenes por mezcla para comparar y obtener mejores resultados.

Equipo a utilizar:

- Máquina Universal de pruebas Forney.
- Aditamentos metálicos para colocar los muretes en diagonal.
- Nivel.
- Cinta Métrica.

Procedimiento a realizar:

1. Se toman todas las medidas correspondientes al espécimen; el promedio de su altura, longitud, ancho y longitud diagonal.
2. Se coloca el aditamento metálico inferior y se procede a poner el murete en su forma diagonal.
3. Se coloca el segundo aditamento en la parte superior del murete y se procede a centrarlo en la máquina.
4. Verificar que este bien nivelado de lo contrario se vuelve a acomodar hasta que esté nivelado correctamente, se puede ayudar uno con algún pedazo de cartón o franela para colocar sobre los aditamentos y corregir el posible desnivel.
5. Aplicar carga de manera constante hasta que se presente la falla.
6. Se limpia el área y se retira la muestra ya fallada.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”



Ilustración 86. Colocación y centrado de murete en Máquina Forney. Fuente: Foto propia.



Ilustración 87. Aplicación de carga diagonal en murete con Máquina de pruebas Forney. Fuente: Foto propia.



Ilustración 88. Murete fallado y probado a carga diagonal en Máquina Forney. Fuente: Foto propia.

Cálculos utilizados:

$$R = \frac{W}{A}$$

Dónde:

R = La resistencia a la compresión diagonal en, kgf/cm^2

W = Carga Máxima de la muestra en, kgf

A = Área de contacto en, cm^2



3.8.6. PRUEBAS DE COMPRESIÓN A PILAS

Las pilas se programaron para ensayar a la edad de 28 días en la Máquina Universal de Pruebas Forney para saber cómo resisten las mezclas de mortero establecidas en dichos muretes al momento de aplicar carga a compresión. Se utilizan dos especímenes por mezcla para comparar y obtener mejores resultados.

Equipo a utilizar:

- Máquina Universal de Pruebas Forney.
- Cinta Métrica.
- Placa de acero de 255 mm x 160 mm x 40 mm de espesor.
- Arena para el cabeceo.

Procedimiento a realizar:

1. Se toman las medidas del espécimen lo cual incluye su longitud, altura y espesor (tomando promedios de dos lecturas como mínimo).
2. Se obtiene su factor correlativo (Tabla 13).
3. Se coloca y se centra la pila en la máquina de pruebas, pero sin antes olvidar colocar arena en la parte inferior (solo para nivelar y tapar poros del ladrillo) y en la parte superior (Ilustración 90).
4. Una vez cabeceada la muestra se le coloca en la parte superior la placa de acero.
5. Se procede a aplicar carga hasta que esta falle (Ilustración 91).
6. Se registra la carga máxima, se limpia el área y se retira la muestra.

Tabla 16. Factores Correctivos para las resistencias de pilas con diferentes relaciones de Altura/Espesor.

Relación altura/espesor de la pila.	2	3	4	5
Factor correctivo.	0.75	0.90	1.00	1.05

Nota. Para relaciones altura/espesor intermedias se interpolará linealmente.



Ilustración 89. Pila centrada y nivelada en máquina Forney para su ensayo a compresión. Fuente: Foto propia.



Ilustración 90. Pila fallada y probada a compresión. Fuente: Foto propia.

Cálculo a realizar:

$$F = \frac{P}{A} * FC$$

Dónde:

F = Esfuerzo máximo a la compresión simple en, kgf/cm^2 .

P = Carga máxima en, kgf/cm^2 .

A = Área, en cm^2 .

FC = Factor de corrección.

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. RESULTADOS DE PRUEBAS DE LA CARACTERIZACIÓN

4.1.1. RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

Los resultados obtenidos de caracterización de agregados pétreos en estudio (del banco Joyitas y El Coro) ya antes mencionados en el apartado de metodología, son parte de la investigación realizada en las tesis (Mondragón Martínez , 2021) y (Durán Ramos , 2021), a excepción de análisis granulométricos que fueron realizadas las pruebas y analizadas. En la Tabla 17 se muestran los resultados de caracterización del agregado originario del banco Joyitas.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Tabla 17. Pruebas y resultados de caracterización del agregado pétreo del Banco Joyitas. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).

Prueba	Norma	Resultados Obtenidos
Densidad.	(NMX-C-165-ONNCCE, 2020)	2.41 g/cm ³
Masa volumétrica seca y suelta.	(NMX-C-073-ONNCCE, 2014)	1.37 g/cm ³
Masa volumétrica seca y varillada.	(NMX-C-073-ONNCCE, 2014)	1.42 g/cm ³
Módulo de finura.	(NMX-C-077-ONNCCE, 2019)	2.91
Absorción.	NMX-C-165-ONNCCE-2020	4.8%
Análisis granulométrico.	(NMX-C-077-ONNCCE, 2019)	Resultados mostrados en gráfico 1.

En la tabla 18 se muestran los resultados obtenidos en pruebas de caracterización del agregado pétreo del segundo Banco de materiales El Coro.

Tabla 18. Pruebas y resultados de caracterización del agregado pétreo del Banco El Coro. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).

Prueba	Norma	Resultados Obtenidos
Densidad.	(NMX-C-165-ONNCCE, 2020)	2.13 g/cm ³
Masa volumétrica seca y suelta.	(NMX-C-073-ONNCCE, 2014)	1.23 g/cm ³
Masa volumétrica seca y varillada.	(NMX-C-073-ONNCCE, 2014)	1.36 g/cm ³
Módulo de finura.	(NMX-C-077-ONNCCE, 2019)	2.13
Absorción.	NMX-C-165-ONNCCE-2020	6.0%
Análisis granulométrico.	(NMX-C-077-ONNCCE, 2019)	Resultados mostrados en gráfico 2.



Ilustración 91. Arena del Banco El Coro (CH). Fuente: Propia.



Ilustración 92. Arena del Banco Joyitas (J). Fuente: Propia.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

De forma resumida en cuanto a los resultados de densidad relativa y absorción mencionados en las dos tablas anteriores (19 y 20) tenemos lo siguiente:

Tabla 19. Resumen de resultados de densidad relativa de agregados en estudio. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).

AGREGADO	DENSIDAD (gr/cm^3)
Arena negra Joyitas (J)	2.41
Arena de Río El Coro (CH)	2.13

Tabla 20. Resumen de resultados de absorción de agregados en estudio. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).

AGREGADO	ABSORCIÓN (%)
Arena negra Joyitas (J)	4.8
Arena de Río El Coro (CH)	6.0

Comenzando con la densidad podemos decir que esta representa como dato importante del índice de calidad del material en estudio. De acuerdo a su baja o alta densidad podemos interpretar ciertos datos, en este sentido una alta densidad nos dice que el material tiene poca porosidad y es pesado a diferencia de una baja densidad la cual nos informa de materiales muy porosos y livianos.

En las densidades obtenidas en este estudio se presenta con mayor densidad relativa la de Joyitas y la más baja, la de El Coro.

En los datos de absorción por lo contrario se obtiene que la Arena de río de El Coro (CH) tiene mayor porcentaje de absorción que la presentada en la Arena negra Joyitas (J). Interpretando datos de densidad relativa se puede decir que, al tener la arena del banco de materiales El Coro (CH) una densidad menor que implica más porosidad, es por esta razón que nos da mayor porcentaje de absorción al haber un cambio mayor en la masa al absorber agua que en la otra arena.

De forma resumida en cuanto a los resultados de Masa volumétrica seca y suelta (MVSS) y Masa volumétrica seca y varillada (MVSV) tenemos lo siguiente (en las tablas 21 y 22):



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Tabla 21. Resumen de los resultados obtenidos de MVSS de los agregados en estudio. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).

AGREGADO	MVSS (g/cm ³)
Arena negra Joyitas (J)	1.37
Arena de Río El Coro (CH)	1.23

Tabla 22. Resumen de los resultados obtenidos de MVSV de los agregados en estudio. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).

AGREGADO	MVSV (g/cm ³)
Arena negra Joyitas (J)	1.42
Arena de Río El Coro (CH)	1.36

Otros de los ensayos necesarios en la caracterización son las masas volumétricas con las que tenemos más referencias de calidad del material en estudio. Estos ensayos se emplean para la elaboración de mezclas, se usa en conversiones de proporcionamientos por partes en volumen a uno dado en masa o viceversa (Mondragón Martínez, 2021). En este trabajo los morteros diseñados para este estudio fueron en por partes en volumen, los agregados estaban en su estudio secos y medidos en estado suelto. En cuanto a los resultados registrados en MVSS y MVSV la Arena negra Joyitas (J) es la que presenta los valores más altos en ambos casos. Observando los porcentajes de incremento de la MVSV con respecto a la MVSS, tenemos; Arena negra Joyitas (J) 3.6% y Arena de río El Coro (CH) 10.6%, lo anterior nos dice que existe una mejor distribución de partículas en arenas que tienen un mayor aumento, en este caso la arena (CH).

De forma resumida en cuanto a los resultados de análisis granulométricos tenemos los siguientes (tabla 23):

Tabla 23. Análisis Granulométrico de la Arena Joyitas (J). Fuente: Propia.

Apertura de la Malla (mm)	Malla (")	Masa Retenida (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	Calculado
4.76	4	0	0	0	100
2.36	8	32.5	5.42	5.42	94.58
1.18	16	143.9	23.98	29.40	70.60
0.6	30	139.1	23.18	52.58	47.42
0.3	50	119.7	19.95	72.53	27.47
0.15	100	88.7	14.78	87.32	12.68
0.075	200	47.4	7.90	95.22	4.78
0	Charola	28.7	4.78	100	0
TOTAL:		600 gr	100	MF:	2.4725

Nota. Se utilizó 600 gramos de muestra para el análisis granulométrico.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

El agregado presentado en la tabla 23 tiene un módulo de finura (MF) de 2.47 el cual está dentro de lo aceptable de acuerdo a la Norma (NMX-C-111-ONNCCE, 2018), que menciona que para ser aceptable y bueno debe estar entre 2.30 y 3.10.

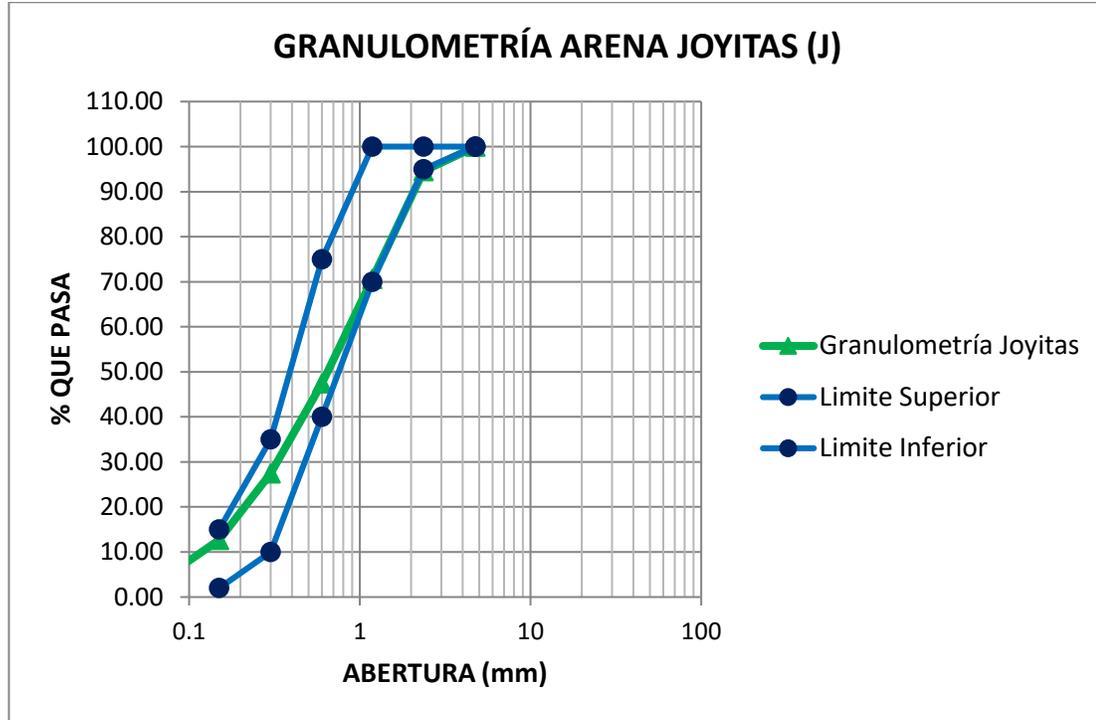


Gráfico 1. Resultados de análisis granulométrico de Arena Joyitas (J).

Esta arena se encuentra dentro de los límites granulométricos establecidos y por lo tanto es aceptada para el estudio.

Tabla 24. Análisis Granulométrico de la Arena El Coro (CH). Fuente: Propia.

Apertura de la Malla (mm)	Malla (")	Masa Retenida (gr)	% Retenido	% Retenido acumulado	Calculado
4.76	4	0	0	0	100
2.36	8	27.3	4.55	4.55	95.45
1.18	16	127.8	21.30	25.85	74.15
0.6	30	190.6	31.77	57.62	42.38
0.3	50	145.8	24.30	81.92	18.08
0.15	100	41.35	6.89	88.81	11.19
0.075	200	34.75	5.79	94.60	5.40
0	Charola	32.4	5.40	100	0
TOTAL:		600 gr	100		MF: 2.5874



El agregado presentado en la tabla 24 tiene un módulo de finura (MF) de 2.59 el cual está dentro de lo aceptable de acuerdo a la Norma (NMX-C-111-ONNCCE, 2018).

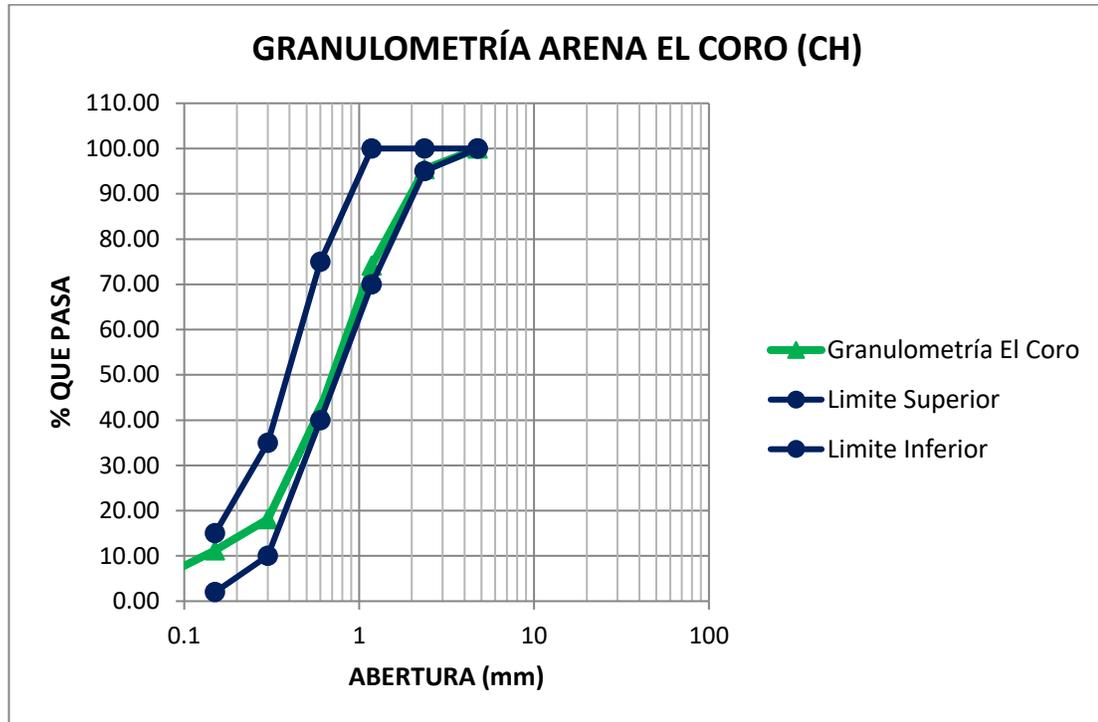


Gráfico 2. Resultado de análisis granulométrico de Arena El Coro.

La arena del Banco El Coro también se encuentra dentro de los límites granulométricos establecidos y por lo tanto es aceptada para el estudio.

4.2. CEMENTANTES HIDRÁULICOS

4.2.1. DETERMINACIÓN DE CONSISTENCIA NORMAL, TIEMPO DE FRAGUADO Y DENSIDAD DEL CEMENTO PORTLAND (CPC 30 R RS)

Los resultados obtenidos se presentan a continuación (tabla 25):

Tabla 25. Resultados obtenidos de ensayos al Cemento Portland. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).

CONSISTENCIA NORMAL		
Peso del cemento	600 g	
Cantidad de agua en % respecto al peso del cemento.	32%	
TIEMPO DE FRAGUADO		
		Penetración registrada (mm)
Tiempo de fraguado inicial (minutos)	127.5	22
Tiempo de fraguado final (minutos)	250	0
DENSIDAD		
Densidad (g/cm ³)	2.97	



El resultado obtenido en **consistencia normal** con una muestra de 600 gramos fue un porcentaje de 32% el cual corresponde a 192 mililitros. Esta consistencia normal nos define la cantidad necesaria de agua para que el cementante alcance la mejor plasticidad y una fluidez buena.

Los resultados de **tiempo de fraguado** como se mostraron en la tabla anterior fueron iniciales (en minutos) de 127.5 y final de 250 con penetraciones registradas de 22 (en mm) y 0 respectivamente. Este ensayo nos permite saber con mayor precisión si el cemento utilizado al contacto con el agua está llevando velocidades correctas de reacciones químicas. Esta prueba se lleva a cabo en base a la norma (NMX-C-021-ONNCCE, 2015) que nos indica los límites que puede tener. Los tiempos de fraguado establecidos nos dicen que como mínimo el tiempo de fraguado inicial (minutos) debe ser de 45 min y su tiempo de fraguado final no debe pasar de los 600 min.

Respecto a la **densidad** se obtuvo para este cementante el resultado de 2.97 gr/cm^3 esta densidad nos indica la relación de la masa de cemento por unidad de volumen, con esto conocido se puede ya hacer el proporcionamiento.

4.2.2. DENSIDAD Y MASA VOLUMÉTRICA SECA Y SUELTA DE LA CAL HIDRATADA

Al igual que en el Cemento Portland estudiado en la cal hidratada también se realizó pruebas de densidad y además se hicieron pruebas de Masa volumétrica seca suelta.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación (tabla 26):

Tabla 26. Resultados obtenidos en pruebas de densidad y MVSS en la cal hidratada. Fuente: (Durán Ramos, 2021).

DENSIDAD	
Densidad (g/cm^3)	2.61
MASA VOLUMÉTRICA SECA Y SUELTA	
MVSS (g/cm^3)	1.22

4.2.3. MASA VOLUMÉTRICA SECA Y SUELTA DEL CEMENTO DE ALBAÑILERÍA

El promedio de las pruebas de MVSS en Cemento de Albañilería se presentan a continuación (tabla 27):



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Tabla 27. Resultado obtenido de prueba de MVSS en Cemento de Albañilería utilizado en las pruebas. Fuente: (Durán Ramos, 2021).

MASA VOLUMÉTRICA SECA Y SUELTA	
MVSS (g/cm^3)	1.63

4.2.4. ANÁLISIS DE AGUA

Con respecto al agua utilizada se llevaron a cabo estudios en cooperación con el Laboratorio de Calidad del Agua del departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo de acuerdo con la norma (NMX-C-122-ONNCCE, 2004). Es en este estudio presenta diferentes parámetros de evaluación tales como alcalinidad total, salinidad, cloro total, Cloruros Cl, etc. Tabla 28.

Tabla 28. Resultados obtenidos de laboratorio al agua usada en todas las pruebas de este estudio. Fuente: (Mondragón Martínez, 2021).

PARÁMETRO/UNIDADES	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (NMX-C-122-ONNCCE, 2004)		MÉTODO DE PRUEBA
Sólidos en suspensión (SST mg/l)	1.0	2000	Cumple	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Totales (ST mg/l)	436	-----	-----	NMX-AA-034-SCFI-
Total, de impurezas en solución Sólidos disueltos totales (SDT mg/l)	435	3500	Cumple	NMX-AA-034-SCFI-
Cloruros Cl- (mg/l)	14.9	400	Cumple	NMX-AA-073-SCFI-2001
Sulfatos como SO_4 (mg/l)	10	3000	Cumple	NMX-AA-074-SCFI-1981
Dureza magnésica (mg/l $CaCO_3$)	38.25	100	Cumple	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza Cálctica (mg/l CaO_3)	27	-----	-----	NMX-AA-072-SCFI-2001
Dureza Total (mg/l $CaCO_3$)	65.25	-----	-----	NMX-AA-072-SCFI-2001
Carbonatos CO_3 (mg/l)	1.34	600	Cumple	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad Total (mg/l $CaCO_3$)	270	300	Cumple	NMX-AA-036-SCFI-2001
Alcalinidad a la Fenolftaleína (mg/l)	0.67	-----	-----	NMX-AA-036-SCFI-2001
Bicarbonatos HCO_3 (mg/l)	268.66	-----	-----	NMX-AA-036-SCFI-2001



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Grasas o Aceites (mg/l)	0	0	Cumple	NMX-AA-005-SCFI-2000
Materia orgánica como DQO (mg/l)	0	150	Cumple	NMX-AA-030-SCFI-2001
Potencial de Hidrógeno (pH)	6.5	> 6	Cumple	NMX-AA-008-SCFI-2000
Conductividad eléctrica (µs/cm)	442	-----	-----	Electrométrico
Oxígeno Disuelto (mg/O₂/l)	3.75	-----	-----	Electrométrico
Salinidad (%)	0.2	-----	-----	Electrométrico
Cloro Total (mg/l)	0.0	-----	-----	Comparación colorimétrica
Cloro Libre (mg/l)	0.0	-----	-----	Comparación colorimétrica
Temperatura de análisis (°C)	21	-----	-----	NMX-AA-007-SCFI-2000

De acuerdo al estudio los resultados obtenidos son favorables y nos presentan una alta calidad en el agua utilizada cumpliendo con los diferentes parámetros presentados. Por esta razón no se tuvo mayor preocupación por el uso del agua tomada de las instalaciones del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”.

4.3. DISEÑO Y MEZCLAS DE MORTERO UTILIZADAS

El diseño de mezclas utilizadas fue en base a las recomendadas en los estudios de (Mondragón Martínez , 2021) y (Durán Ramos , 2021) quienes siguieron los proporcionamientos recomendados en las Normas Mexicanas (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014) y la (N-CMT-2-01-004, 2002) donde se mencionaron las mejores mezclas para cada uno de los agregados estudiados presentes en esos estudios la Arena de río El Coro (CH) y la Arena volcánica Joyitas (J). Se seleccionaron las mejores 6 mezclas de cada agregado, las cuales cumplían con mejores características de fluidez y, adherencia.

Tabla 29. Diseño de mezclas de mortero Tipo I - Proporcionamiento por partes en volumen utilizado en estudios de (Mondragón Martínez , 2021) y (Durán Ramos , 2021).

TIPO DE MORTERO	PARTES DE CEMENTO PORTLAND	PARTES DE CEMENTO DE ALBAÑILERÍA	PARTES DE CAL HIDRATADA	PARTES DE ARENA
TIPO I	1	-	-	2.25
	1	-	-	2.5
	1	-	-	2.75
	1	-	-	3
	1	-	-	3.25



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

1	-	-	3.5
1	-	-	3.75
1	-	-	4
1	-	¼	2.25
1	-	¼	2.5
1	-	¼	2.75
1	-	¼	3
1	-	¼	3.25
1	-	¼	3.5
1	-	¼	3.75
1	-	¼	4
1	½	-	2.25
1	½	-	2.5
1	½	-	2.75
1	½	-	3
1	½	-	3.25
1	½	-	3.5
1	½	-	3.75
1	½	-	4

Tabla 30. Diseño de mezclas de mortero Tipo II - Proporcionamiento por partes en volumen utilizado en estudios de (Mondragón Martínez , 2021) y (Durán Ramos , 2021).

TIPO DE MORTERO	PARTES DE CEMENTO PORTLAND	PARTES DE CEMENTO DE ALBAÑILERÍA	PARTES DE CAL HIDRATADA	PARTES DE ARENA
Tipo II	1	-	½	2.25
	1	-	½	2.5
	1	-	½	2.75
	1	-	½	3
	1	-	½	3.25
	1	-	½	3.5
	1	-	½	3.75
	1	-	½	4
	1	1	-	2.25
	1	1	-	2.5
	1	1	-	2.75
	1	1	-	3
	1	1	-	3.25
	1	1	-	3.5
	1	1	-	3.75
	1	1	-	4



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Tabla 31. Diseño de mezclas de mortero Tipo III - Proporciónamiento por partes en volumen utilizado en estudios de (Mondragón Martínez, 2021) y (Durán Ramos, 2021).

TIPO DE MORTERO	PARTES DE CEMENTO PORTLAND	PARTES DE CEMENTO DE ALBAÑILERÍA	PARTES DE CAL HIDRATADA	PARTES DE ARENA
Tipo III	1	-	1 ¼	2.25
	1	-	1 ¼	2.5
	1	-	1 ¼	2.75
	1	-	1 ¼	3
	1	-	1 ¼	3.25
	1	-	1 ¼	3.5
	1	-	1 ¼	3.75
	1	-	1 ¼	4

De todas las mezclas de diseño a continuación se presentan las seleccionadas de acuerdo a lo ya antes mencionado, fluidez y adherencia.

Tabla 32. Diseño de mezclas de mortero utilizado correspondiente a agregado El Coro (CH). Proporciónamiento en volumen. Fuente: Propia.

AGREGADO EL CORO (CH)					
TIPO DE MORTERO	NÚMERO DE MEZCLA	PARTES DE CEMENTO PORTLAND	PARTES DE CEMENTO DE ALBAÑILERÍA	PARTES DE CAL HIDRATADA	PARTES DE ARENA
I	1CH	1	-	-	2.5
I	2CH	1	-	¼	2.25
I	3CH	1	½	-	2.5
II	4CH	1	-	½	2.75
II	5CH	1	1	-	2.25
III	6CH	1	-	1 ¼	2.25

Tabla 33. Diseño de mezclas de mortero utilizado correspondiente a agregado Joyitas (J). Proporciónamiento en volumen. Fuente: Propia.

AGREGADO JOYITAS (J)					
TIPO DE MORTERO	NÚMERO DE MEZCLA	PARTES DE CEMENTO PORTLAND	PARTES DE CEMENTO DE ALBAÑILERÍA	PARTES DE CAL HIDRATADA	PARTES DE ARENA
I	1J	1	-	-	2.25
I	2J	1	-	¼	2.5
I	3J	1	½	-	2.25
II	4J	1	-	½	2.25
II	5J	1	1	-	2.25
III	6J	1	-	1 ¼	2.25



4.3.1. FLUIDEZ

La Norma Mexicana (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014) nos menciona que la fluidez para morteros utilizados para pegar piezas medido en laboratorio en una mesa de fluidez debe cumplir dentro del rango de porcentajes 105% a 130%, de lo contrario no será aceptada dicha mezcla. Sabiendo que los 12 diseños de mezcla utilizados son los mejores obtenidos en estudios anteriores de (Mondragón Martínez , 2021) y (Durán Ramos , 2021), por esta razón sabemos que la fluidez en cada una de las mezclas cumplirá dentro de los rangos permitidos, de igual forma antes de utilizar las mezclas para realizar los diferentes especímenes, se realizó y analizó la fluidez de cada diseño de mezcla para corroborar si está dentro de los límites establecidos, tomando como base la cantidad de agua utilizada en los estudios antes mencionados.

La tabla 34 menciona los resultados de fluidez obtenidos para las mezclas que contienen Arena del banco Joyitas (J), en ésta se presenta la cantidad de agua en milímetros utilizada y el valor respectivo de su fluidez en %.

Tabla 34. Resultados obtenidos de fluidez en los diferentes proporcionamientos en volumen utilizados para el estudio con Arena volcánica Joyitas (J). Fuente: Propia.

TIPO	NÚMERO DE MEZCLA	MEZCLA	AGUA UTILIZADA (mm)	FLUIDEZ (%)
I	1J	CEMENTO + 2.25J	300	105
I	2J	CEMENTO + ¼ CAL + 2.5J	400	106
I	3J	CEMENTO + ½ MORTERO + 2.25J	425	105
II	4J	CEMENTO + ½ CAL + 2.25J	525	110
II	5J	CEMENTO + MORTERO + 2.25J	575	107
III	6J	CEMENTO + 1 ¼ CAL + 2.25J	675	109

Interpretación de las proporciones:
Ejemplo: CEMENTO + ¼ CAL + 2.5J, se traduce como aquella mezcla en volumen, con 1 parte de Cemento Portland, ¼ parte de Cal hidratada y por último 2.5 partes de agregado proveniente de Banco Joyitas.

La tabla 35 menciona los resultados de fluidez obtenidos para las mezclas que contienen Arena Volcánica del río El Coro (CH), en ésta se presentan la cantidad de agua en milímetros utilizada y el valor respectivo de su fluidez en %.

Tabla 35. Resultados obtenidos de fluidez en los diferentes proporcionamientos en volumen utilizados para el estudio con Arena de río El Coro (CH). Fuente: Propia.

TIPO	NÚMERO DE MEZCLA	MEZCLA	AGUA UTILIZADA (mm)	FLUIDEZ (%)
I	1CH	CEMENTO + 2.5CH	400	110
I	2CH	CEMENTO + ¼ CAL + 2.25CH	450	115



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

I	3CH	CEMENTO + ½ MORTERO + 2.5CH	550	107
II	4CH	CEMENTO + ½ CAL + 2.75CH	575	115
II	5CH	CEMENTO + MORTERO + 2.25CH	675	107
III	6CH	CEMENTO + 1 ¼ CAL + 2.25CH	775	113

Interpretación de las proporciones:
Ejemplo: CEMENTO + ¼ CAL + 2.5CH, se traduce como aquella mezcla en volumen, con 1 parte de Cemento Portland, ¼ parte de Cal hidratada y por último 2.5 partes de agregado proveniente de Banco El Coro.

Como se aprecia en las tablas anteriores la fluidez está dentro de lo permitido utilizando la cantidad de agua establecida y mencionada en las tablas, se puede apreciar que al utilizar proporcionamientos con mayores partes de arena, mortero o cal hidratada, el agua utilizada aumenta tomando en cuenta que al tener mayor cantidad de material su demanda de agua crece.

4.4. ESPECÍMENES ENSAYADOS

Se hicieron diferentes especímenes para las futuras pruebas no destructivas y destructivas realizadas a edades tempranas de 7, 14 y 28 días y a edades tardías de 90 y 180 días. Utilizando los 12 proporcionamientos ya mencionados para comprobar diferentes propiedades físicas-mecánicas determinando así su funcionalidad y utilidad en la obra.

En la tabla 36 se menciona todas las muestras realizadas para cada uno de los respectivos ensayos.

Tabla 36. Total, de especímenes realizados para todos los ensayos correspondientes de este estudio. Fuente: Propia.

ESPECIMENES REALIZADOS				
TIPO DE ESPECIMEN	MUESTRAS POR EDAD	EDADES	No. DE MEZCLAS	MUESTRAS TOTALES
Cubos de 5x5x5	5	7, 14, 28, 90 y 180 días	12	300
Prismas de 4x4x16	5	7, 14, 28, 90 y 180 días	12	300
Briquetas	5	7, 14, 28, 90 y 180 días	12	300
Cilindros de 5x10	5	28 y 180 días	12	120
Pilas de mampostería	2	28 días	12	24
Muretes de mampostería	2	28 días	12	24
TOTAL:				1068



Ilustración 93. Especímenes colados para las diferentes pruebas destructivas y no destructivas programadas. Fuente: Propia.

4.4.1. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Un ensayo no destructivo como se mencionó en el apartado 3.8.1 será aquel que no afecte físicamente al espécimen. El ensayo no destructivo que se va a realizar en diferentes especímenes cúbicos, prismáticos y cilíndricos es el de resistividad eléctrica.

4.4.1.1. RESULTADOS DE PRUEBAS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

Los resultados de resistividad eléctrica se aplicaron a los especímenes cúbicos, prismas y cilindros. De los cubos y prismas se registraron 5 ensayos de resistividad a edades tempranas y tardías de 7, 14, 28, 90 y 180 días y a los cilindros únicamente se les hizo un ensayo a 28 y 180 días. A continuación, se presentan los gráficos correspondientes a cada uno de los especímenes separados por agregado pétreo utilizado e incluidos en una misma gráfica la evolución de resistividad eléctrica en las 5 edades en el caso de prismas y cubos.

En la interpretación de la simbología utilizada para nombrar las mezclas de todos los gráficos que se presenten más adelante, se hizo la tabla 37 de simbología para su mayor entendimiento;

Tabla 37. Simbología utilizada en los gráficos para los proporcionamientos. Fuente: Propia.

SÍMBOLO UTILIZADO	SIGNIFICADO
J	Arena volcánica Joyitas
CH	Arena de río El Coro
C	Cemento portland
CAL	Cal Hidratada
M	Cemento de albañilería



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

En el gráfico 3 se muestran los resultados obtenidos de resistividad eléctrica en cubos correspondientes al Banco Joyitas (J). ($k\Omega$ - cm)

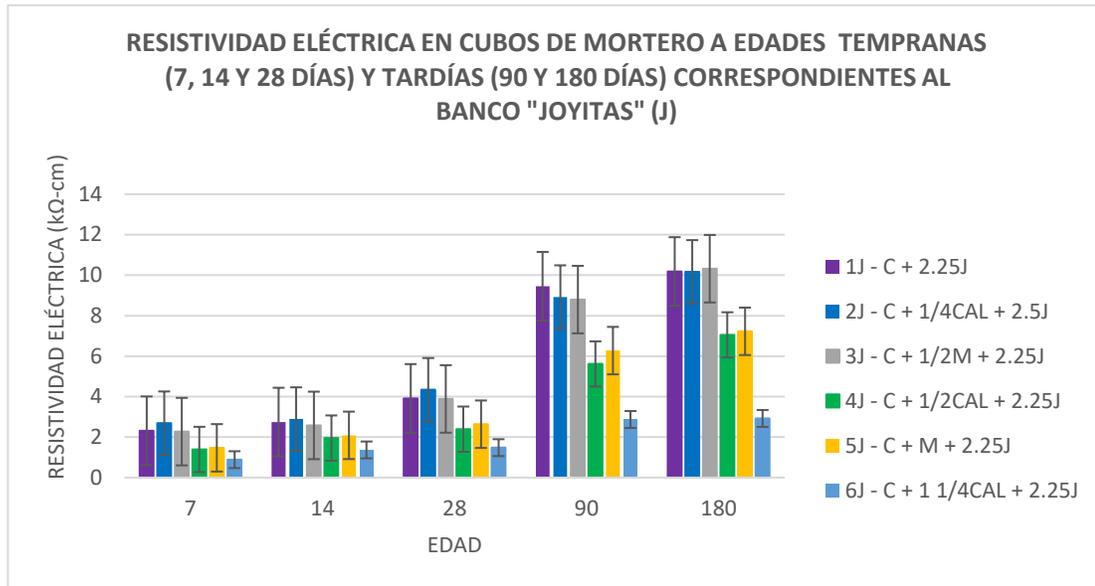


Gráfico 3. Resultados de resistividad eléctrica en cubos de mortero correspondientes al Banco Joyitas (J). Mezclas J1, J2, J3, J4, J5 y J6.

La resistividad eléctrica como se indicó en el capítulo 3.8.1.1 es un indicativo de porosidad y en estas pruebas para el caso de cubos de mortero con agregado Joyitas (J) en sus 6 diferentes mezclas fueron incrementando en su mayoría en más de 50% su resistividad respecto de la primera edad hasta los 28 días. En las edades tardías respecto a la última edad temprana (28 días) existe un crecimiento de resistividad eléctrica considerable por parte de todos los proporcionamientos. Los resultados más altos se presentaron en la Mezcla C + ½ M + 2.25J (3J) con proporción de 1 parte de cemento, ½ parte de cemento de albañilería y 2.25 partes del agregado correspondiente. Por otra parte, se presentó con menores resistividades la mezcla C + 1 ¼ Cal + 2.25J (6J) con proporción de 1 parte de cemento, 1 ¼ partes de cal hidratada y 2.25 partes de agregado. Se observa que las tres proporciones para mortero tipo I son las de mayor resistividad, o sea que tienen el mejor comportamiento. Después las dos mezclas de mortero tipo II y la menor resistividad es la mezcla de mortero tipo III. Esto sugiere una relación proporcional entre la resistividad y la resistencia mecánica: a mayor resistividad se presenta una mayor resistencia a compresión de los morteros.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

En el gráfico 4 se muestran los resultados obtenidos de resistividad eléctrica en cubos correspondientes a arena de río El Coro (CH).

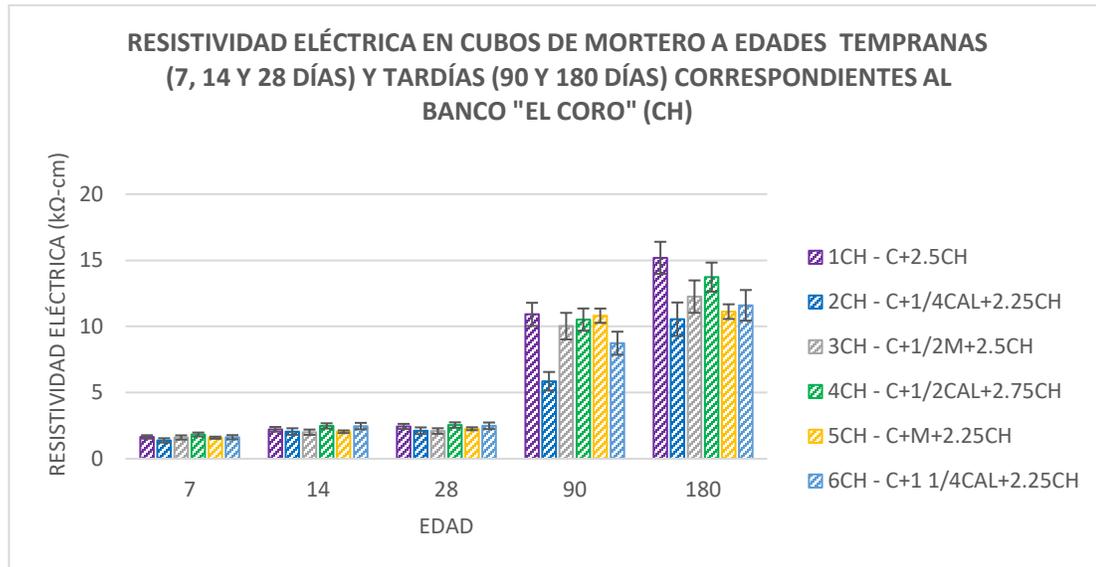


Gráfico 4. Resultados de resistividad eléctrica en cubos de mortero correspondientes al Banco El Coro (CH). Mezclas: 1CH, 2CH, 3CH, 4CH, 5CH, y 6CH.

Para el caso de cubos de mortero con agregado de río El Coro (CH) en sus 6 diferentes mezclas fueron incrementando en su mayoría en más de 40% respecto de la primera y última edad temprana. Para las edades tardías se obtuvieron incrementos de resistividad considerables respecto a la última edad temprana de 28 días. Los resultados más altos a 28 días se presentaron en la Mezcla C + ½ Cal + 2.75CH (4CH) con proporción de 1 parte de cemento, ½ parte de cal hidratada y 2.75 partes del agregado correspondiente. Por otra parte, se presentó con menores resultados la mezcla C + ½ Cemento de Albañilería + 2.5CH (3CH) con proporción de 1 parte de cemento, ½ parte de Cemento de Albañilería y 2.5 partes de agregado. A la edad de 180 días se registró con mayor resistividad eléctrica la mezcla C + 2.5CH (1CH) y con menor resistividad fue la mezcla C + ¼ CAL + 2.25CH (2CH). En este caso, se tiene un comportamiento variable en la resistividad, considerando las diferentes edades. A 180 días el mejor comportamiento es un tipo I y la resistividad más baja corresponde también a un mortero tipo I, lo que discrepa de los morteros con agregado del Banco Joyitas.

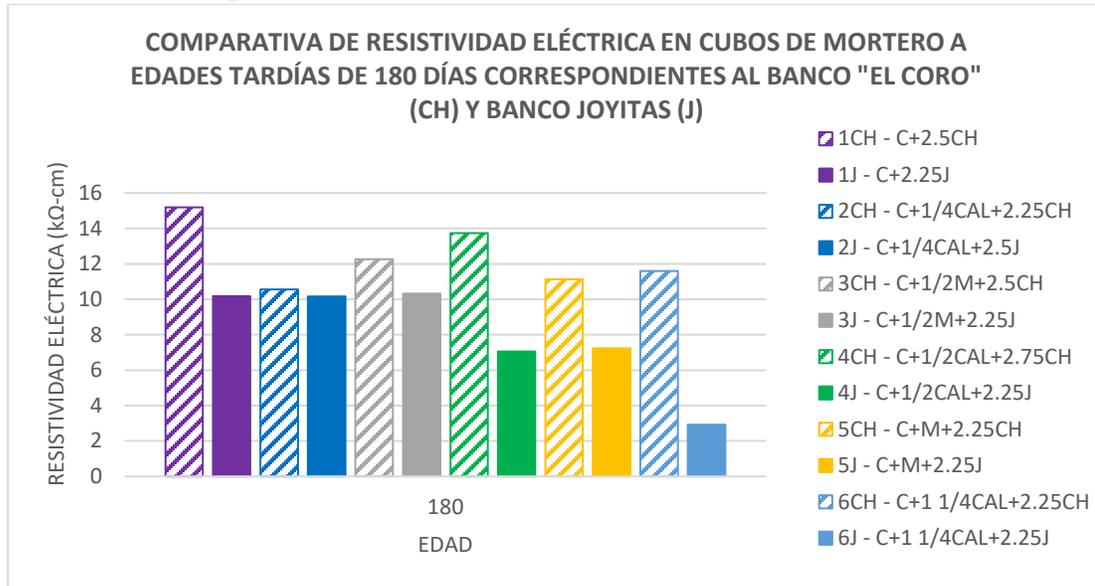


Gráfico 5. Comparativa de resistividad eléctrica en cubos de mortero a edades tardías de 180 días correspondientes al Banco El Coro vs Banco Joyitas.

A los 180 días en su mayoría los proporcionamientos con agregado del Banco El Coro (CH) presentan entre sí resultados similares, donde todos sobrepasan una resistividad eléctrica arriba de 10 kΩ-cm, la mezcla C + 2.5CH con un poco de diferencia la que mejor resistividad presenta de todas las mezclas estudiadas, por lo tanto es la que menor porosidad tiene y de la que se espera obtener de los mejores resultados en la pruebas de compresión por su mayor impermeabilidad y resistencia mecánica, al contener más fase sólida por volumen. Por otra parte, a sus 180 días los proporcionamientos con agregado del Banco Joyitas (J) arrojan resultados donde sólo tres mezclas (50%) alcanzan los 10 kΩ-cm de resistividad y la mezcla C + 1 ¼ CAL + 2.25J (6J) es con diferencia de todas las demás, la que tiene la resistividad eléctrica más baja en general. Se observa entonces que: los morteros con arena de río tienen mejor comportamiento por el concepto de resistividad eléctrica en comparación con los agregados finos volcánicos estudiados. Esto a pesar de que el módulo de finura es ligeramente mayor en la arena de río, siendo más gruesa que la volcánica, así como también considerando que la densidad de esta arena es 11.6% mayor que la de río.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

En el gráfico 6 se muestran los resultados obtenidos de resistividad eléctrica en prismas correspondientes al Banco Joyitas (J).

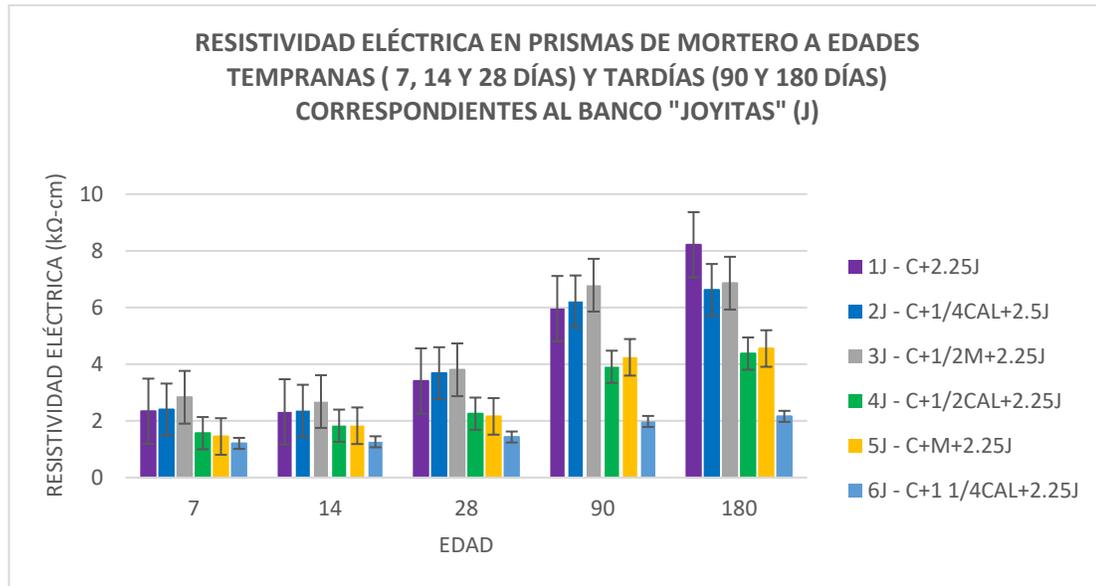


Gráfico 6. Resultados de resistividad eléctrica en prismas de mortero correspondientes al Banco Joyitas (J). Mezclas: 1J, 2J, 3J, 4J, 5J y 6J.

Los resultados de resistividad eléctrica correspondientes a los 6 proporcionamientos utilizando como agregado arena volcánica Joyitas nos arroja que la mezcla C + ½ M + 2.25J (3J) representa el valor de resistividad más alto obtenido a 28 días, pero con poca diferencia de lo obtenido en la mezcla C + ¼ CAL + 2.5J (2J). Por el caso contrario tenemos que la mezcla C + 1 ¼ CAL + 2.25J (6J) da el resultado más bajo a sus 28 días. En general los resultados a 7 días en todas las mezclas realizadas con este agregado no incrementan demasiado a sus 14 días, es hasta los 28 días dónde se obtiene en su mayoría un aumento de 40% aproximado respecto de la prueba a 7 y la de 28 días. Para las edades tardías se mantiene un constante crecimiento de resistividad respecto a las demás edades, pero con mayores valores de resistividad a 180 días se tiene a la mezcla C + 2.25J (1J) y con menor resistividad sigue siendo la mezcla C + 1 ¼ CAL + 2.25J (6J).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

En el gráfico 7 se muestran los resultados obtenidos de resistividad eléctrica en prismas correspondientes a la arena del río El Coro (CH).

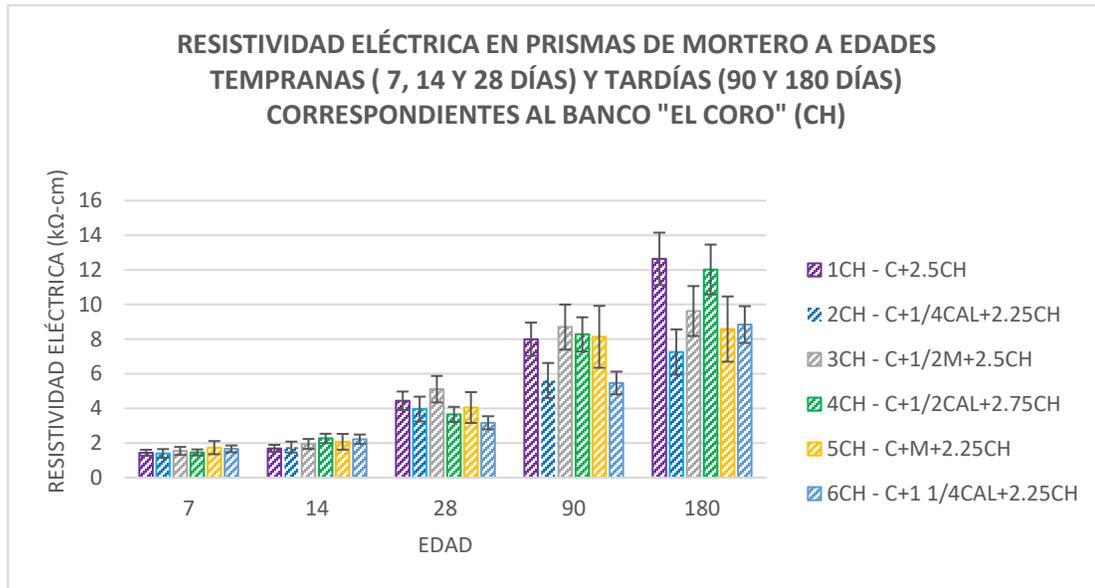


Gráfico 7. Resultados de resistividad eléctrica en prismas de mortero correspondientes al Banco El Coro (CH). Mezclas: 1CH, 2CH, 3CH, 4CH, 5CH y 6CH.

En los prismas elaborados con arena de río El Coro los resultados obtenidos a 14 días no incrementan tanto en comparación a lo obtenido en la edad de 7 días. Apenas e incrementa un 25% en promedio en la mayoría de las 6 mezclas en las primeras dos edades (7 y 14 días). Pero a los 28 días existe un aumento considerable de resistividad en todas las mezclas teniendo con mayores resultados la que contiene 1 parte de cemento, $\frac{1}{2}$ parte de cemento de albañilería y 2.5 partes de arena ($C + \frac{1}{2} M + 2.5CH$) y con la menor resistividad se tiene a la mezcla $C + 1 \frac{1}{4} CAL + 2.25CH$. Con el incremento de los días en las edades tardías vuelve a subir su resistividad considerablemente y a la edad de 180 días se presenta con mayor resistividad la mezcla $C + 2.5CH$ y con la menor resistividad se tiene al proporcionamiento $C + \frac{1}{4} CAL + 2.25CH$.

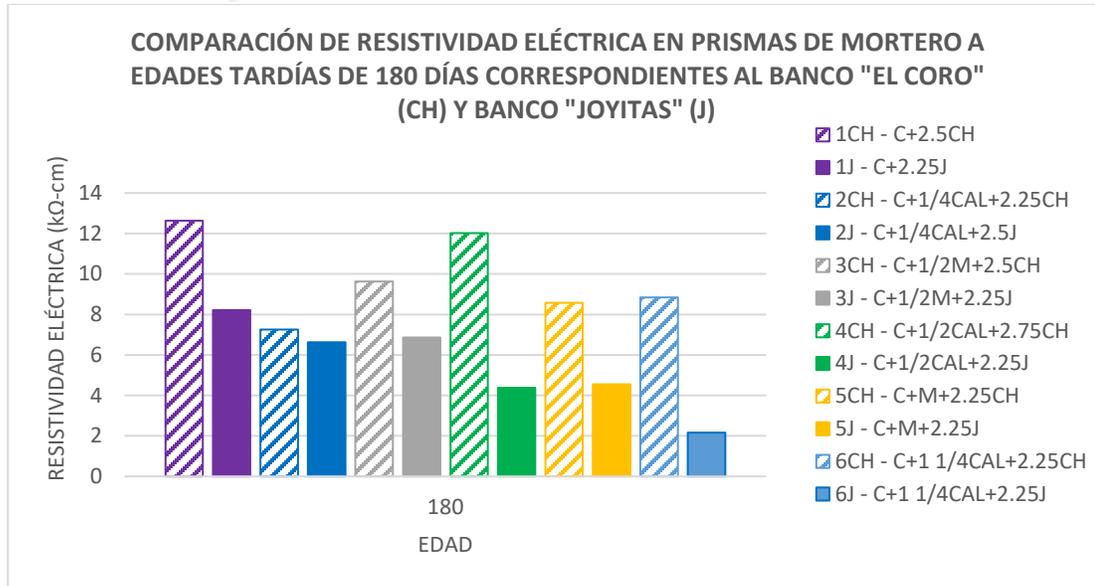


Gráfico 8. Comparación de resistividad eléctrica en prismas de mortero a edades tardías a 180 días correspondientes al Banco El Coro vs Banco Joyitas.

Como en el caso de la resistividad eléctrica presentada en los cubos de mortero, en los prismas se presenta el mismo caso, donde las mayores resistividades eléctricas están en las mezclas con agregado del banco El Coro (CH) y donde la mezcla C + 2.5CH (1CH) es la que mayor resistividad eléctrica presenta de todas las mezclas estudiadas. Por otra parte, las resistividades más bajas están en aquellas que tienen agregado del banco Joyitas (J) y la mezcla C + 1 ¼ CAL + 2.25J (6CH) es la que presenta la menor resistividad eléctrica de todo el estudio en prismas. Al igual que en la resistividad eléctrica de los cubos, los morteros elaborados con arena de río superan, uno a uno, mezcla a mezcla, cuando son los mismos proporcionamientos, la resistividad de los morteros hechos con arena volcánica.



En el gráfico 9 se muestran los resultados obtenidos de resistividad eléctrica en cilindros correspondientes al Banco Joyitas (J).

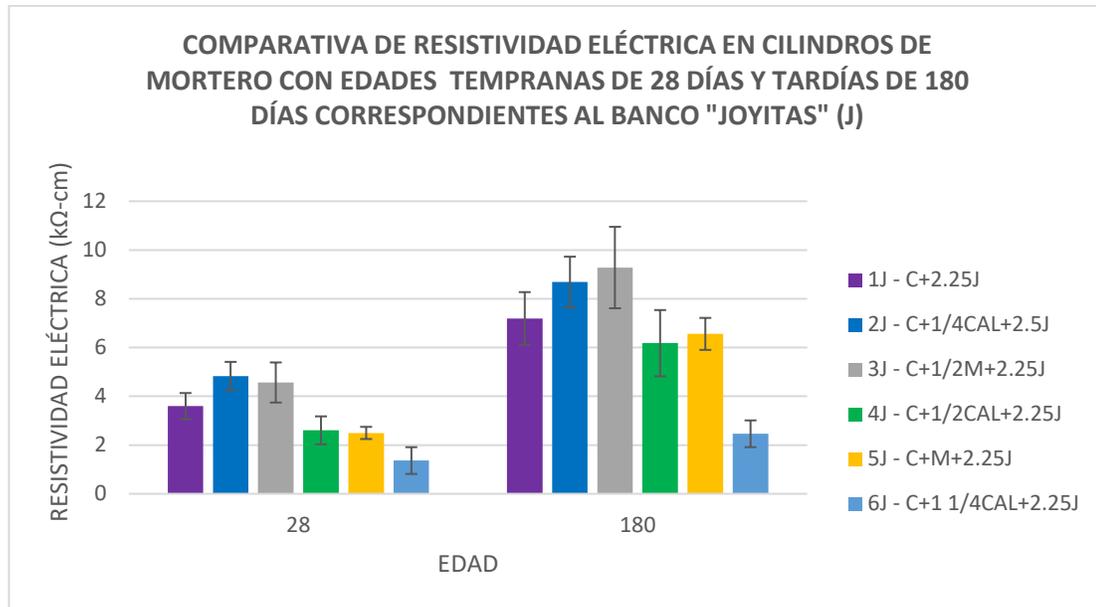


Gráfico 9. Resultados de resistividad eléctrica en cilindros de mortero correspondientes al Banco Joyitas (J).

Para las resistividades de los cilindros se obtuvieron resultados mayores en el proporcionamiento de 1 parte de cemento, $\frac{1}{2}$ de cemento de albañilería y 2.5 partes de arena (C + $\frac{1}{2}$ M + 2.25J) mientras que los resultados más bajos se obtuvieron en la mezcla con 1 parte de cemento, $1 \frac{1}{4}$ partes de cal hidratada y 2.25 partes de arena (C + $1 \frac{1}{4}$ CAL + 2.25J). Al analizar el resultado más bajo y el más alto se tiene que ambos proporcionamientos contienen cal en una proporción que mientras más baja sea este da mayores valores de resistividad eléctrica y viceversa.



En el gráfico 10 se muestran los resultados obtenidos de resistividad eléctrica en cilindros de mortero correspondientes a la arena de río del El Coro (CH).

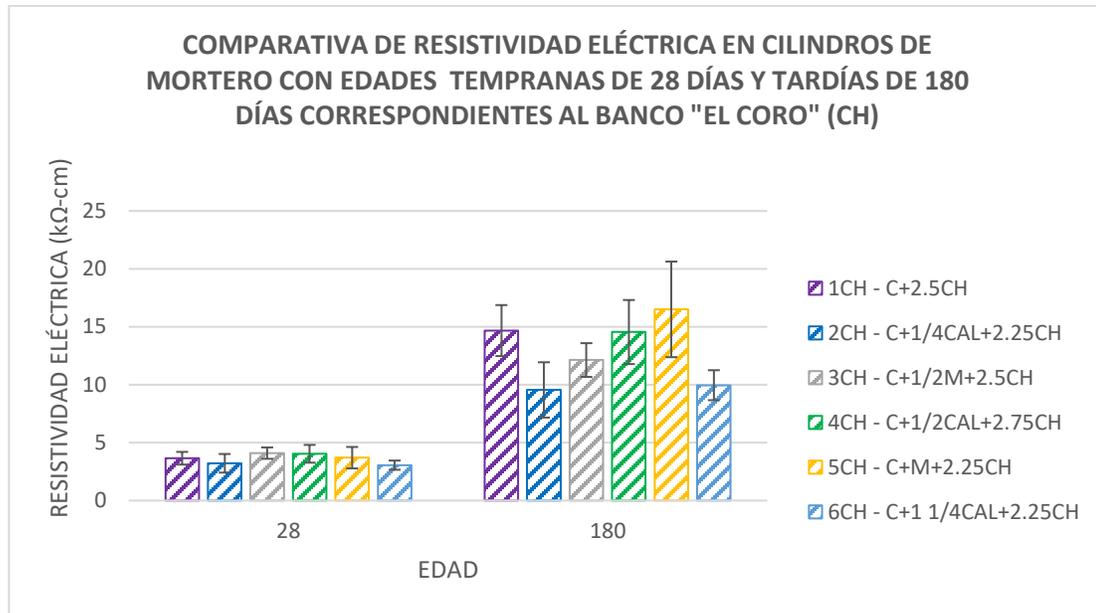


Gráfico 10. Resultados de resistividad eléctrica en cilindros de mortero correspondientes al Banco El Coro (CH).

Se tiene que a los 28 días la mezcla C + ½ M + 2.5CH da el resultado mayor con poca diferencia de lo obtenido en la C + ½ CAL + 2.75CH y con menor resultado se tiene una mezcla C + 1 ¼ CAL + 2.25CH. A los 180 días la resistividad eléctrica incrementa considerablemente en todas los proporcionamientos y la mezcla C + M + 2.25CH cambia a ser la que tiene mayor resistividad y con menor resistividad ahora se tiene a la mezcla C + 1/4CAL + 2.25CH, pero con poca diferencia de la anterior (C + 1 1/4CAL + 2.25CH).

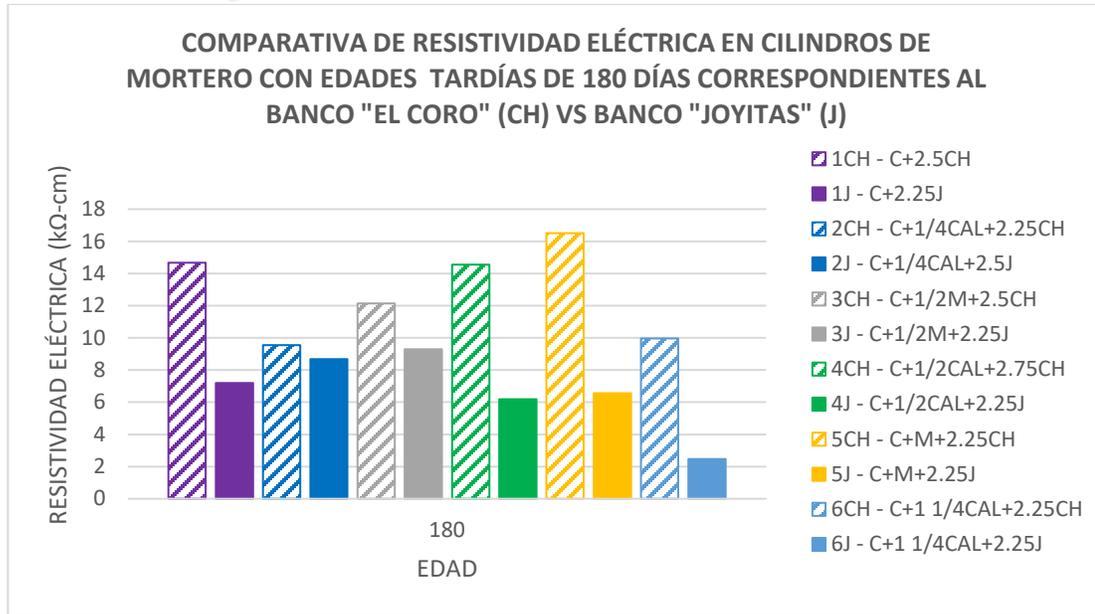


Gráfico 11. Comparativa de resistividad eléctrica en cilindros de mortero con edades tardías de 180 días correspondientes al Banco El Coro vs Banco Joyitas.

En resumen, se tiene que los morteros elaborados con Arena de río El Coro (CH) obtienen en promedio la mayoría de los resultados más altos de resistividad eléctrica comparados con las mezclas de mortero con arena volcánica. Las mezclas resultantes tienen las velocidades de corrosión del acero moderadas o altas y la porosidad interconectada de consideración, el transporte de agentes agresivos hacia el acero de refuerzo es rápido. Por ejemplo, el mortero 5CH tiene una resistividad 2.6 veces mayor cuando se usa arena de río.

4.5. PRUEBAS DESTRUCTIVAS

4.5.1. RESULTADOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

De acuerdo a la Norma Mexicana (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014) y la (N-CMT-2-01-004, 2002) existen ciertos límites de resistencia a la compresión mínimos para cada tipo de mortero y a edades de 28 días con el objetivo de proporcionar morteros aceptables para uso estructural. A continuación, se presentan los resultados de ensayos a compresión simple en especímenes cúbicos probados en 7, 14, 28, 90 y 180 días. Gráfico 12.

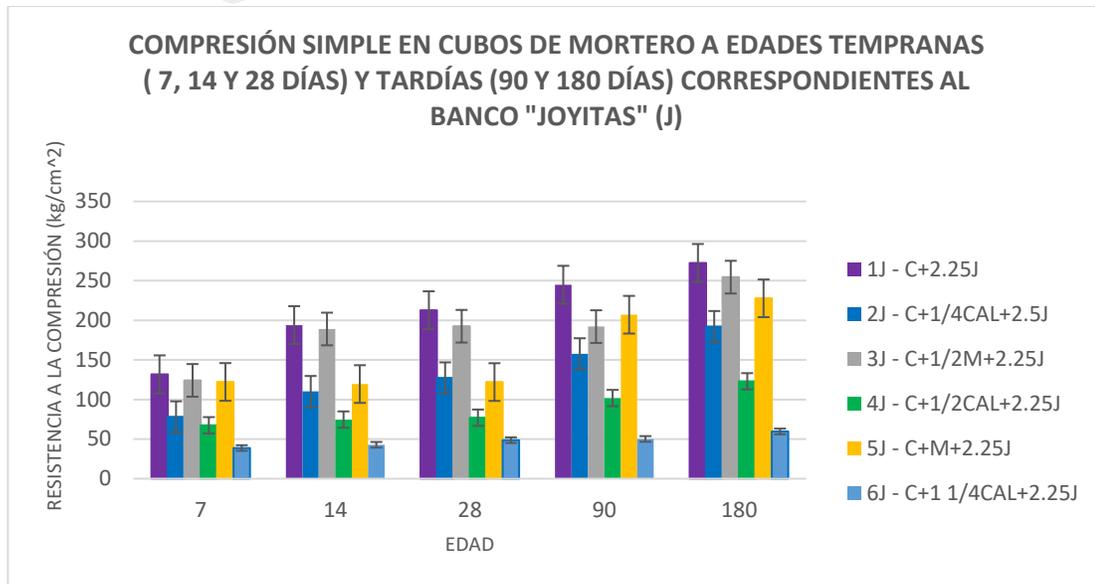


Gráfico 12. Resultados de compresión simple en cubos de mortero con Arena Volcánica Joyitas (J).

El mortero que alcanzó el resultado más alto en las pruebas de compresión a 28 días con agregado Joyitas fue el que tiene una proporción de 1 parte de cemento portland y 2.25 partes de arena (1:2.25), a diferencia de la proporción de 1 parte de cemento portland, 1 ¼ de cal hidratada y 2.25 partes de arena que presentó los resultados más bajos a compresión. Cabe mencionar que las 6 mezclas correspondientes al Banco Joyitas (J), cumplieron con las resistencias mínimas de compresión establecidas (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014), incluso antes de llegar a los 28 días. En las edades tardías igual que en las tempranas se mantuvo constante el crecimiento de compresión conforme avanzaban las edades obteniendo también con mayor resistencia a la compresión la mezcla C + 2.25J (1J) y de igual forma como menor resultado la mezcla C + 1 ¼ CAL + 2.25J (6J). Lo que era de esperarse.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

En el gráfico 13 se muestran los resultados correspondientes a cubos de mortero con agregado del río El Coro (CH) ensayados a compresión.

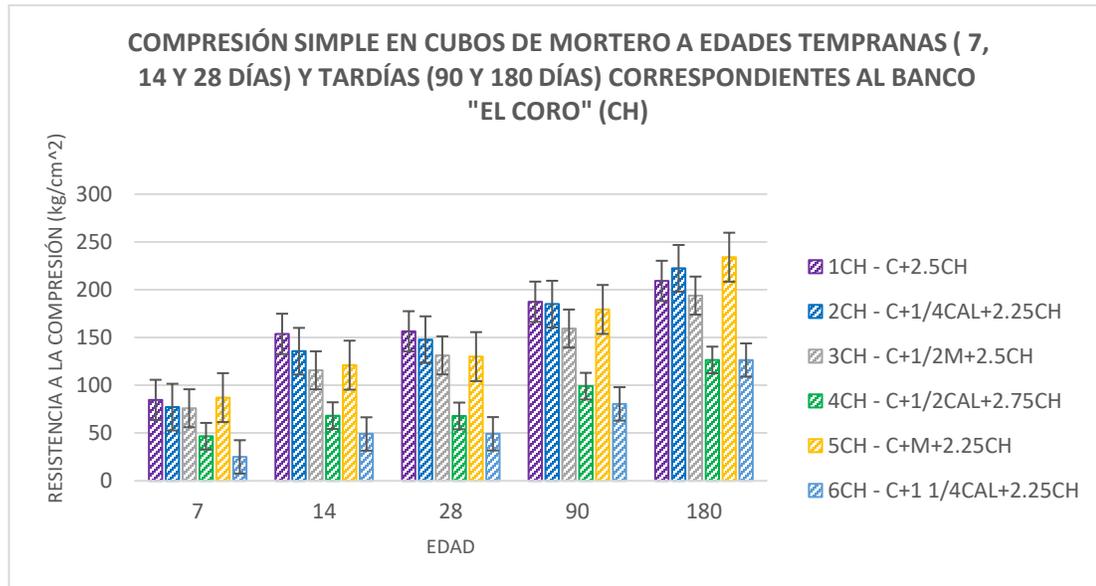


Gráfico 13. Resultados de compresión simple en cubos de mortero con Arena de Río El Coro (CH).

Para los morteros correspondiente al Banco El Coro (CH) se obtiene a los 28 días que la mezcla que contiene 1 parte de cemento y 2.5 de arena (C + 2.5CH) es la que mejores resultados presenta y por otra parte la de menores resultados es la que contiene un proporcionamiento de 1 parte de cemento, 1 $\frac{1}{4}$ de cal hidratada y 2.25 partes de arena (C + 1 $\frac{1}{4}$ CAL + 2.25CH). Ambas cumplen con sus resistencias mínimas a la compresión a 28 días y en general la mayoría de las mezclas con agregado del río El Coro cumplen con estos requisitos a excepción de la que contiene 1 parte de cemento, $\frac{1}{2}$ parte de cal hidratada y 2.75 partes de arena (C + $\frac{1}{2}$ CAL + 2.75CH) la cual no alcanza por poco el mínimo establecido por la norma (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014). Que en este caso al ser un mortero de tipo II no alcanza los 75 kg/cm^2 . Ya en las edades tardías todos los proporcionamientos siguen creciendo en sus resistencias a la compresión y como mejor resultado a 180 días se presenta la mezcla C + M + 2.25CH y de menor valor se tiene la mezcla C + 1 $\frac{1}{4}$ CAL + 2.25CH. El resultado es sorprendente considerando que un mortero tipo II tiene mayor resistencia que un tipo I.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

En el gráfico 14 se muestran los resultados a 28 días de ambos agregados.

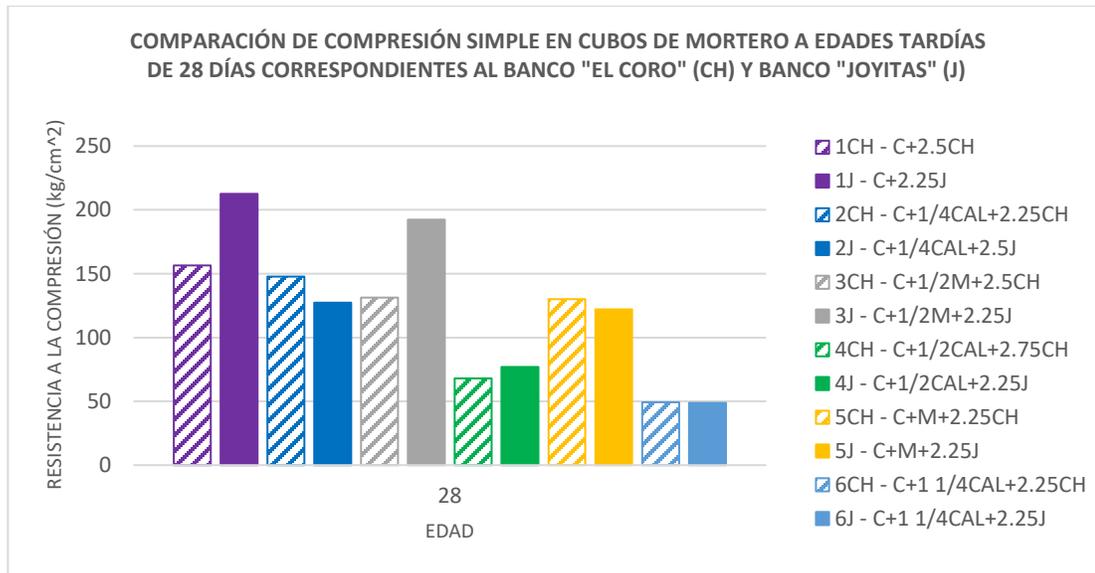


Gráfico 14. Resultados de compresión simple a 28 días en cubos de mortero con agregado El Coro (CH) y Joyitas (J).

En general los resultados más altos a la edad de 28 días se presentan en los morteros con arena de Banco Joyitas (J) donde su mayor valor se presenta en el proporcionamiento C + 2.25J. Tanto los proporcionamientos con arena volcánica Joyitas (J) o con arena de río El Coro (CH) dan resultados similares respecto a sus proporcionamientos donde se observó que las mezclas que solo tenían 1 parte de cemento y algunas partes de arena dieron los mayores resultados de resistencia a la compresión y en el caso contrario el uso de mucha cal hidratada en el proporcionamiento da menores resistencias en la mayoría de los casos. Lo que resulta lógico. La resistencia a compresión es mayor en los morteros que sólo contienen cemento y arena, siendo los que contienen arena de Joyitas 1.36 veces superior (36%) a los hechos con arena de río El Coro.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Tabla 38. Clasificación del mortero con base a su resistencia a compresión a 28 días. Fuente: Propia.

Clasificación con base a su resistencia a compresión a 28 días, para uso estructural (E) o No estructural (NE)		
Mezclas	Valor (kg/cm^2)	Clasificación
1CH - C+2.5CH	156.45	E2
1J - C+2.25J	212.63	E1
2CH - C+1/4CAL+2.25CH	147.76	E2
2J - C+1/4CAL+2.5J	127.30	E2
3CH - C+1/2M+2.5CH	131.30	E2
3J - C+1/2M+2.25J	192.48	E1
4CH - C+1/2CAL+2.75CH	67.88	E3
4J - C+1/2CAL+2.25J	77.03	E3
5CH - C+M+2.25CH	130.02	E2
5J - C+M+2.25J	122.02	E2
6CH - C+1 1/4CAL+2.25CH	49.21	NE2
6J - C+1 1/4CAL+2.25J	48.67	NE2

Se propone en la tabla 38, una clasificación de los morteros tanto para uso estructural, como para uso No estructural con base a su resistencia a compresión a 28 días siguiendo los parámetros de las normas (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014), (NMX-C-529-ONNCCE-2017, 2017). En su mayoría las mezclas son para uso estructural, las mezclas de proporción 6 para ambas arenas son para uso No estructural.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

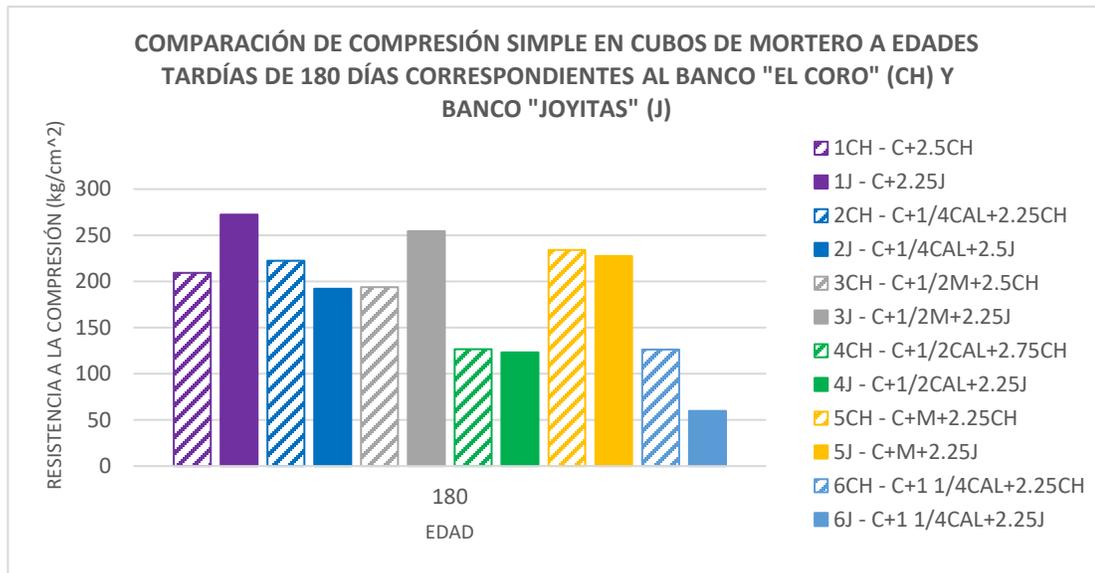


Gráfico 15. Comparativa de compresión simple en cubos de mortero a edades tardías a 180 días correspondientes al Banco El Coro vs Joyitas.

En general los resultados más altos a la edad de 180 días se presentan en los morteros con arena de Banco Joyitas (J) dónde su mayor valor se vuelve a presentar en el proporcionamiento C + 2.25J y como menor valor de compresión se tiene a la mezcla C + 1 ¼ CAL + 2.25CH. Tanto los proporcionamientos con arena volcánica Joyitas (J) o con arena de río El Coro (CH) dan resultados similares respecto a sus proporcionamientos dónde se observó que las mezclas que solo tenían 1 parte de cemento y algunas partes de arena dieron los mayores resultados de resistencia a la compresión y en el caso contrario el uso de mucha cal hidratada en el proporcionamiento da menores resistencias. La resistencia a compresión es mayor en los morteros que sólo contienen cemento y arena, siendo los que contienen arena de Joyitas que sólo contienen cemento y arena, siendo los que contienen arena de Joyitas 1.29 veces (29%) superior a los hechos con arena de río El Coro.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en todas las mezclas de ambos bancos de material, representados en diagramas de dispersión que nos indican la relación que existe entre dos variables cuantitativas. De igual manera se obtuvo su coeficiente de correlación para saber el grado de asociación lineal entre dos variables, en este caso se relacionó la resistencia a la compresión a 28 y 180 días en cubos de mortero con la resistividad eléctrica que presentaron en las mismas edades. Gráfico 16.

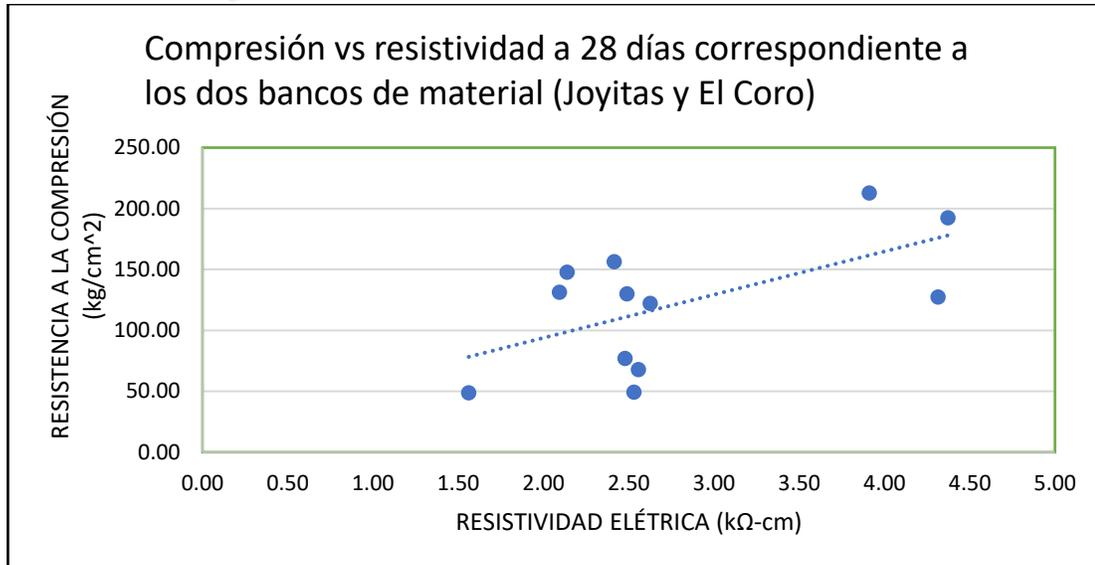


Gráfico 16. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión vs resistividad eléctrica en cubos a 28 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro.

En el diagrama de dispersión anterior (gráfico 16) se relaciona la compresión vs resistividad, tiene una relación lineal positiva dónde su coeficiente de correlación (ρ) es de 0.61 por lo tanto el grado de asociación lineal entre ambas variables es moderada.

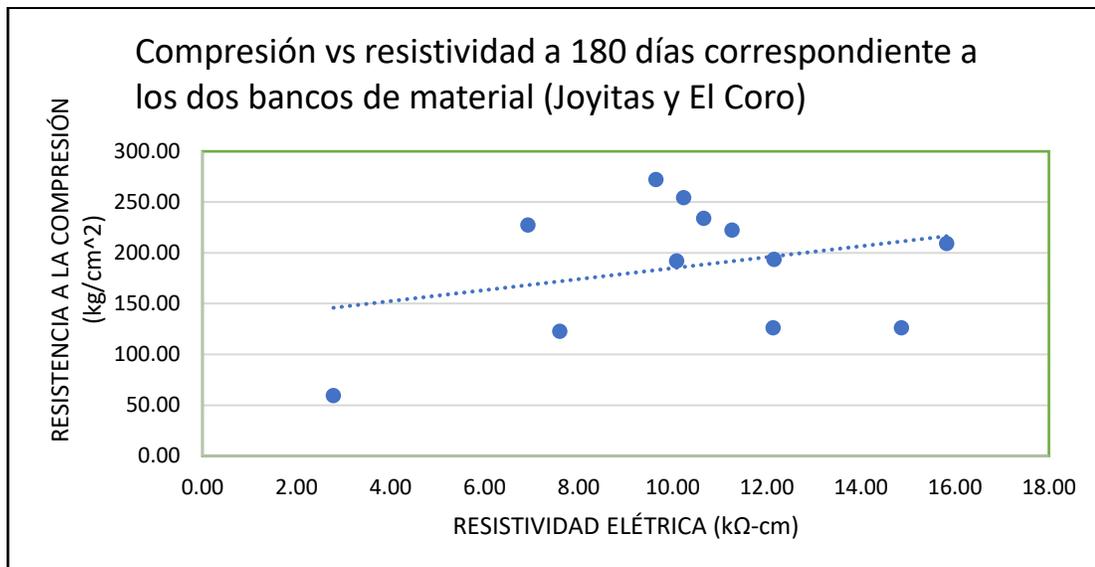


Gráfico 17. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión vs resistividad eléctrica en cubos a 180 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro.

Se observa (en gráfico 17) que a los 180 días los valores están más alejados de la línea de tendencia por lo cual existe menos relación lineal entre ambas variables obteniendo un coeficiente de correlación lineal (ρ) de 0.30 por lo tanto el grado de asociación lineal entre ambas variables es débil.



4.5.2. RESULTADOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

En las pruebas a resistencia a la flexión se realizaron ensayos destructivos a edades tempranas de 7, 14 y 28 días y tardías de 90 y 180 días utilizando lo indicado en la norma (UNE-EN-196-1, 2005). A continuación, se presentan los resultados correspondientes a prismas de mortero utilizando arena volcánica Joyitas (J). Gráfico 18.

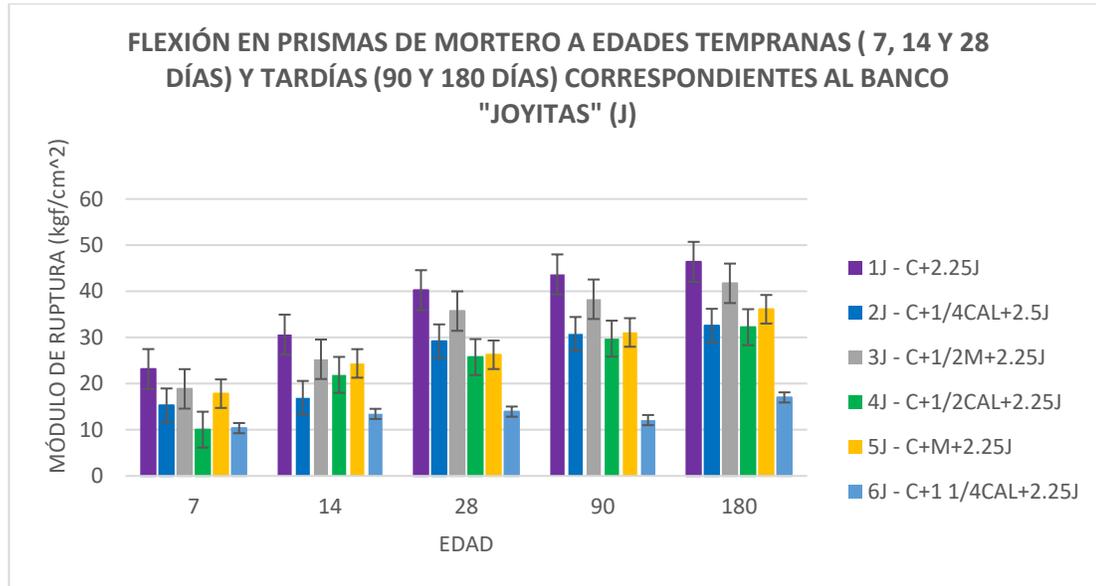


Gráfico 18. Resultados de resistencia a la flexión en prismas de mortero correspondientes al banco Joyitas (J).

El proporcionamiento de 1 parte de cemento portland, $\frac{1}{2}$ parte de cemento de albañilería y 2.25 partes de arena volcánica joyitas (C + $\frac{1}{2}$ M + 2.25J) nos presenta el dato más alto en las tres edades tempranas ensayadas teniendo una ligera diferencia en el ensayo a 28 días con la mezcla de 1 parte de cemento portland y 2.25 partes de arena (C + 2.25J) dónde la única diferencia radica en que la primera tiene $\frac{1}{2}$ parte de cemento de albañilería. Por otra parte, el módulo de ruptura más bajo lo encontramos en el proporcionamiento con mayor cantidad de cal hidratada el que tiene 1 parte de cemento, 1 $\frac{1}{4}$ partes de cal hidratada y 2.25 partes de arena. Como en los ensayos de compresión simple con cubos en esta ocasión el proporcionamiento C + 1 $\frac{1}{4}$ CAL + 2.25J nuevamente presenta los menores datos en cuanto a lo registrado con el Banco Joyitas (J). Conforme pasaron los días en las edades tardías se mantuvo un crecimiento constante en la resistencia a flexión de todas las mezclas dónde a 180 días nuevamente se presentó con mejores resultados de resistencia a la mezcla C + 2.25J y con menor valor a la mezcla C + 1 $\frac{1}{4}$ CAL + 2.25J. Lo que resulta congruente con los resultados anteriores a compresión.

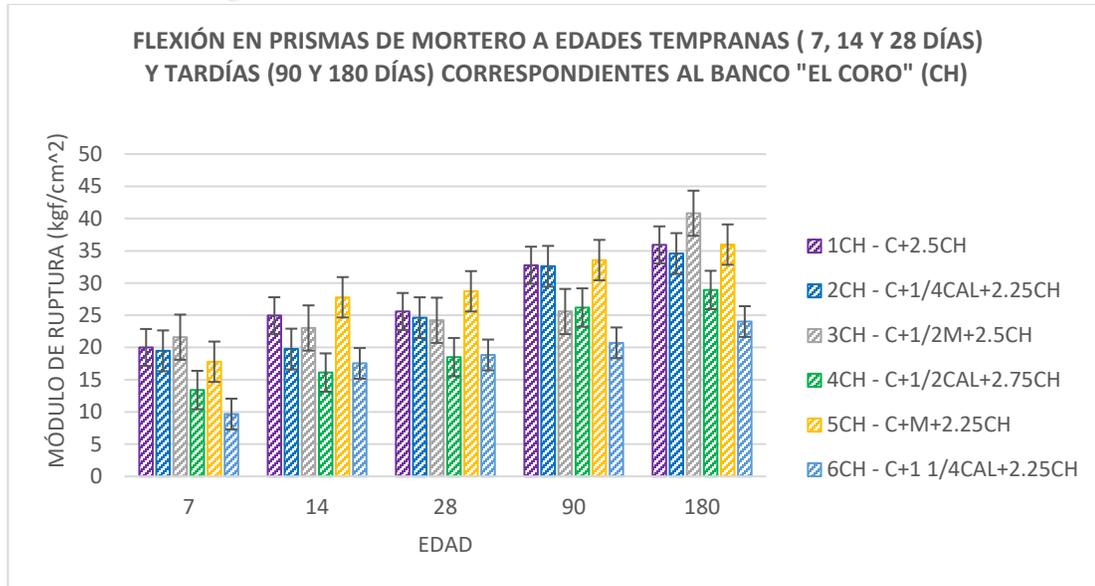


Gráfico 19. Resultados de resistencia a la flexión en prismas de mortero correspondientes al banco El Coro (CH).

Para lo correspondiente a los proporcionamientos utilizando Arena de Río del Banco El Coro (CH) se tiene que en general la mezcla que a lo largo de las tres edades tempranas ensayadas y que dio los resultados más altos a sus 28 días fue la que contiene 1 parte de cemento, 1 parte de cemento para albañilería y 2.25 partes de arena de río El Coro (CH). Por otra parte, con el menor resultado de los ensayos se tiene a la mezcla con 1 parte de cemento, ½ parte de cal hidratada y 2.75 partes de arena (C + ½ CAL + 2.75CH). Conforme fueron pasando las edades estas fueron incrementando sus resistencias a la flexión de forma constante y en la última edad a 180 días con respecto a los resultados de 28 días se tuvo un cambio en cuanto a mayores y menores resultados, teniendo que la mezcla C + ½ M + 2.5CH presentó los mejores resultados de resistencia a la flexión y como menor la mezcla C + 1 ¼ CAL + 2.25CH.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

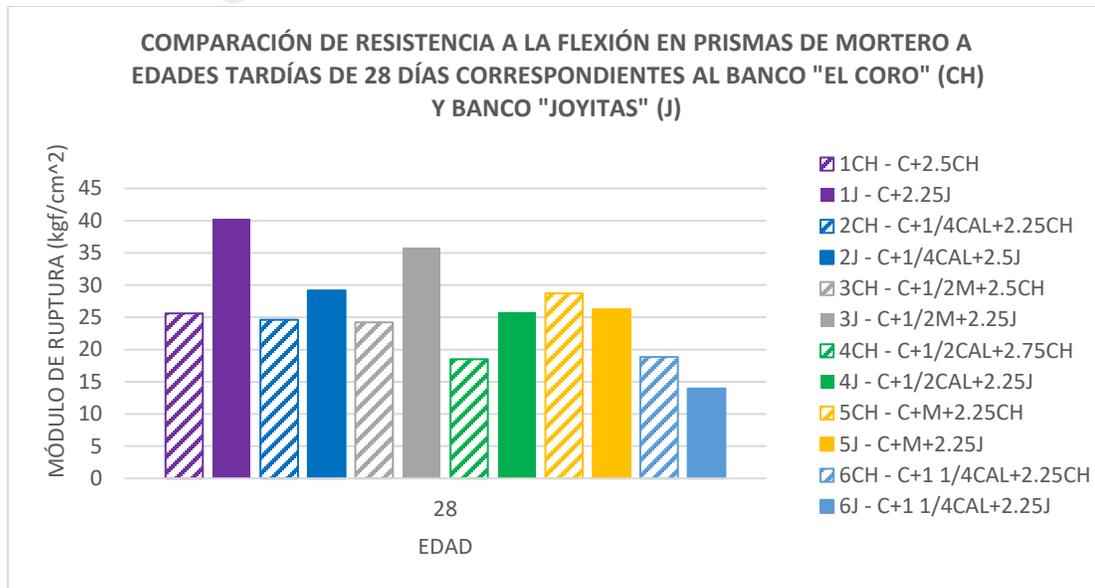


Gráfico 20. Resultados de Resistencia a la flexión a 28 días en prismas de mortero con agregado El Coro (CH) y Joyitas (J).

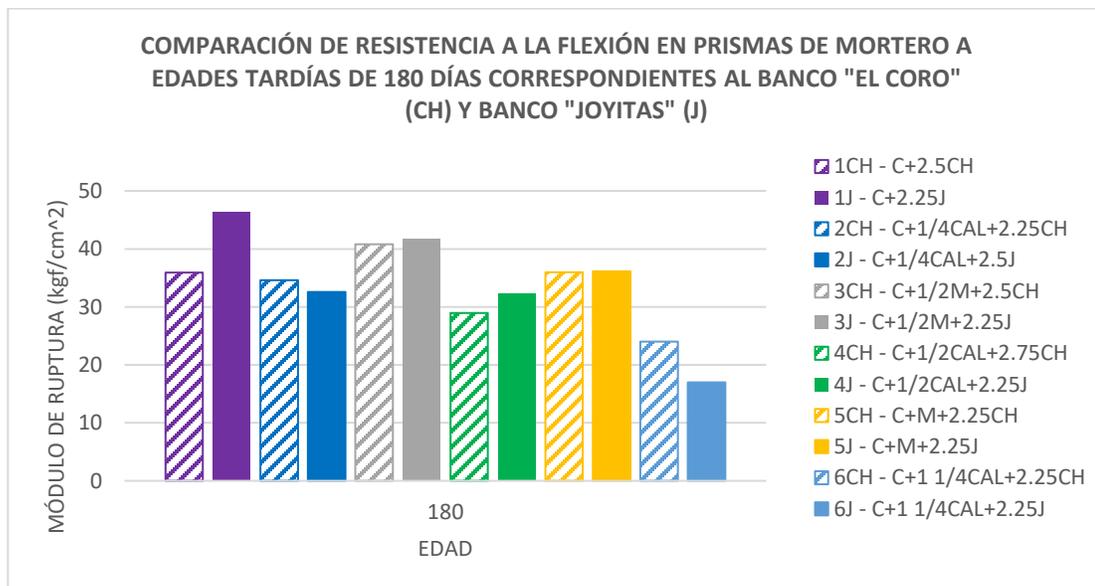


Gráfico 21. Comparativa de resistencias a la flexión en prismas de mortero a edad tardías de 180 días correspondientes al Banco El Coro vs Banco Joyitas.

Tanto en los ensayos de flexión de prismas de mortero con arena del banco Joyitas (J), como arena del banco El Coro (CH) presentan en su mayoría con mejores resultados a todas aquellas mezclas que únicamente contienen en sus proporcionamientos cementantes como lo son el cemento portland y cemento de albañilería con sus respectivas partes de arena. Excluyendo a la cal hidratada que ha arrojado en la mayoría de sus resultados menores datos y basado en las pruebas ya realizadas en muchos casos el tener una mayor cantidad de cal hidratada en su proporción (1 ¼ partes en estos casos) nos



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

está dando menores valores con respecto a otras mezclas. De forma global el proporcionamiento que mejor módulo de ruptura ha presentado a 180 días de todas las mezclas es el representado como C + 2.25J correspondiente al banco Joyitas. La resistencia a flexión es mayor en los morteros que sólo contienen cemento y arena, siendo los que contienen arena de Joyitas 1.27 veces (27%) superior a los hechos con arena de río El Coro.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en todas las mezclas de ambos bancos de material, representados en diagramas de dispersión que nos indican la relación que existe entre dos variables cuantitativas. De igual manera se obtuvo su coeficiente de correlación para saber el grado de asociación lineal entre dos variables, en este caso se relacionó la resistencia a la flexión a 28 y 180 días en prismas de mortero con la resistividad eléctrica que presentaron en las mismas edades.

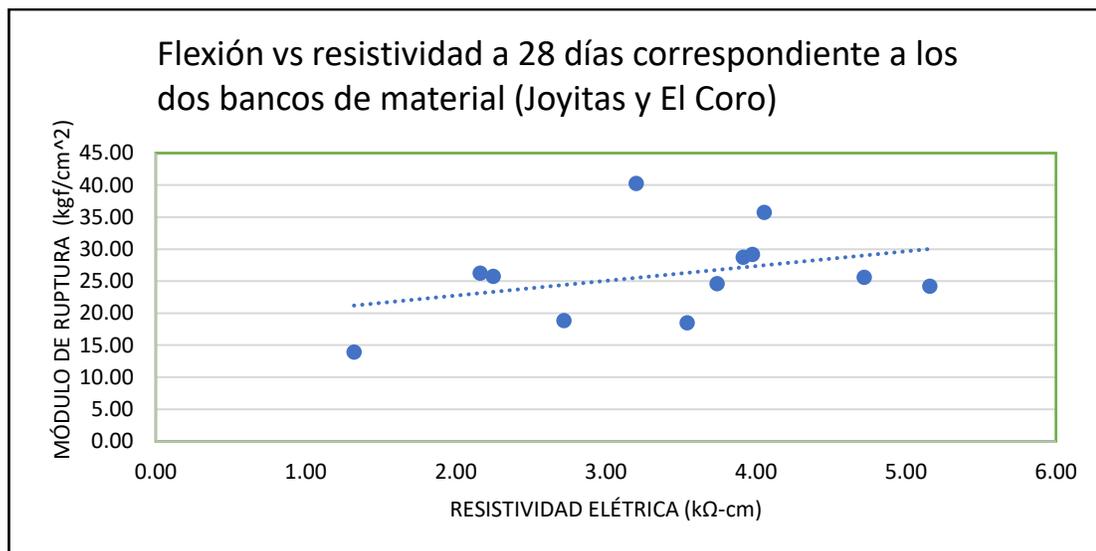


Gráfico 22. Diagrama de dispersión de la resistencia a la flexión vs resistividad eléctrica en prismas a 28 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro.

En el diagrama de dispersión Flexión vs resistividad a 28 días (gráfico 22) se observa una relación lineal positiva donde en su mayoría conforme va creciendo el valor de resistividad (eje x), también lo hace su módulo de ruptura (eje y). El coeficiente de correlación lineal (ρ) es de 0.36, el cual indica que existe una asociación lineal débil.

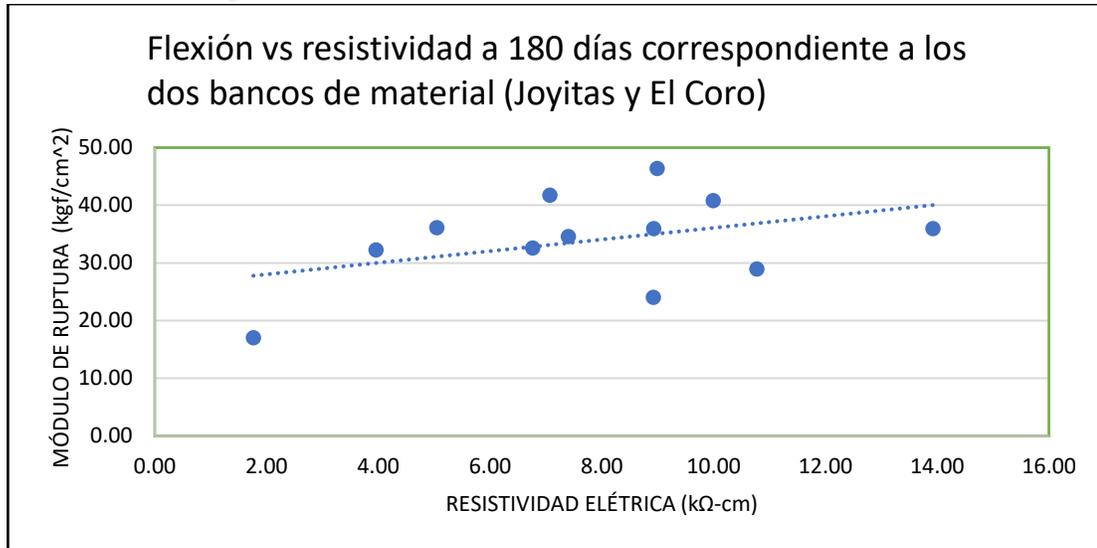


Gráfico 23. Diagrama de dispersión de la resistencia a la flexión vs resistividad eléctrica en prismas a 180 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro.

A los 180 días se observa que los valores están relativamente más cerca a la línea de tendencia, observándose una relación lineal positiva. Su coeficiente de correlación lineal (ρ) es de 0.41 el cual aumento un poco respecto a lo obtenido a 28 días, aunque se sigue considerando una relación lineal débil.

A continuación, se presentan los diagramas de dispersión compresión vs flexión también analizados a edades de 28 y 180 días. Gráfico 24 y 25.

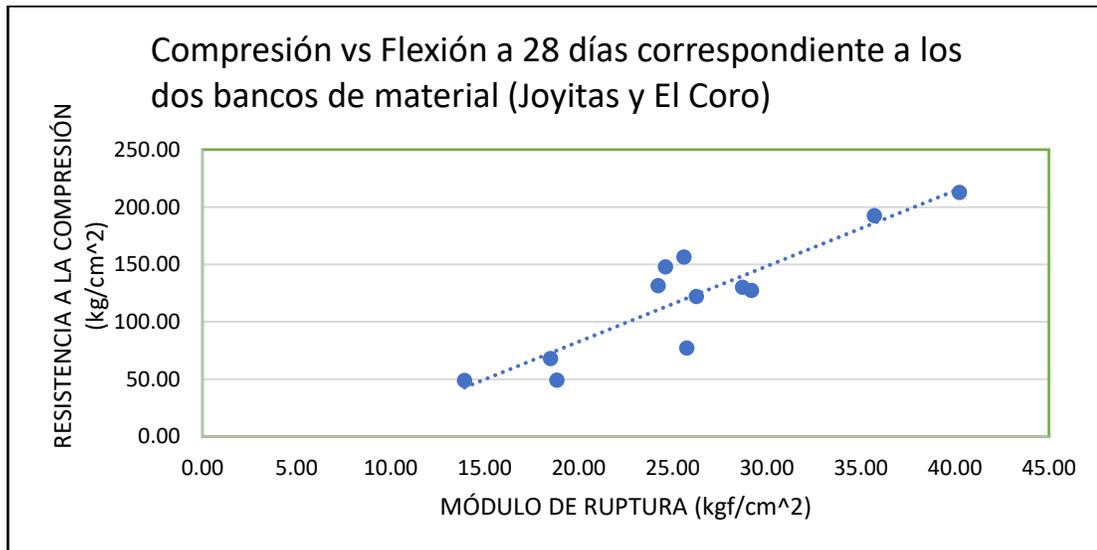


Gráfico 24. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión vs resistencia a la flexión a 28 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro.



Se obtuvo un coeficiente de correlación lineal (ρ) muy alto de 0.90 que nos indica una asociación lineal entre ambas variables muy fuerte, que a simple vista también se puede apreciar porque los datos están próximos a la línea de tendencia.

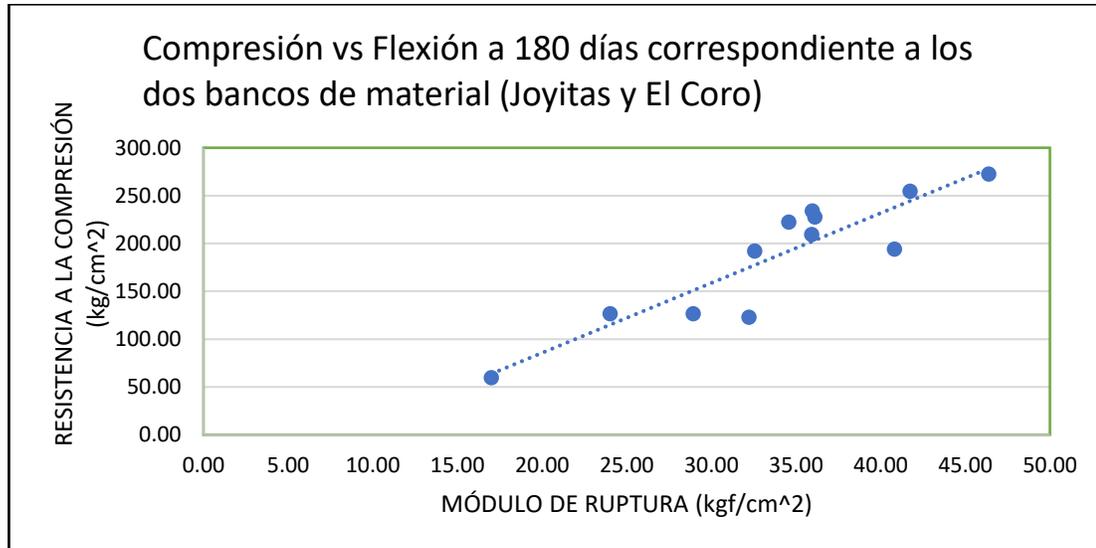


Gráfico 25. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión vs resistencia a la flexión a 180 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro.

A los 180 días el coeficiente de correlación lineal (ρ) es de 0.91 el cual nos representa una asociación de los datos muy fuerte. Se tiene que la relación lineal es positiva y los datos están próximos a la línea de tendencia.

4.5.3. RESULTADOS DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A LA TENSIÓN

En las pruebas a resistencia a la tensión utilizando briquetas de mortero se realizaron ensayos destructivos a edades tempranas de 7, 14 y 28 días y tardías de 90 y 180 días. A continuación, se presentan los resultados correspondientes a briquetas de mortero utilizando arena volcánica Joyitas (J). Gráfico 26.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

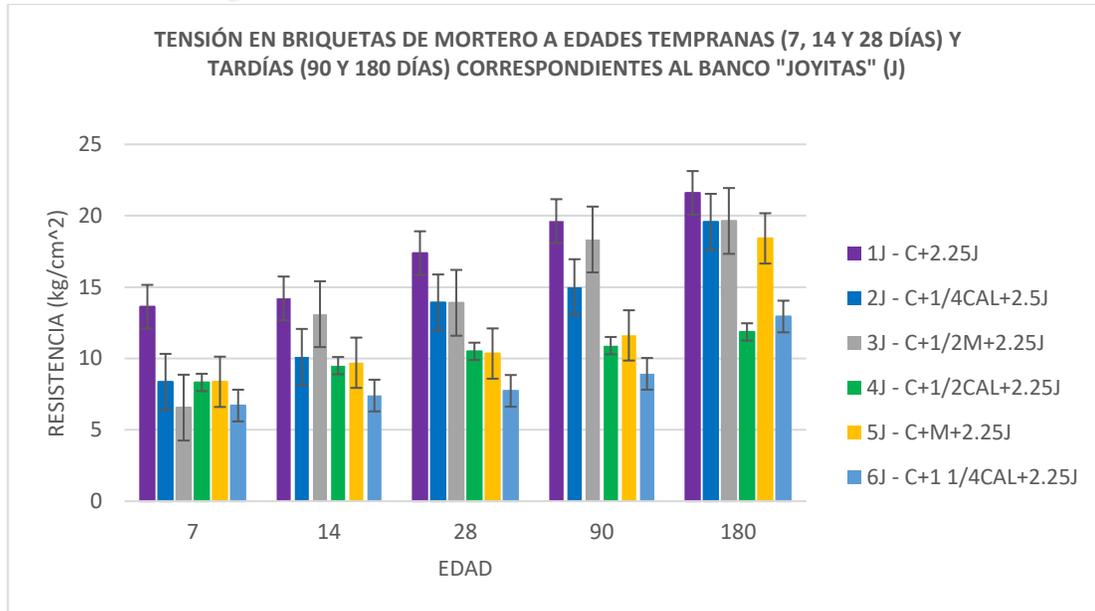


Gráfico 26. Resultados de resistencia a la tensión en briquetas de mortero correspondientes al banco Joyitas (J).

Los resultados de tensión en briquetas de mortero en general y conforme a las 3 edades tempranas ensayadas se obtiene que el proporcionamiento que contiene únicamente 1 parte de cemento portland y 2.25 partes de arena de río Joyitas (J) arroja la resistencia más alta con diferencia de las demás mezclas ensayadas. Por otra parte, se tiene que el proporcionamiento que contiene 1 parte de cemento portland, 1 ¼ partes de cal hidratada y 2.25 partes de arena de río Joyitas (J) presenta la resistencia más baja. En las 2 edades tardías ensayadas se presenta un incremento constante de tensión respecto a las edades tempranas dónde se obtiene a sus 180 días que la mezcla C + 2.25J sigue siendo las que presenta mejores resultados de resistencia a la tensión y por otra parte la mezcla C + ½ CAL + 2.25J es la que arroja menores resultados de resistencia, pero con poca diferencia de la C + 1 ¼ CAL + 2.25J.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

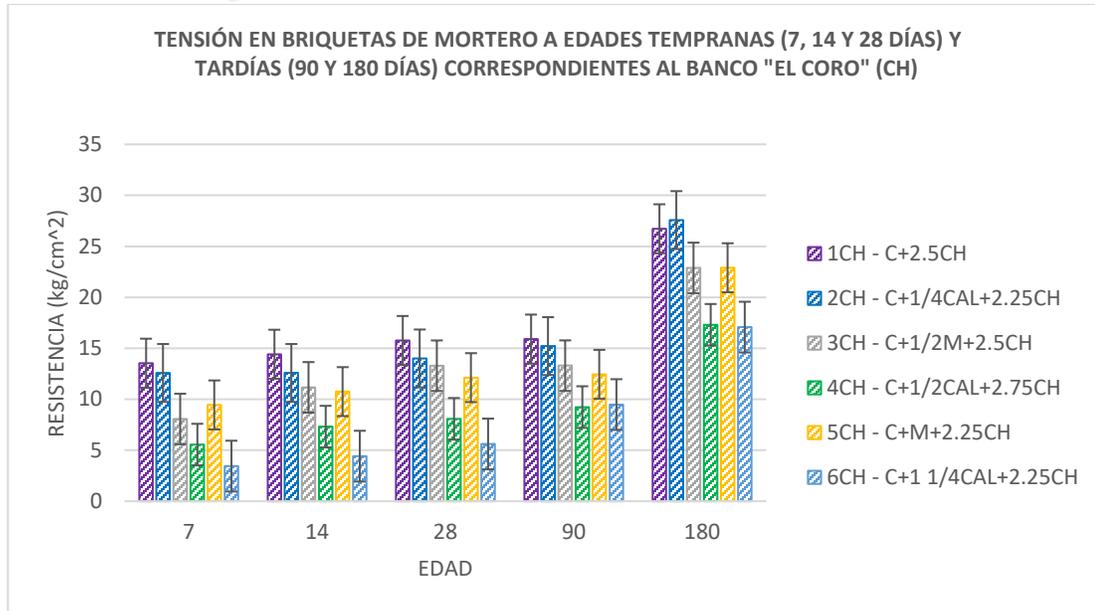


Gráfico 27. Resultados de resistencia a la tensión en briquetas de mortero correspondientes al banco El Coro (CH).

En los resultados de briquetas de mortero (gráfico 27) utilizando como agregado pétreo arena de río El Coro (CH) se tiene con mayor resistencia la mezcla con 1 parte de cemento portland y 2.5 partes de arena de río El Coro (CH) que en las 3 edades tempranas ensayadas ha presentado los mejores resultados para pruebas de tensión. En el caso contrario se tiene que el proporcionamiento que contiene 1 parte de cemento portland, 1 $\frac{1}{4}$ partes de cal hidratada y 2.25 partes de arena nos está dando en las tres edades ensayadas las resistencias a la tensión más bajas con diferencia respecto de las otras mezclas. Para las edades tardías existe un crecimiento considerable de resistencia a la tensión a partir de la última edad (180 días), donde la mezcla C + 1/4 CAL + 2.25CH (2CH) es la que mejores resultados presenta con poca diferencia de la mezcla C + 2.5CH (1CH) que sigue presentando muy buenos resultados de resistencia. Con menores valores se sigue teniendo a la mezcla C + 1 $\frac{1}{4}$ CAL + 2.25CH (6CH). En todas las edades fue superior la mezcla que solo contiene arena y cemento portland, exceptuando a 180 días, con una diferencia marginal de 4% por debajo de la mezcla C + 1/4CAL + 2.25CH.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

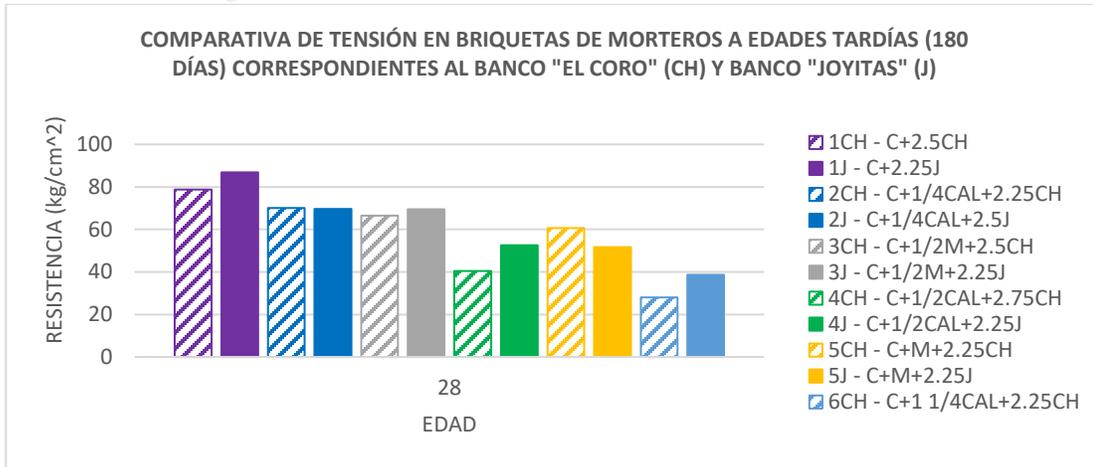


Gráfico 28. Resultados de Resistencia a la tensión a 28 días en briquetas de mortero con agregado El Coro (CH) y Joyitas (J).

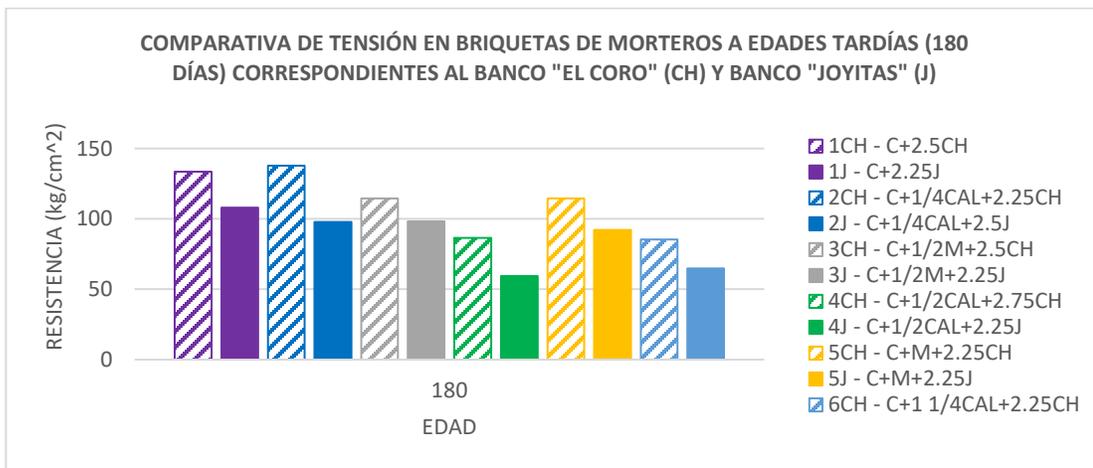


Gráfico 29. Comparativa de tensión en briquetas de mortero a edades tardías de 180 días correspondientes al Banco El Coro vs Banco Joyitas.

Para ambos casos, tanto para mezclas con agregado El Coro (CH) como mezclas con agregado de Joyitas (J) se presenta con mayor resistencia a la tensión en aquellas mezclas que contienen como cementante al cemento portland o combinación cemento de albañilería – cemento portland y sus respectivas partes de arena y en el caso de las menores resistencia se tiene que, aquellas mezclas que contienen como cementantes al cemento portland y cal hidratada en mayor cantidad (1 ¼ partes en este caso) además de su respectivas partes de arena son las que para ambos casos representan los datos más bajos. Excluyendo a las mezclas con 1 parte de cemento portland, ¼ parte de cal hidratada y su respectiva parte de agregado, la cual ha dado buenas resistencias. En general la mezcla C + ¼ CAL + 2.25CH fue la que mejor resistencia a la tensión presento utilizando como agregado arena de río El Coro. Aquí lo sorprendente es que las mezclas con arena de El Coro, todas tienen una mayor resistencia a la tensión que las elaboradas con arena de



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Joyitas, lo que no sucedió ni en compresión, ni en tensión. La mezcla con mejor comportamiento de El Coro es C + 2.5CH (1CH) con una resistencia superior a tensión del 23.4% a su similar con arena de río El Coro.

A continuación, se presentan los diagramas de dispersión dónde se analiza la resistencia a la compresión en cubos de mortero vs la resistencia a la tensión en briquetas de mortero, todos a edades de 28 y 180 días correspondientes a los agregados de banco Joyitas y El Coro. Gráfico 30 y 31.

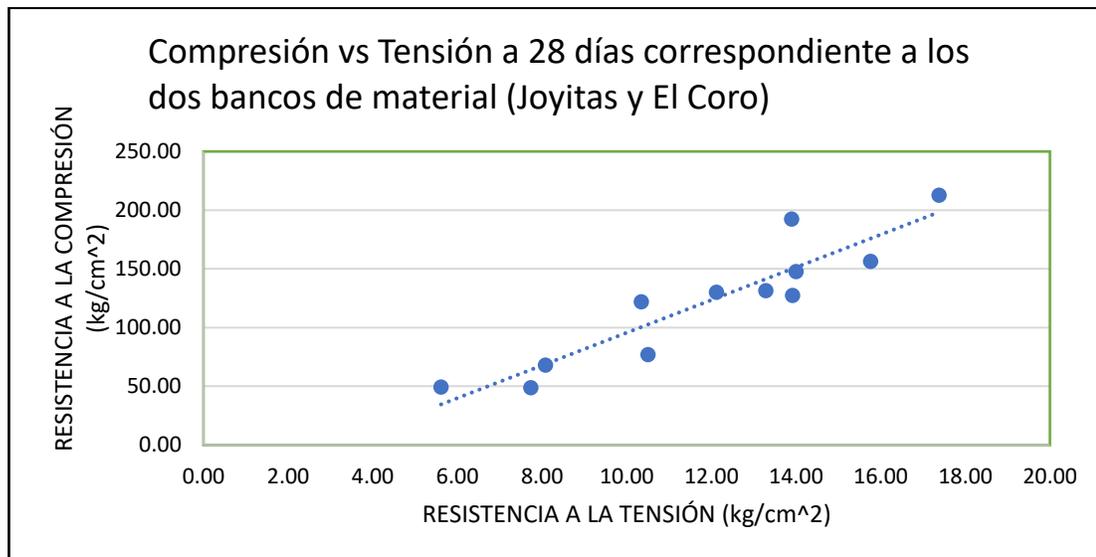


Gráfico 30. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión vs resistencia a la tensión a 28 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro.

La relación que existen entre la resistencia a la compresión y resistencia a la tensión es muy fuerte obteniendo un coeficiente de correlación lineal (ρ) igual a 0.92 muy cercano a una relación lineal perfecta.

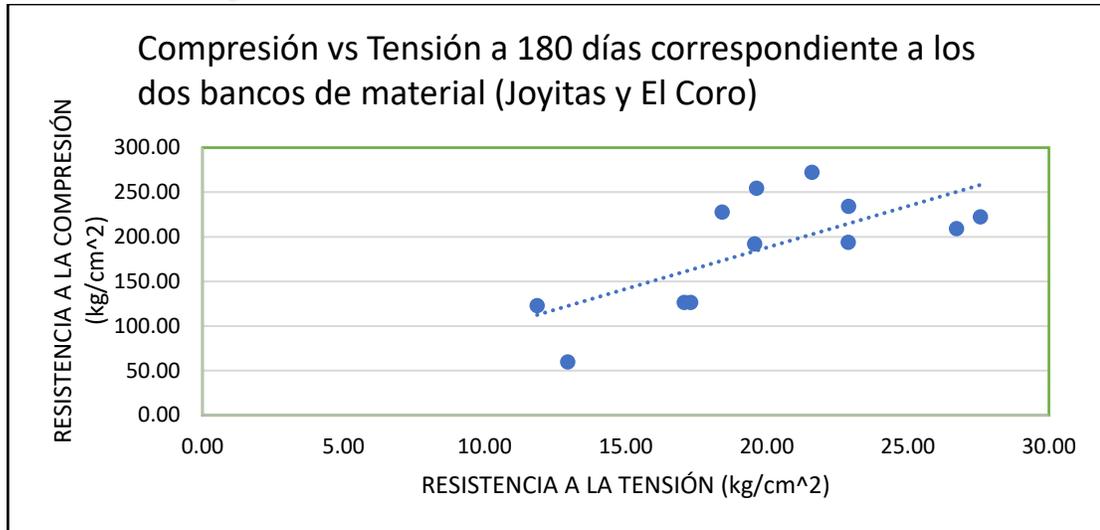


Gráfico 31. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión vs resistencia a la tensión a 180 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro.

A los 180 días la asociación lineal de los datos de resistencia a la compresión y resistencia a la tensión bajan un poco, notándose en la gráfica datos un poco más alejados de la línea de tendencia. Se obtuvo un coeficiente de correlación lineal (ρ) igual a 0.70 es cual sigue siendo significativo y representa una buena asociación lineal entre ambas variables.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

4.5.4. RESULTADOS DE PRUEBAS DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD ESTÁTICA

Curvas esfuerzo deformación de las mezclas de mortero utilizadas tanto con el agregado El Coro (CH) como Joyitas (J) para obtener los módulos de elasticidad estática a 28 y 180 días. Se utilizaron cilindros con medidas: 5 cm de diámetro por 10 cm de altura.

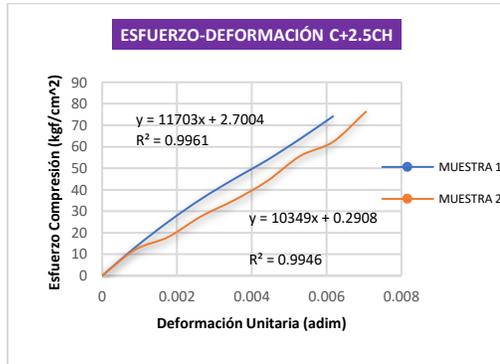


Gráfico 32. Curvas esfuerzo deformación de mezcla de mortero con agregado El Coro (CH) a 28 días.

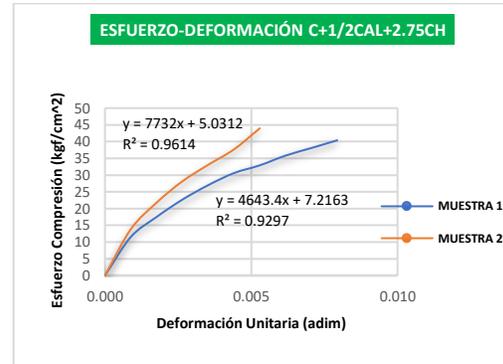


Gráfico 33. Curvas esfuerzo deformación de mezcla IV de mortero con agregado El Coro (CH) a 28 días.

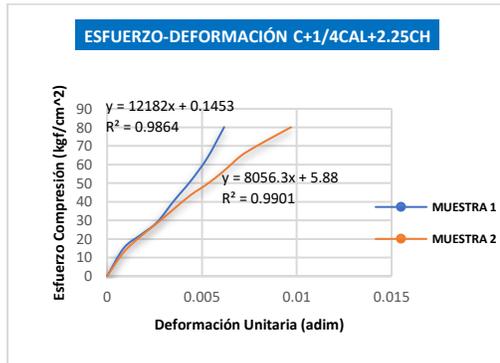


Gráfico 34. Curvas esfuerzo deformación de mezcla II de mortero con agregado El Coro (CH) a 28 días.

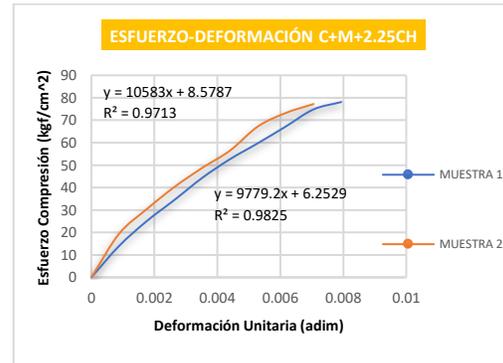


Gráfico 35. Curvas esfuerzo deformación de mezcla V de mortero con agregado El Coro (CH) a 28 días.

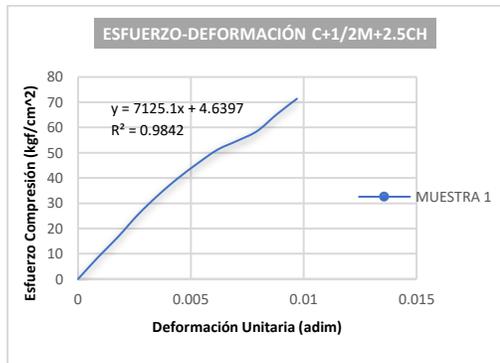


Gráfico 36. Curvas esfuerzo deformación de mezcla III de mortero con agregado El Coro (CH) a 28 días.

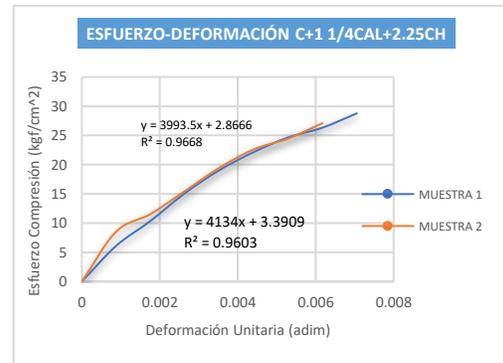


Gráfico 37. Curvas esfuerzo deformación de mezcla VI de mortero con agregado El Coro (CH) a 28 días.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

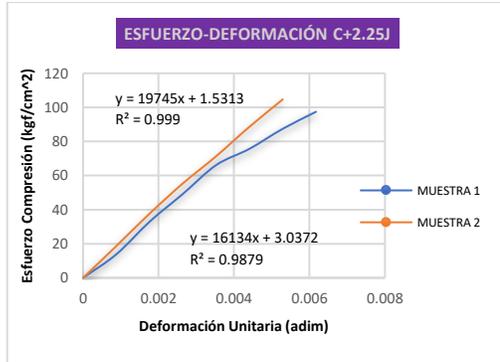


Gráfico 38. Curvas esfuerzo deformación de mezcla I de mortero con agregado Joyitas (J) a 28 días.

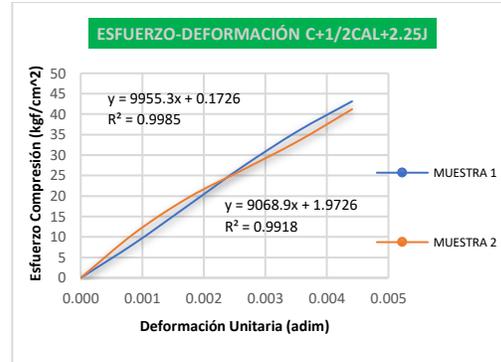


Gráfico 39. Curvas esfuerzo deformación de mezcla IV de mortero con agregado Joyitas (J) a 28 días.

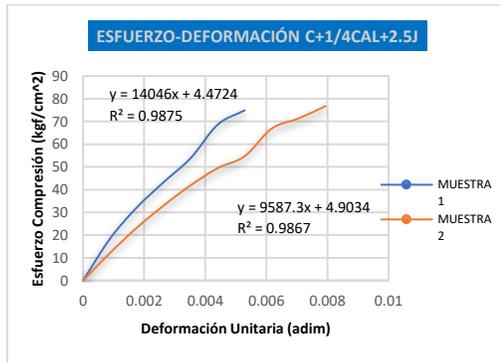


Gráfico 40. Curvas esfuerzo deformación de mezcla II de mortero con agregado Joyitas (J) a 28 días.

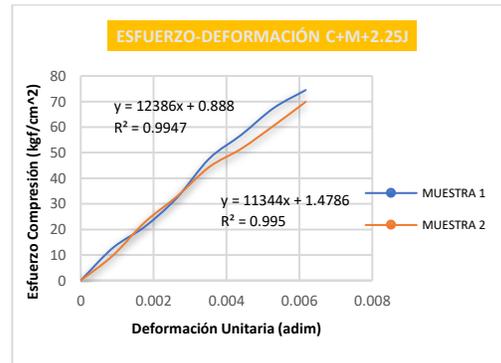


Gráfico 41. Curvas esfuerzo deformación de mezcla V de mortero con agregado Joyitas (J) a 28 días.

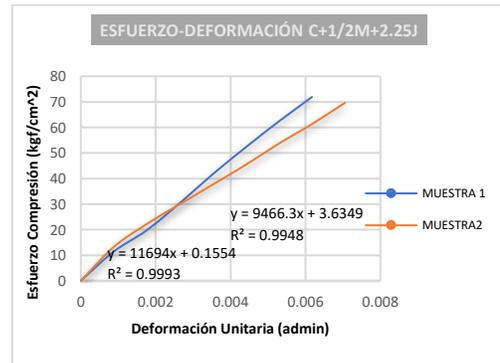


Gráfico 42. Curvas esfuerzo deformación de mezcla III de mortero con agregado Joyitas (J) a 28 días.

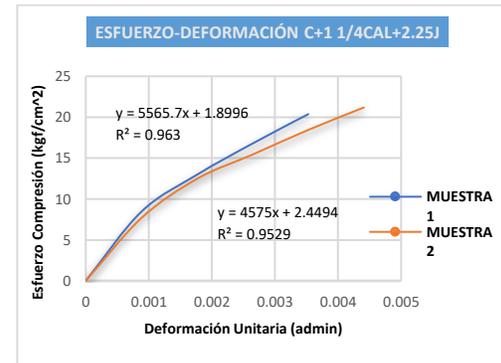


Gráfico 43. Curvas esfuerzo deformación de mezcla VI de mortero con agregado Joyitas (J) a 28 días.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Curvas esfuerzo deformación de mezclas de mortero de ambos Bancos a edades de 180 días.

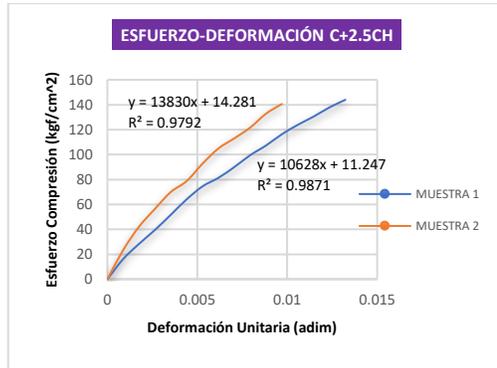


Gráfico 44. Curvas esfuerzo deformación de mezcla I de mortero con agregado El Coro (CH) a 180 días.

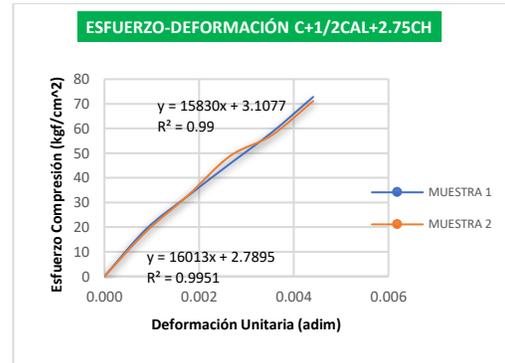


Gráfico 45. Curvas esfuerzo deformación de mezcla IV de mortero con agregado El Coro (CH) a 180 días.

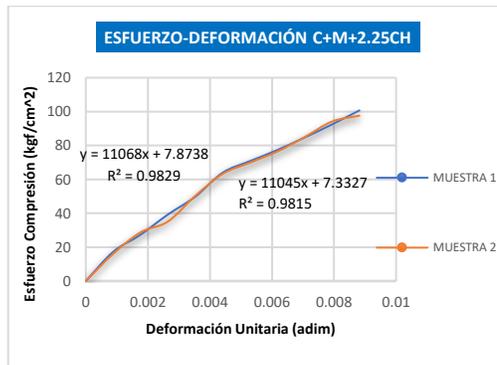


Gráfico 46. Curvas esfuerzo deformación de mezcla II de mortero con agregado El Coro (CH) a 180 días.

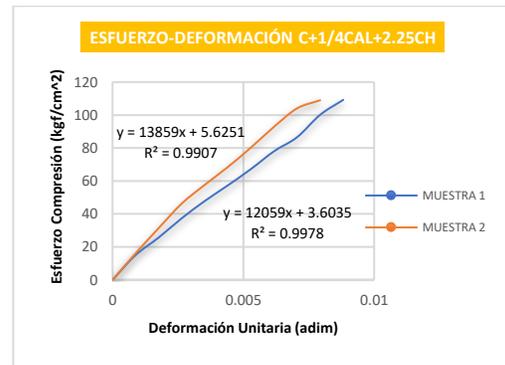


Gráfico 47. Curvas esfuerzo deformación de mezcla V de mortero con agregado El Coro (CH) a 180 días.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

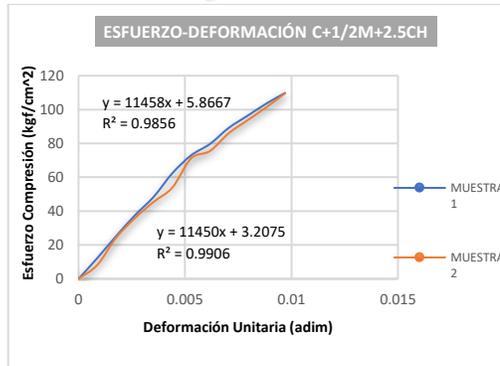


Gráfico 48. Curvas esfuerzo deformación de mezcla III de mortero con agregado El Coro (CH) a 180 días.

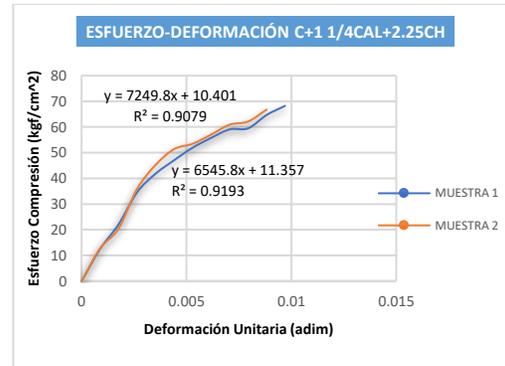


Gráfico 49. Curvas esfuerzo deformación de mezcla VI de mortero con agregado El Coro (CH) a 180 días.

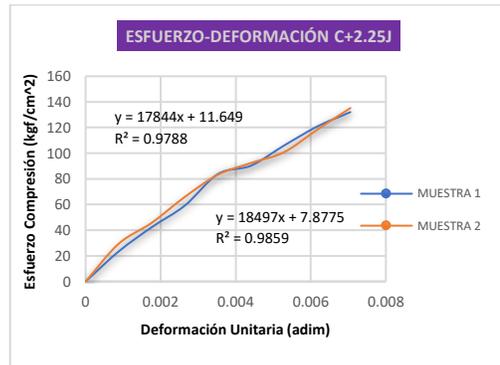


Gráfico 50. Curvas esfuerzo deformación de mezcla I de mortero con agregado Joyitas (J) a 180 días.

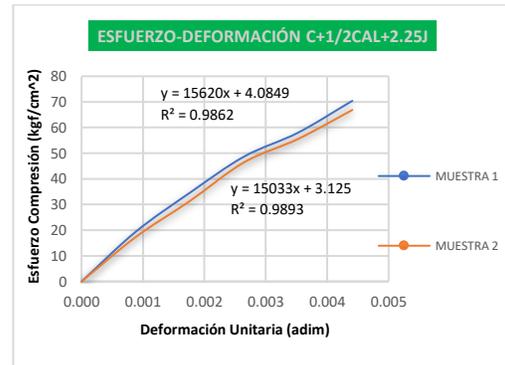


Gráfico 51. Curvas esfuerzo deformación de mezcla IV de mortero con agregado Joyitas (J) a 180 días.

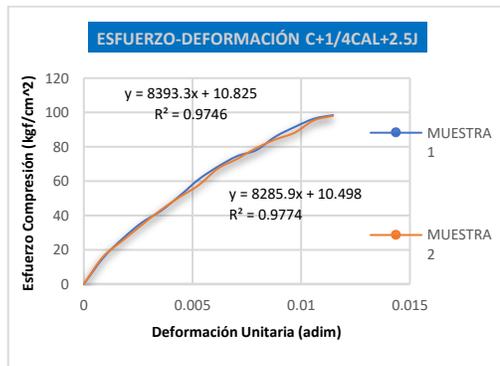


Gráfico 52. Curvas esfuerzo deformación de mezcla II de mortero con agregado Joyitas (J) a 180 días.

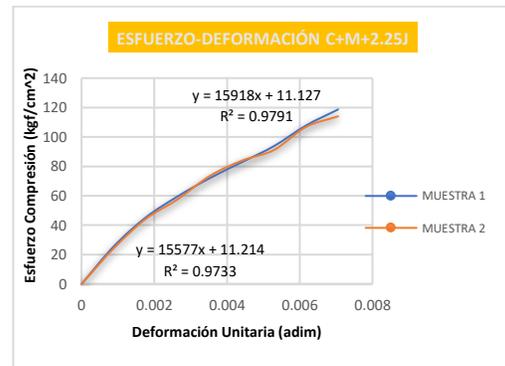


Gráfico 53. Curvas esfuerzo deformación de mezcla V de mortero con agregado Joyitas (J) a 180 días.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

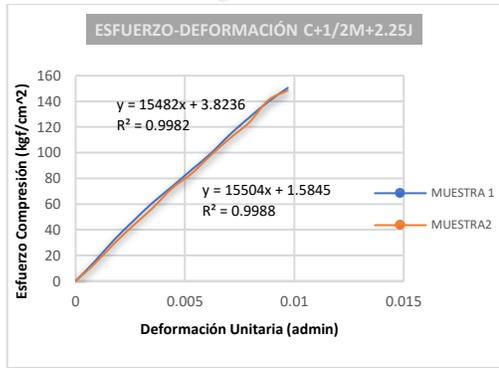


Gráfico 54. Curvas esfuerzo deformación de mezcla III de mortero con agregado Joyitas (J) a 180 días.

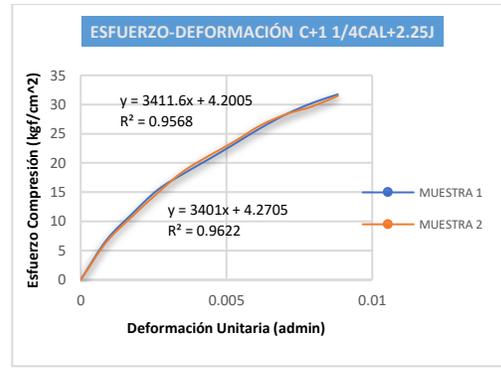


Gráfico 55. Curvas esfuerzo deformación de mezcla VI de mortero con agregado Joyitas (J) a 180 días.

Los gráficos anteriores del 32 al 55 muestran las curvas de esfuerzo deformación de las 12 mezclas utilizadas en el estudio tanto en edad temprana a 28 días, como en edad tardía a 180 días. Donde para cada mezcla se utilizaron dos muestras representativas los resultados se promediaron para los datos de Módulo de Elasticidad (gráfico 56 y 57).

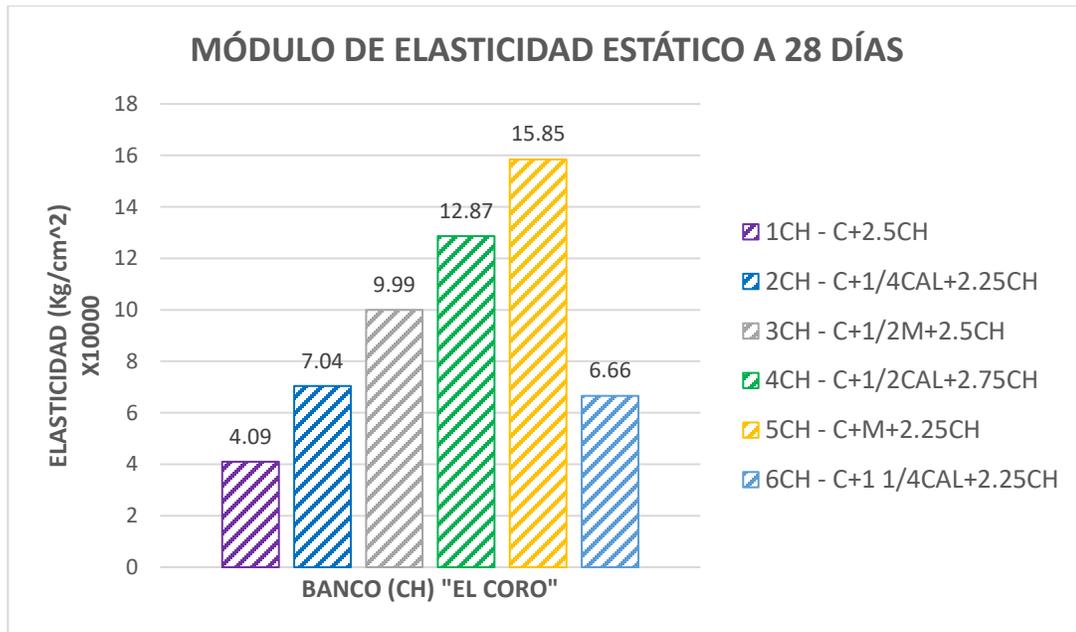


Gráfico 56. Valores de módulo de elasticidad en cilindros de 50x100 (mm) del Banco El Coro a 28 días.

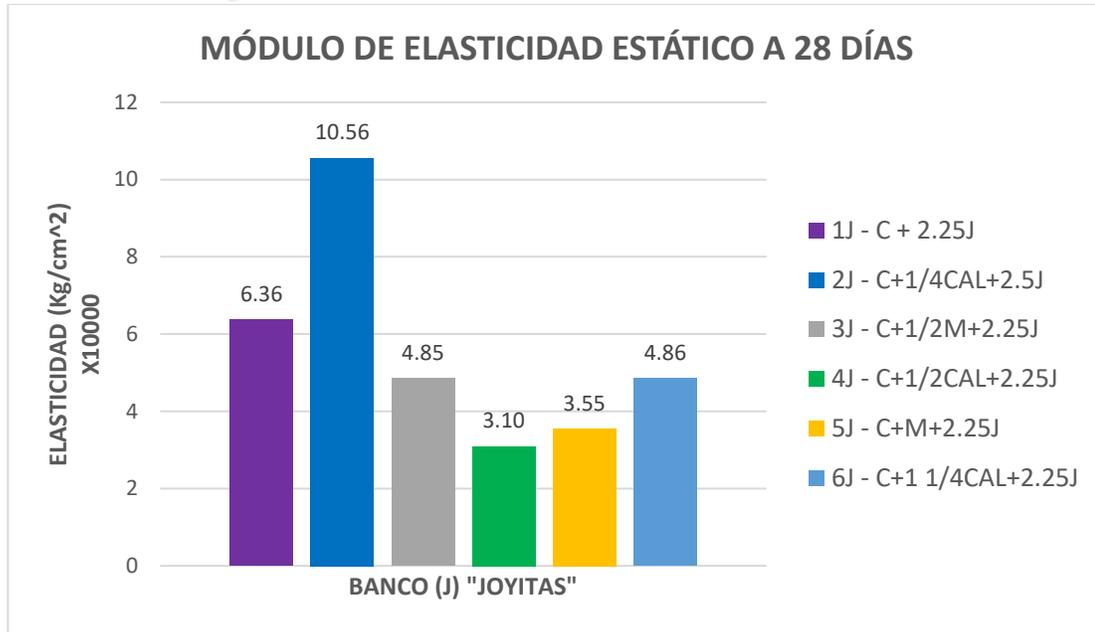


Gráfico 57. Valores de módulo de elasticidad en cilindros de 50x100 (mm) del Banco Joyitas a 28 días.

Los módulos de elasticidad difieren unos de otros en ambas gráficas (56 y 57).

Se presentan mayores resultados en las mezclas con agregados de El Coro (CH) y la mezcla con mayor módulo de elasticidad que es la representado como C + M + 2.25CH. En cambio, se presenta como menor módulo de elasticidad el que utiliza agregado Joyitas representado como C + 1/2CAL + 2.25J.

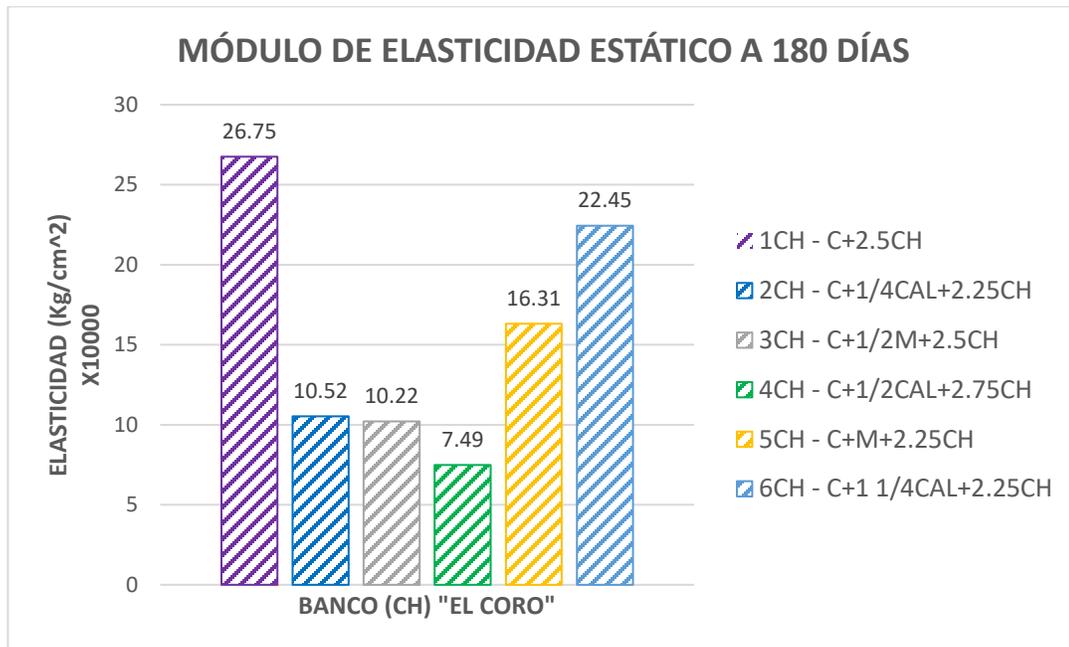


Gráfico 58. Valores de módulo de elasticidad en cilindros de 50x100 (mm) del Banco El Coro.

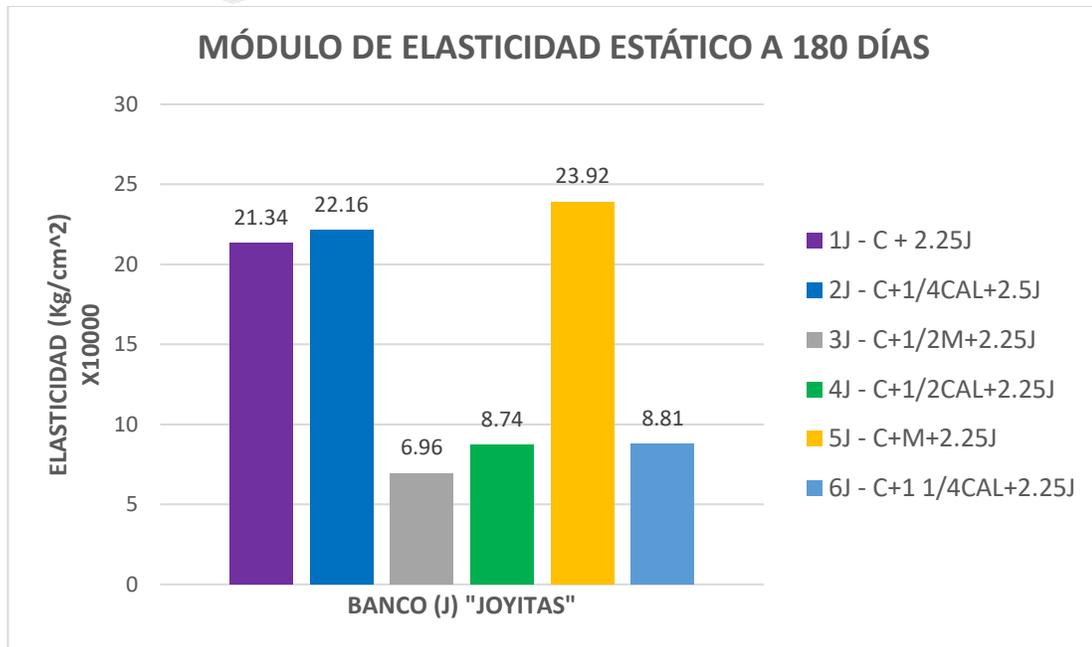


Gráfico 59. Valores de módulo de elasticidad en cilindros de 50x100 (mm) del Banco Joyitas a edad de 180 días.

Los módulos de elasticidad en su mayor parte difieren unos de otros en ambas gráficas (58 y 59).

Se presenta el módulo de elasticidad más alto en la mezcla C + 2.5CH con agregado de El Coro (CH) y la mezcla con menor módulo de elasticidad se tiene a C + ½ M + 2.25J. En ambos casos las mezclas que contienen únicamente cemento portland y agregado pétreo correspondiente tienen altos módulos de elasticidad.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

4.5.5. RESULTADOS DE CARGA AXIAL EN PILAS

La edad de prueba para las pilas con agregado del Banco El Coro (CH) fue a 28 días siendo ésta la mejor edad para ver resultados de resistencia. Se utilizó dos pilas por mezcla. En la tabla 39 se muestran todos los datos que se obtuvieron de dimensiones del espécimen, su área, factor de corrección y su esfuerzo máximo final.

Tabla 39. Datos de Esfuerzos máximos en pilas con agregado del Banco El Coro (CH). Fuente: Propia.

Tipo de mortero	No. de mezcla	Mezcla	Altura (cm)	Longitud (cm)	Espesor (cm)	Área (cm ²)	Relación altura espesor	Factor de corrección	Esfuerzo máximo Kg/cm ²	Esfuerzo máximo final Kg/cm ²
I	1CH	C+2.5CH	36.5	23.8	11.9	283.22	3.07	0.92	28.76	26.46
I	1CH	C+2.5CH	36.3	23.6	11.7	276.12	3.10	0.93	28.95	26.95
I	2CH	C+1/4CAL+2.25CH	37.9	23.7	11.8	279.66	3.21	0.96	24.35	23.47
I	2CH	C+1/4CAL+2.25CH	36.1	23.6	12	283.2	3.01	0.90	25.53	23.04
I	3CH	C+1/2M+2.5CH	37.1	23.6	11.7	276.12	3.17	0.95	21.60	20.55
I	3CH	C+1/2M+2.5CH	37.5	23.7	11.6	274.92	3.23	0.97	22.56	21.88
II	4CH	C+1/2CAL+2.75CH	37.7	23.8	11.7	278.46	3.22	0.97	16.47	15.93
II	4CH	C+1/2CAL+2.75CH	37	23.9	11.9	284.41	3.11	0.93	16.58	15.47
II	5CH	C+M+2.25CH	37.5	23.7	11.7	277.29	3.21	0.96	17.39	16.72
II	5CH	C+M+2.25CH	37	23.8	12	285.6	3.08	0.93	16.29	15.07
III	6CH	C+1 1/4CAL+2.25CH	36.7	23.5	11.9	279.65	3.08	0.93	18.24	16.88
III	6CH	C+1 1/4CAL+2.25CH	37.4	23.7	12	284.4	3.12	0.94	19.52	18.25

A continuación, se presenta el gráfico del promedio de resultados de las 6 mezclas utilizadas en las pilas correspondientes al banco El Coro (CH). Gráfico 60.

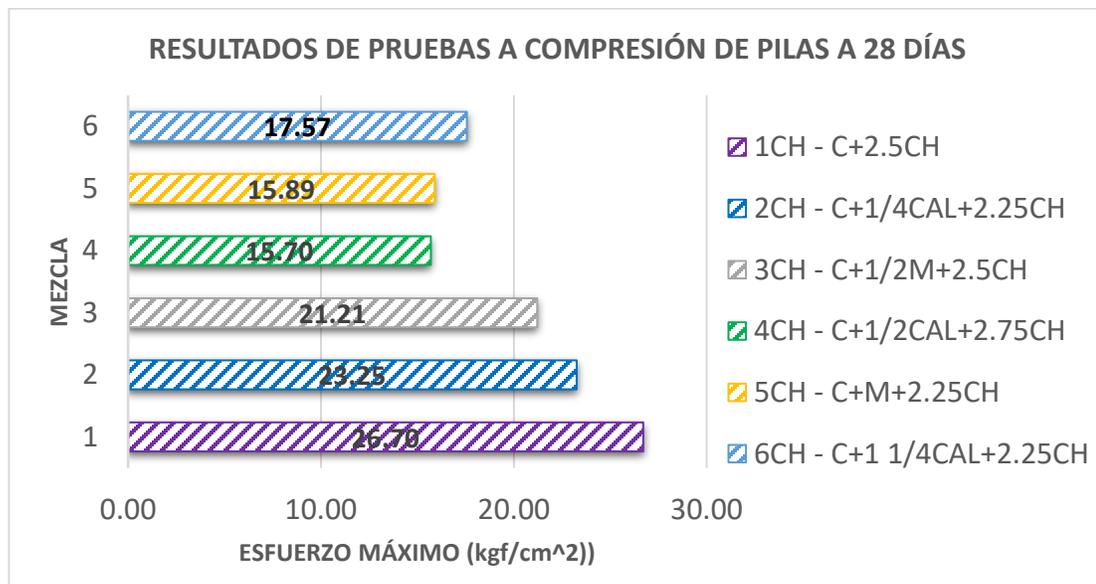


Gráfico 60. Resultados de pruebas a compresión en pilas a edades de 28 días con agregado del Banco El Coro (CH).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Con mayor esfuerzo a compresión se tiene al proporcionamiento que contiene 1 parte de cemento portland y 2.5 partes de arena de río El Coro (CH) y con el resultado más bajo se tiene al proporcionamiento que contienen 1 parte de cemento portland, ½ parte de cal hidratada y 2.75 partes de arena de río El Coro (CH).

Tabla 40. Datos de Esfuerzos máximos en pilas con agregado del Banco Joyitas (J).

Tipo de mortero	No. de mezcla	Mezcla	Altura (cm)	Longitud (cm)	Espesor (cm)	Área (cm ²)	Relación altura espesor	Factor de corrección	Esfuerzo máximo Kg/cm ²	Esfuerzo máximo final Kg/cm ²
I	1J	C+2.25J	37.3	23.5	11.6	272.6	3.22	0.96	21.12	20.37
I	1J	C+2.25J	36.7	23.8	11.9	283.22	3.08	0.93	18.46	17.08
I	2J	C+1/4CAL+2.5J	37.5	23.4	11.8	276.12	3.18	0.95	17.07	16.27
I	2J	C+1/4CAL+2.5J	37.8	24	12.1	290.4	3.12	0.94	17.43	16.33
I	3J	C+1/2M+2.25J	39	23.5	11.7	274.95	3.33	1.00	22.60	22.60
I	3J	C+1/2M+2.25J	38.2	23.5	11.9	279.65	3.21	0.96	21.44	20.65
II	4J	C+1/2CAL+2.25J	37	23.7	11.3	267.81	3.27	0.98	23.74	23.32
II	4J	C+1/2CAL+2.25J	37.7	23.2	11.2	259.84	3.37	1.01	22.35	22.57
II	5J	C+M+2.25J	39.5	23.5	12	282	3.29	0.99	10.93	10.79
II	5J	C+M+2.25J	38.1	23.1	11.5	265.65	3.31	0.99	11.30	11.23
III	6J	C+1 1/4CAL+2.25J	38	23.7	12	284.4	3.17	0.95	25.44	24.17
III	6J	C+1 1/4CAL+2.25J	39	23.3	11.5	267.95	3.39	1.02	28.97	29.48

A continuación, se presenta el gráfico del promedio de resultados de las 6 mezclas utilizadas en las pilas correspondientes al banco Joyitas (J). Gráfico 61.

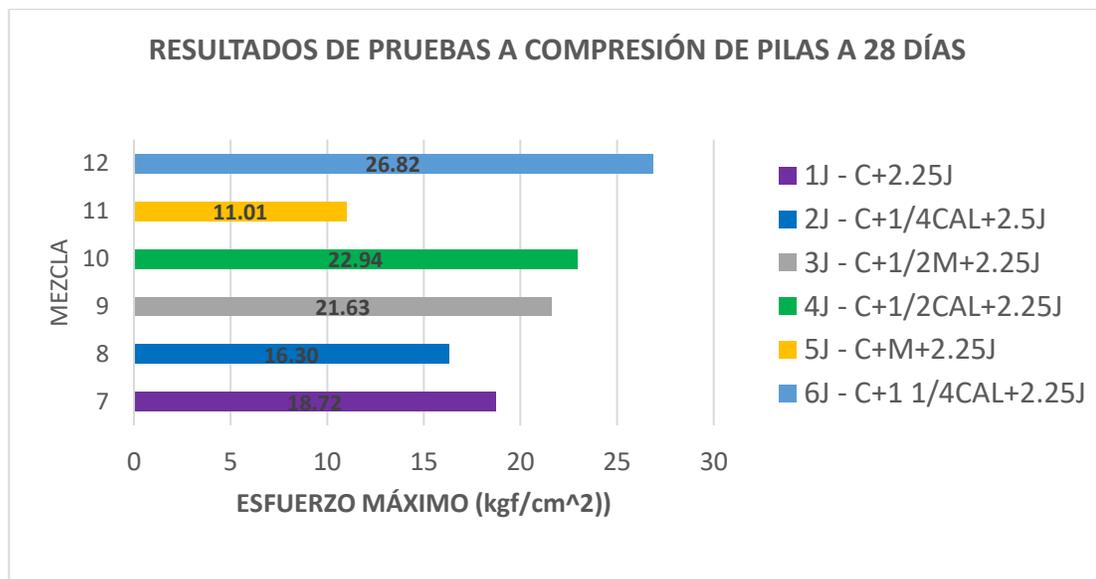


Gráfico 61. Resultados de pruebas a compresión en pilas a edades de 28 días con agregado del banco Joyitas (J).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Con mayor esfuerzo a compresión se tiene al proporcionamiento que contiene 1 parte de cemento portland, 1 $\frac{1}{4}$ partes de cal y 2.25 partes de arena Joyitas (J) y con el resultado más bajo se tiene al proporcionamiento que contienen 1 parte de cemento portland, 1 parte de cemento de albañilería y 2.25 partes de arena Joyitas (J).

4.5.6. RESULTADOS DE ESFUERZO CORTANTE EN MURETES

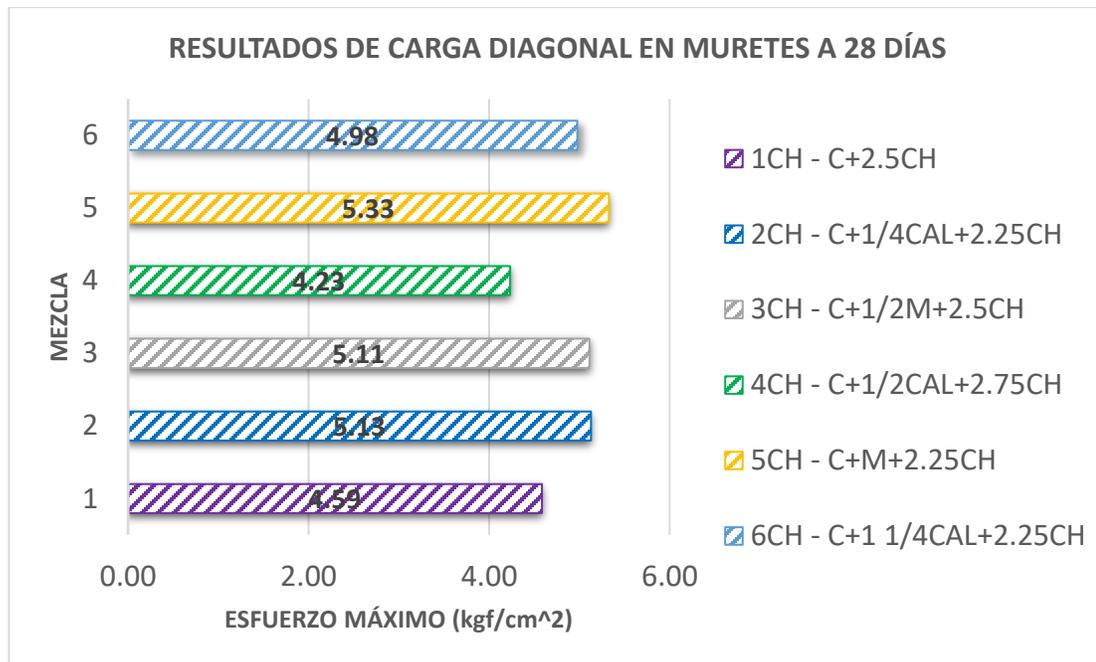


Gráfico 62. Resultados de pruebas a carga diagonal en muretes a edades de 28 días con agregado del Banco El Coro (CH).

Los resultados nos muestran en la gráfica 62 que la mezcla con 1 parte de cemento, 1 parte de cemento de albañilería y 2.25 partes de arena de río El Coro representada como C + M + 2.25CH es la que presenta el esfuerzo máximo y como menor resultado se tiene a la representada como C + $\frac{1}{2}$ CAL + 2.75CH. Tres mezclas sobrepasan los 5 Kgf/cm² mientras las otras tres están sobrepasando sin problema los 4 Kgf/cm².



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Tabla 41. Datos de Esfuerzos máximos en muretes con agregado del Banco El Coro (CH). Fuente: Propia.

Tipo de mortero	Numero de mezcla	Mezcla	Altura (cm)	Longitud (cm)	Espesor (cm)	Diagonal (cm)	Área (D x e) cm ²	Carga máxima Kgf	Esfuerzo máximo Kgf/cm ²
I	1CH	C+2.5CH	36.1	36.2	11.9	51.1	608.09	2777.5	4.57
I	1CH	C+2.5CH	37	35.9	11.8	50.1	591.18	2723.5	4.61
I	2CH	C+1/4CAL+2.25CH	37.5	36	11.7	50.3	588.51	3081.9	5.24
I	2CH	C+1/4CAL+2.25CH	35.9	36	11.7	49.8	582.66	2923.8	5.02
I	3CH	C+1/2M+2.5CH	37.7	36.6	12	50.2	602.4	3206.8	5.32
I	3CH	C+1/2M+2.5CH	37.5	36	11.8	51.8	611.24	2996.4	4.90
II	4CH	C+1/2CAL+2.75CH	37.5	36.8	11.7	51.7	604.89	2557.2	4.23
II	4CH	C+1/2CAL+2.75CH	36.9	36.7	12	50	600	2540.7	4.23
II	5CH	C+M+2.25CH	37.6	36.9	12	51.5	618	3102.1	5.02
II	5CH	C+M+2.25CH	37.7	36.1	11.9	50.5	600.95	3385.5	5.63
III	6CH	C+1 1/4CAL+2.25CH	37.8	35.9	11.8	50.4	594.72	3047.5	5.12
III	6CH	C+1 1/4CAL+2.25CH	37.5	36.7	11.9	51.3	610.47	2948.1	4.83

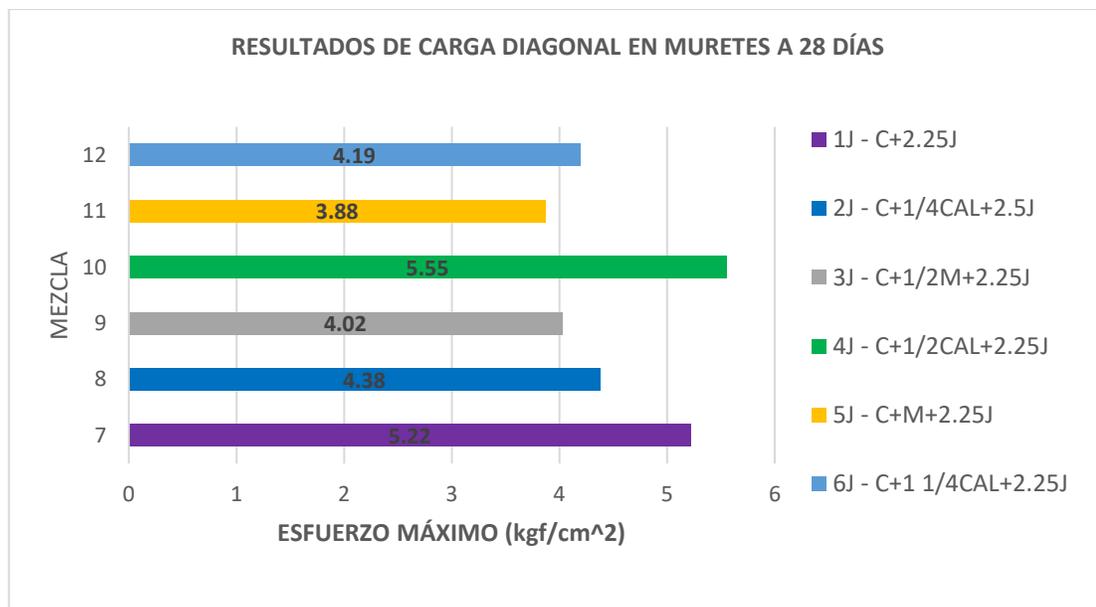


Gráfico 63. Resultados de pruebas a carga diagonal en muretes a edades de 28 días con agregado del banco Joyitas (J).

Los resultados nos muestran en la gráfica 63 que la mezcla con 1 parte de cemento, ½ parte de cal hidratada y 2.25 partes de arena Joyitas (J) representada como C + ½ CAL + 2.25J (4J) es la que presenta el esfuerzo máximo y como menor resultado se tiene a la representada como C + M + 2.25J (5J).



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

Tabla 42. Datos de Esfuerzos máximos en muretes con agregado del río Joyitas (J). Fuente: Propia.

Tipo de mortero	Numero de mezcla	Mezcla	Altura (cm)	Longitud (cm)	Espesor (cm)	Diagonal (cm)	Área (D x e) cm ²	Carga máxima Kgf	Esfuerzo máximo Kgf/cm ²
I	1J	C+2.25J	38.8	36.5	11.7	53	620.1	3107.3	5.01
I	1J	C+2.25J	38	35.9	12	52.2	626.4	3403.1	5.43
I	2J	C+1/4CAL+2.5J	38.2	36.8	11.9	53.8	640.22	2677.1	4.18
I	2J	C+1/4CAL+2.5J	38.5	36.5	12	52.8	633.6	2897.7	4.57
I	3J	C+1/2M+2.25J	37.6	37.1	11.5	52.2	600.3	2628.5	4.38
I	3J	C+1/2M+2.25J	39.1	36.2	11.7	51.5	602.55	2211.7	3.67
II	4J	C+1/2CAL+2.25J	37.7	36.5	11.5	50.9	585.35	3489.3	5.96
II	4J	C+1/2CAL+2.25J	38.8	36.8	11.9	51.3	610.47	3138.3	5.14
II	5J	C+M+2.25J	38.5	36.8	11.7	52.4	613.08	2195.6	3.58
II	5J	C+M+2.25J	38.5	37.1	11.5	52.5	603.75	2516.9	4.17
III	6J	C+1 1/4CAL+2.25J	38.8	36.5	11.5	52	598	2435.2	4.07
III	6J	C+1 1/4CAL+2.25J	40	36.5	12	52.6	631.2	2721.9	4.31

A continuación, se presenta el diagrama de dispersión dónde se relaciona la resistencia a la compresión conseguida en las pilas ensayadas vs el esfuerzo cortante obtenido en muretes, ambos a 28 días y correspondientes a los dos bancos de material Joyitas y El Coro. Gráfico 64.

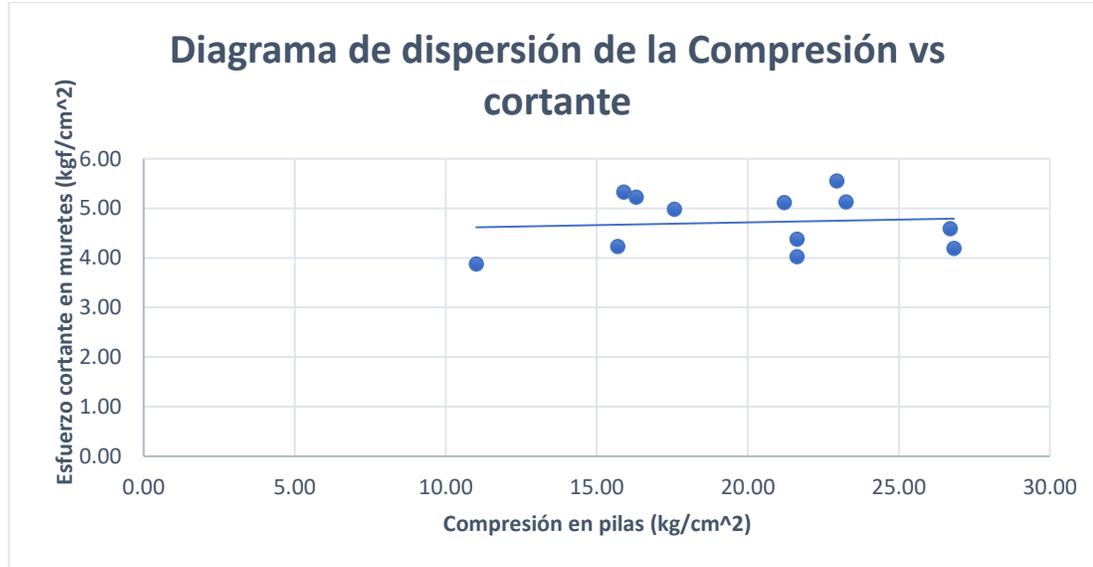


Gráfico 64. Diagrama de dispersión de la resistencia a la compresión en pilas de mampostería vs resistencia cortante en muretes a 28 días correspondiente a los bancos de material Joyitas y El Coro.

Se observa una relación lineal prácticamente nula dónde la mayoría de los datos están dispersos y dónde no se toca la línea de tendencia. Se obtuvo un coeficiente de correlación lineal (ρ) igual a 0.09 que representa una asociación de los datos nula.



5. CONCLUSIONES

La investigación realizada determina que el comportamiento físico-mecánico de morteros con diferente agregado fino, da resultados distintos considerando su proporcionamiento, banco de extracción y características de densidad o absorción. El comportamiento de ambas arenas estudiadas en sus diferentes proporciones, en los ensayos de resistencia a la compresión simple, flexión, tensión y resistividad eléctrica, en ambos casos estuvo constantemente en aumento en las diferentes edades programadas.

Con respecto a lo anterior se obtuvieron resultados muy favorables con los proporcionamientos donde se utilizó arena volcánica Joyitas (J); la arena obtuvo una granulometría buena al estar dentro de los rangos establecidos, presentó una densidad, masa volumétrica seca suelta (MVSS) y masa volumétrica seca varillada (MVSV) mayores que la arena de río El Coro (CH), y por otro parte se obtuvo una absorción menor a la obtenida con El Coro.

Los resultados de resistividad eléctrica para los proporcionamientos con el material de Joyitas (J) siempre fueron en aumento conforme pasaban las edades tempranas y tardías, obteniéndose en general resistividades más altas en las mezclas de morteros tipo I predominando la mezcla $1J - C + 2.25J$ por lo tanto se tiene que este proporcionamiento es el que presenta más baja porosidad, con los menores resultados de resistividad con esta arena y en general se tiene a la mezcla $6J - C + 1 \frac{1}{4} CAL + 2.25J$ que en todas las edades sin excepción fue la que presentó las resistividades más bajas y es la que mayor cantidad de cal hidratada tiene, presentado la más alta porosidad.

Por otro lado, se tienen los resultados de resistividad eléctrica para los proporcionamientos realizados con arena de río El Coro (CH), los cuales a diferencia de los obtenidos con Joyitas (J) presentan en su mayoría un comportamiento interesante donde mezclas de mortero tipo II y III en varias edades representan mayores resultados de resistividad eléctrica a diferencia de los obtenidos en mezclas de mortero tipo I.

En general los resultados obtenidos de resistividad eléctrica para ambos agregados pétreos fueron aumentando conforme las edades avanzaban, se tiene que los resultados obtenidos con arena Joyitas (J) se dan de una manera más lineal que lo obtenido con arena de río El Coro (CH), sin embargo, este último presenta en general los proporcionamientos con la mayor resistividad eléctrica, donde a 180 días la mezcla $1CH - C + 2.5CH$ es la que mejor resistividad presenta.

Para los ensayos de resistencia a la compresión se obtuvieron resultados más altos en los proporcionamientos con arena Joyitas (J) a pesar de que las resistividades más altas se presentaron en las mezclas de El Coro (CH), donde



al igual que en resistividad y como se esperaba la mezcla $1J - C + 2.25J$ obtuvo la compresión más alta y por otra parte la $6J - C + 1 \frac{1}{4} CAL + 2.25J$ la compresión más baja. A la edad de 28 días en todos los proporcionamientos se cumplió con las resistencias a compresión mínimas establecidas por la norma (NMX-C-486-ONNCCE-2014, 2014) a excepción de la mezcla $4CH - C + \frac{1}{2} CAL + 2.75CH$. En la resistencia a la flexión ocurre totalmente lo mismo siendo los proporcionamientos con arena volcánica Joyitas (J) los que tienen un comportamiento más uniforme de resistencia con el incremento de la edad, y repitiéndose que la mezcla $1J - C + 2.25J$ presentó la flexión más alta y la $6J - C + 1 \frac{1}{4} CAL + 2.25J$ la más baja. En el caso de la resistencia a la tracción se obtuvo que a 180 días la mezcla $2CH - C + \frac{1}{4} CAL + 2.25CH$ es la de mejor resistencia y con menor resistencia se tiene a la mezcla $4J - C + \frac{1}{2} CAL + 2.25J$ del banco Joyitas (J).

En los módulos de elasticidad estático obtenidos en los diferentes proporcionamientos de ambas arenas, se obtuvieron los valores más altos, a 180 días, a la mezcla con arena de río El Coro (CH) $1CH - C + 2.5CH$ por lo contrario se obtuvo que la mezcla con arena volcánica Joyitas (J) $3J - C + \frac{1}{2} CAL + 2.25J$ representan los valores más bajos a 180 días. En los ensayos de carga axial en pilas de mampostería a 28 días se obtuvo que la mezcla utilizada $6J - C + 1 \frac{1}{4} CAL + 2.25J$ tiene una mayor resistencia mecánica bajo cargas a compresión que todas las demás, pero con poca diferencia de la mezcla $1CH - C + 2.5CH$. Para el caso de carga diagonal, a esfuerzo cortante, en muretes se obtuvo una mayor resistencia en la mezcla $4J - C + \frac{1}{2} CAL + 2.25J$.

En general de las mezclas de mortero estudiadas con los dos diferentes bancos de material “Joyitas y El Coro” se considera que los proporcionamientos realizados con arena volcánica del Banco “Joyitas” (J) son los que mejor comportamiento físico-mecánico presentaron de una manera más constante y lineal en el transcurso de todas las edades de estudio, aunque estas mezclas presentaron una resistividad eléctrica un poco menor a las de El Coro (CH), presentaron mejores resistencias a compresión y flexión las cuales siempre tuvieron una correlación muy directa con lo obtenido en su resistividad eléctrica donde las mezclas con mayores resistividades obtenían de igual forma la mayor resistencia mecánica. Con base en la experimentación realizada, los agregados del banco de materiales de Joyitas proporcionan a los morteros y a los muretes de mampostería de tabique rojo, de arcilla recocida, presentan un mejor comportamiento mecánico, mayor resistencia, en comparación a la utilización de la arena de río El Coro; sin embargo, el agregado fino de este banco proporciona una mayor durabilidad a los morteros y muretes estudiados.



6. BIBLIOGRAFÍA

- ASTM-C-780. (2002). *Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry (Método Estándar para la evaluación antes y durante la construcción de morteros para mampostería sencilla o reforzada)*. ASTM.
- CEMEX Corporation. (19 de junio de 2019). *CEMEX*. Recuperado el junio de 2022, de Hablando de Cemento Portland: <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland>
- Durán Ramos , A. M. (2021). *Tesis: Diseño de mezclas plásticas aglomerantes y su consideración de proporcionamiento por medio del ensayo de fluidez*. MORELIA: UMSNH.
- Ferreira Cuellar, D., & Torres López, K. M. (2014). *Caracterización física de agregados petreos para concretos caso: Vista Hermosa (Mosquera) y Mina CEMEX (Apulo)*. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA.
- FLEXICON. (2021). *Equipos y sistemas de manejo de materiales a granel*. Obtenido de [https://www.flexicon.es/Materiales-Manejados/Cal-Hidratada.html#:~:text=La%20cal%20hidratada%20\(hidr%C3%B3xido%20de,un%20proceso%20llamado%20%22apagado%22](https://www.flexicon.es/Materiales-Manejados/Cal-Hidratada.html#:~:text=La%20cal%20hidratada%20(hidr%C3%B3xido%20de,un%20proceso%20llamado%20%22apagado%22).
- Furlan , V., & Bissegger, P. (1975). Les mortiers anciens. Histoire et essais d'analyse scientifique. *Revue suisse d'Art et d'Archéologie*, 1-14.
- García Romero, D. (2021). *Evaluación de mezclas de concreto hidráulico con sustituciones de ceniza de bagazo de caña, ceniza de horno y agregado reciclado a edades tardías mediante pruebas de durabilidad*. Morelia: UMSNH.
- Guzmán, D. S. (2001). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO*. Pontificia Universidad Javeriana.
- I.N.V.E-327. (2007). *Resistencia a la tensión de morteros de cemento hidráulico*. Instituto Nacional de Vías .
- IECA. (2017). *IECA*. Obtenido de <https://www.ieca.es/proceso-de-fabricacion/>
- Ignacio Alvarez , J., Martín , A., & García Casado, P. (1995). Historia de los Morteros . *Revista PH*, 52-55 <https://doi.org/10.33349/1995.13.263>.
- Malinowski, R., & Garfinkel , Y. (1991). Prehistory of Concrete. *Concrete International*, 62-68.
- Mateus Ramírez , C. A., & Gelves Peña, D. A. (2020). *Mecánica a compresión en morteros evaluación de resistencia en morteros de cemento con agregados RCD*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

- Mondragón Martínez, S. (2021). *Tesis: Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán*. Morelia: UMSNH. Recuperado el Abril de 2022
- N-CMT-2-01-004. (2002). *Materiales para Mamposterías*. México: SCT.
- N-CMT-2-02-001. (2002). *Características de los materiales - Calidad del Cemento Pórtland*. México: SCT.
- NMX-C-021-ONNCCE. (2015). *Industria de la Construcción - Cemento para Albañilería (Mortero) - Especificaciones y Métodos de Ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C.
- NMX-C-030-ONNCCE. (2004). *Industria de la construcción - Agregados - Muestreo*. México: ONNCCE.
- NMX-C-030-ONNCCE-2004. (2004). *Industria de la construcción - Agregados - Muestreo*. México: ONNCCE.
- NMX-C-057-ONNCCE. (2015). *Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos - Determinación de la consistencia normal*. México: ONNCCE.
- NMX-C-059-ONNCCE. (2017). *Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos - Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (Método Vicat)*. México: ONNCCE.
- NMX-C-061-ONNCCE. (2015). *Industria de la construcción - Cementantes Hidráulicos - Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos*. México: ONNCCE.
- NMX-C-073-ONNCCE. (2014). *Industria de la construcción - Agregados - Masa volumétrica - Método de prueba*. México: ONNCCE.
- NMX-C-077-ONNCCE. (2019). *Industria de la construcción - Agregados para concreto - Análisis granulométrico - Método de prueba*. México: ONNCCE.
- NMX-C-083-ONNCCE-2014. (2014). *INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CONCRETO - DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES - MÉTODO DE ENSAYO*. MÉXICO: ONNCCE.
- NMX-C-085-ONNCCE. (2015). *Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos - Determinación estándar para el mezclado de pastas y morteros de cementantes hidráulicos*. México: ONNCCE.
- NMX-C-109-ONNCCE. (2013). *CABECEO DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS*. México: ONNCCE.
- NMX-C-111-ONNCCE. (2018). *Industria de la Construcción-Agregados para concreto hidráulico-Especificaciones y métodos de ensayo*. MÉXICO: ONNCCE.
- NMX-C-122-ONNCCE. (2004). *Industria de la Construcción-Agua para concreto-Especificaciones*. México: ONNCCE.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”

- NMX-C-128-ONNCCE. (2013). *Industria de la construcción - Concreto sometido a compresión - Determinación del módulo de elasticidad estático y relación de Poisson*. México: ONNCCE.
- NMX-C-144-ONNCCE. (2015). *Industria de la construcción - Cementantes Hidráulicos - Requisitos para el aparato usado en la determinación de la fluidez de morteros*. México: ONNCCE.
- NMX-C-152-ONNCCE. (2015). *INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-CEMENTANTES HIDRÁULICOS - DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD*. México: ONNCCE.
- NMX-C-159-ONNCCE. (2016). *INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CONCRETO - ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECIMENES EN EL LABORATORIO*. México: ONNCCE.
- NMX-C-165-ONNCCE. (2020). *INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN-AGREGADOS PARA CONCRETO- DETERMINACIÓN DE LA REACTIVIDAD POTENCIAL*. MÉXICO: ONNCCE.
- NMX-C-170-ONNCCE. (2019). *Industria de la construcción - Agregados - Reducción de la muestras de agregados obtenidas en el campo al tamaño requerido para las pruebas*. México: ONNCCE.
- NMX-C-486-ONNCCE-2014. (2014). *Industria de la Construcción - Mampostería - Mortero para uso estructural - Especificaciones y Métodos de Ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C.
- NMX-C-514-ONNCCE-2019. (2019). *Industria de la Construcción - Resistividad Eléctrica del Concreto Hidráulico - Especificaciones y Métodos de Ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C.
- NMX-C-529-ONNCCE-2017. (2017). *INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - MAMPOSTERÍA - MORTERO PARA USO NO ESTRUCTURAL - ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE ENSAYO*. MÉXICO: ONNCCE.
- Salamanca Correa, R. (2001). La tecnología de los morteros. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 41- 42. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101107>.
- SanJuan Barbudo, M. Á., & Chinchón Yepes, S. (2014). *Introducción a la fabricación y Normalización del Cemento Portland*. San Vicente de Raspeig : Universidad de Alicante .
- Soriano, J. (1996). El cemento Portland . En J. Soriano, *En Degradación y conservación del patrimonio arquitectónico: [Cursos de verano de El Escorial de la Universidad Complutense de Madrid, 1994]*. Madrid: Carillo.
- UNE-EN-196-1. (2005). *Métodos de ensayo de cementos*. Madrid: AENOR.
- Vidaud, E. (2013). *De la historia del cemento. Construcción y tecnología en concreto*. IMCYC.
- Villegas Martínez, C. A. (2012). *Utilización de puzolanas naturales en la elaboración de prefabricados con base cementicia destinados a la construcción de viviendas de bajo costo*. Lima: Universidad Nacional.



“Comportamiento físico-mecánico de morteros elaborados con pétreos de dos bancos del estado de Michoacán”