



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE  
HIDALGO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**Caracterización físico-mecánica de mortero de uso  
estructural con agregado pétreo del Estado de  
Michoacán.**

Tesis para obtener el

**Título de Ingeniero Civil**

Presenta

**Saúl Mondragón Martínez**

Directora de tesis:

**M.I.T Cindy Lara Gómez**

Codirector interno:

**Dr. Mauricio Arreola Sánchez**

Codirector externo:

**Dr. Gabriel Castañeda Nolasco**

Morelia, Michoacán, Octubre de 2021





## Resumen.

En el presente estudio se muestran los resultados correspondientes a la caracterización físico-mecánica de morteros de uso estructural, elaborados con distintos agregados finos del Estado de Michoacán, la arena de río Huajúbaro (R), la arena negra del banco de materiales “Joyitas” (J) y de la arena de río del banco de materiales “El Coro” (H), esto con el fin de analizar su comportamiento y poder compararlo. Se elaboraron 48 proporcionamientos distintos en los que la principal variable fue la cantidad de arena, esto de acuerdo a los proporcionamientos recomendado por la NMX-C-486-ONNCCE-2014 y la N-CMT-2-01-004/02. Para la elaboración de los morteros, se realizó la caracterización de los agregados finos para conocer sus principales propiedades como la densidad, las masas volumétricas secas y sueltas, masas volumétricas secas y varilladas, la absorción y el análisis granulométrico. De los cementantes se obtuvieron sus propiedades como la consistencia normal, el tiempo de fraguado del cemento Portland y la densidad. Para saber si el agua a utilizar cumplía con los estándares, se cuenta con un estudio que se realizó a la toma de agua del laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la UMSNH, la cual fue tomada directamente de las llaves del laboratorio, esto para que el estudio se apegara lo más posible a lo que se desarrolla en la práctica. A las mezclas de mortero en estado endurecido se realizaron pruebas de resistividad eléctrica y compresión simple a la edad de 28 días y se analizó la posible correlación entre estos estudios. En el presente trabajo se incluyen los resultados de las pruebas físico-mecánicas de las cuales se determinó que el agregado que presentó mejores resultados en sus diferentes proporciones fueron los elaborados con la arena de río del banco de materiales “El Coro” (H) con una proporción correspondiente a 2.5 partes de arena en volumen medidas en estado seco y suelto, ya que si bien no fue la que presentó la resistencia a la compresión simple más alta, en la mayoría de las mezclas de mortero supero el mínimo establecido por la normativa vigente para morteros de uso estructural y en los resultados de resistividad eléctrica presentó mejores resultados que los morteros elaborados con la arena negra (J) y la arena de río (R).

**Palabras clave:** Resistencia, compresión, resistividad, mortero.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



### Abstract.

The present study shows the results about the physic-mechanical characterization of mortars for structural use, mortars made with different fine aggregates from the State of Michoacán, sand from Huajúmbaro river (R), black sand from the material bank “Joyitas” (J) and the river sand from the material bank “El Coro” (H), this in order to analyze its behavior and be able to compare it. 48 different proportions were elaborated in which the main variable was the amount of sand, according to proportions recommended by the NMX-C-486-ONNCCE-2014 and the N-CMT-2-01-004/02. For the elaboration of mortars, the characterization of the fine aggregates was carried out to know their main properties as density, dry and loose volumetric mass, dry and rodded volumetric mass, absorption and granulometric analysis. Properties as normal consistency, Portland cement setting time and density were obtained from the cementitious materials. To find out the water met the standards, a study was reviewed on the water from the materials laboratory “Ing. Luis Silva Ruelas” from the UMSNH, the water was taken directly from the laboratory faucets, so that the study would adhere as closely as possible to that is developed in practice. Electrical resistivity and simple compression tests were carried out on the mortar in the hardened state at the age of 28 days and a possible correlation between these studies was analyzed. The present investigation includes the results of the physical-mechanical tests from which it was determined that aggregate presented the best results in its different proportions were those made with river sand from the bank of materials “El Coro” (H) with a proportion corresponding to 2.5 parts of sand in volume measured in dry and loose condition, although it was not the one that presented the most resistance to simple compression, in most mortar mixtures it exceeded the minimum established by current regulations for structural use mortars and about electrical resistivity results, it developed better results than mortars made with other fine aggregates.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



### Dedicatoria.

Cada logro se lo dedico a mis queridos padres, Ángel Mondragón Guerrero y Graciela Martínez Sánchez, por darme su apoyo incondicional, motivarme e inspirarme día a día con su ejemplo de constancia y dedicación, que sepan que todo su esfuerzo por brindarme todo lo necesario para llegar hasta aquí ha valido la pena. ¡Los amo!

A mi abuelito Berna, porque sin su apoyo, su carisma para ayudarme y sus consejos no lo hubiera logrado, gracias por todo abuelito.

A mi abuelita Petra que me hubiera gustado que me viera llegar a esta y otras metas que siempre platicábamos, sé que desde el cielo me acompaña hoy y siempre, gracias por enseñarme que con cariño y dedicación todo florece.



## Agradecimientos

A mis padres que, sin su esfuerzo para brindarme las herramientas necesarias a lo largo de mi vida, sacar adelante mis estudios no habría sido posible.

A mi hermano, Ricardo Mondragón Martínez, que ha sido mi compañero de vida y me ha impulsado en cada paso que doy en mi vida, gracias por todo hermanito.

A María Michelle Berriel Ortiz, por apoyarme en los momentos más difíciles, por siempre tener las palabras para motivarme e impulsarme a ser mejor y por brindarme su amor y su apoyo incondicional.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y a la Facultad de Ingeniería Civil, que poco a poco se fue convirtiendo en mi segunda casa, a cada profesor que me brindo sus conocimientos para formarme como ingeniero.

A mi asesora, la M.I.T Cindy Lara Gómez, por brindarme su apoyo, tiempo y sus conocimientos para enriquecer este trabajo de investigación.

Al laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” por brindarme lo necesario para desarrollar mi proyecto.

A mis compañeros de carrera, Giovanni León Zaragoza por ser el mejor amigo que se puede tener y siempre apoyarme a lo largo de estos 5 años, a Mariana Gabriela Pérez Orozco por siempre ser parte de nuestro equipo y juntos sacar los proyectos adelante y a Ana Miriam Duran Ramos por ser uno de los pilares de este proyecto y siempre dar más del 100%, a el Ing. Tonatiuh Moreno Martínez, por siempre ser una mano amiga y brindarme su apoyo en la realización de este proyecto.

A la Arq. Diana Karen Tapia Figueroa y a Laura Araceli Linares Vieyra, por siempre escucharme y tenderme una mano cuando la necesito.

A los estudiantes que prestaban su servicio social en el laboratorio y a los ingenieros que nutrieron este trabajo: Sandra del Carmen, Wilfrido Martínez, Jorge Pacheco, Noel Díaz, Cipriano Bernabé y a todos los que aportaron de alguna manera a el presente trabajo.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



### Objetivo general.

Realizar la caracterización físico-mecánica de distintas proporciones de agregado fino para morteros de uso estructural, elaborados con diferentes agregados del estado de Michoacán, de acuerdo a la normativa vigente.

### Objetivos específicos.

- Conocer el comportamiento físico-mecánico de morteros para uso estructural de acuerdo a la normativa vigente.
- Comparar las propiedades del agregado fino proveniente de distintos bancos del Estado de Michoacán.
- Evaluar el comportamiento de los distintos agregados en los ensayos de resistividad eléctrica y compresión simple.
- Definir el mejor proporcionamiento para obtener un comportamiento físico-mecánico óptimo de acuerdo a la normativa vigente.



## Índice

Resumen.	i
Abstract.	ii
Dedicatoria.	iii
Agradecimientos	iv
Objetivo general.	v
Objetivos específicos.	v
Índice de tablas	x
Índice de ilustraciones	xi
1. Introducción.	1
2. Marco teórico, conceptual y referencial.	2
2.1. Definiciones.	2
2.2. El mortero.	5
2.2.1. Antecedentes.	5
2.2.2. Materiales que forman al mortero	6
2.2.2.1. Cemento Portland.	7
2.2.2.1.1. Antecedentes del Cemento Portland.	7
2.2.2.1.2. Proceso de producción del cemento Portland.	8
2.2.2.2. Agregado fino (Arena).	9
2.2.2.3. Agua.	10
2.2.2.4. Cal hidratada.	10
2.2.2.5. Cemento de albañilería.	11



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



2.2.3.	Clasificación del mortero.	11
2.2.4.	Aplicaciones.	12
2.2.5.	Problemas en los morteros.	13
2.2.6.	Normativa.	13
3.	Desarrollo experimental.	15
3.1.	Caracterización.	15
3.1.1.	Caracterización de agregados pétreos.	16
3.1.1.1.	Arena Río Huajúmbaro (R).	17
3.1.1.2.	Arena volcánica de Banco Joyitas (J).	19
3.1.1.3.	Arena de río, Banco El Coro (H).	20
3.1.1.4.	Muestreo.	21
3.1.1.5.	Reducción de la muestra de agregados al tamaño requerido de prueba.	22
3.1.1.6.	Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino.	26
3.1.1.7.	Método de prueba para la determinación de la masa volumétrica de los agregados.	30
3.1.1.8.	Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados.	34
3.1.2.	Cementantes hidráulicos.	38
3.1.2.1.	Cemento Portland.	38
3.1.2.1.1.	Determinación de la consistencia normal.	38
3.1.2.1.2.	Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (Método de Vicat).	41
3.1.2.1.3.	Determinación de la densidad.	44
3.1.2.2.	Cal hidratada.	47





## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



3.1.2.2.1.	Densidad en la cal hidratada.	47
3.1.2.2.2.	Masa volumétrica seca y suelta de la cal hidratada.	49
3.1.2.2.3.	Cemento de albañilería.	50
3.1.2.2.3.1.	Masa volumétrica seca y suelta del cemento de albañilería.	50
3.1.3.	Agua.	51
3.2.	Diseño del mortero.	51
3.2.1.	Proporcionamiento por partes en volumen.	51
3.2.2.	Ensayo de fluidez.	52
3.2.3.	Moldeado de especímenes cúbicos de 5 cm de arista.	55
3.3.	Ensayos a especímenes.	57
3.3.1.	Ensayos no destructivos.	57
3.3.1.1.	Resistividad eléctrica.	57
3.3.2.	Ensayos destructivos.	62
3.3.2.1.	Resistencia a la compresión simple.	62
3.3.3.	Correlaciones entre resistividad eléctrica y compresión simple.	64
4.	Resultados y discusiones.	65
4.1.	Caracterización.	65
4.1.1.	Caracterización de agregados pétreos.	65
4.1.1.1.	Arena Río Huajúbaro (R).	65
4.1.1.2.	Arena volcánica de Banco Joyitas (J).	66
4.1.1.3.	Arena de río, Banco El Coro (H).	66
4.1.1.4.	Muestreo.	67
4.1.1.5.	Reducción de la muestra de agregados al tamaño requerido de prueba.	67



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



4.1.1.6	Determinación de la densidad relativa y absorción de agua de agregado fino.	68
4.1.1.7	Método de prueba para la determinación de la masa volumétrica de los agregados.	69
4.1.1.8	Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados.	71
4.1.2	Cementantes hidráulicos.	75
4.1.2.1	Cemento Portland.	75
4.1.2.1.1	Determinación de la consistencia normal.	75
4.1.2.1.2	Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (Método de Vicat).	75
4.1.2.1.3	Determinación de la densidad.	76
4.1.2.2	Cal hidratada.	77
4.1.2.2.1	Densidad de la cal hidratada.	77
4.1.2.2.2	Masa volumétrica seca y suelta de la cal hidratada.	77
4.1.2.3	Cemento de albañilería.	77
4.1.2.3.1	Masa volumétrica seca y suelta del cemento de albañilería.	77
4.1.3	Agua.	78
4.2	Diseño del mortero.	80
4.2.1	Proporcionamiento por partes en volumen.	80
4.2.2	Ensayo de fluidez.	82
4.2.3	Elaboración de especímenes.	88
4.3	Ensayos a especímenes.	88
4.3.1	Ensayos no destructivos.	88
4.3.1.1	Resistividad eléctrica.	88



# Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



4.3.2	Ensayos destructivos.	95
4.3.2.1	Resistencia a la compresión simple.	95
4.3.3	Correlaciones entre resistividad eléctrica y compresión simple.	102
5.	Conclusiones.	105
6.	Referencias.	109

## Índice de tablas

<i>Tabla 1. Clasificación de morteros según su resistencia a la compresión.</i>	12
<i>Tabla 2. Comparación de normas y reglamentos referentes a morteros para uso estructural. Fuente: Propia. S. Mondragón.</i>	14
<i>Tabla 3. Ensayos, normativas y características obtenidas del agregado pétreo.</i>	16
<i>Tabla 4. Ecuación para calcular el valor de la densidad del agregado fino.</i>	29
<i>Tabla 5. Cálculos para obtener la MVSS y MVSV.</i>	34
<i>Tabla 6. Cálculos para obtener los resultados de granulometría.</i>	37
<i>Tabla 7. Ensayo, normativa y característica obtenida del cemento hidráulico.</i>	38
<i>Tabla 8. Cálculo de la densidad.</i>	47
<i>Tabla 9. Proporcionamientos sugeridos en la N-CMT-2-01-004/02.</i>	51
<i>Tabla 10. Proporcionamiento sugerido en la NMX-C-486-2014.</i>	52
<i>Tabla 11. Cálculo para obtener la resistividad.</i>	59
<i>Tabla 12. Cálculo para obtener la resistencia a la compresión simple.</i>	63
<i>Tabla 13. Resultados de caracterización de la arena del río Huajúbaro. (R)</i>	65
<i>Tabla 14. Resultados de caracterización a la Arena negra (J)</i>	66
<i>Tabla 15. Resultados de la caracterización a la arena de río del banco de materiales "El Coro"</i>	66
<i>Tabla 16. Reducción de la muestra de agregados al tamaño requerido de prueba, ensayos, métodos de reducción y cantidad de material.</i>	68



# Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



Tabla 17. Resultados del ensayo de densidad relativa realizado a los agregados finos. ....	68
Tabla 18. Resultados del ensayo de absorción realizado a los agregados finos. ....	69
Tabla 19. Resultados del ensayo de MVSS realizado a los agregados finos. ....	70
Tabla 20. Resultados del ensayo de MVSV realizado a los agregados finos. ....	70
Tabla 21. Análisis granulométrico realizado a la arena (R). ....	71
Tabla 22. Análisis granulométrico realizado a la arena (J). ....	72
Tabla 23. Análisis granulométrico realizado a la arena (H). ....	73
Tabla 24. Resultados del ensayo de determinación de la consistencia normal. ....	75
Tabla 25. Resultados del ensayo de determinación de tiempo de fraguado por el método de Vicat. ....	76
Tabla 26. Especificaciones que debe cumplir respecto a los tiempos de fraguado inicial y final. ....	76
Tabla 27. Resultado del ensayo de densidad realizado al cemento Portland. ....	76
Tabla 28. Resultado promedio del ensayo de densidad realizado a la cal hidratada. ....	77
Tabla 29. Resultado promedio del ensayo de masa volumétrica seca y suelta de la cal hidratada. ....	77
Tabla 30. Resultado promedio del ensayo de masa volumétrica seca y suelta del cemento de albañilería. ....	78
Tabla 31. Resultados de laboratorio realizados al agua utilizada en la elaboración de los morteros. ....	78
Tabla 32. Diseño de mezclas de mortero; Proporcionamiento por partes en volumen. Fuente; Propia ....	80
Tabla 33. Proporcionamientos utilizados en la elaboración de los morteros con la arena de río Huajúbaro (R). ....	82
Tabla 34. Proporcionamientos utilizados en la elaboración de los morteros con la arena negra (J). ....	84
Tabla 35. Proporcionamientos utilizados en la elaboración de los morteros con la arena de río (H). ....	86
Tabla 36. Coeficiente de variación de resistividad eléctrica en función de la temperatura. ....	95
Tabla 37. Comparación de resistividad eléctrica con resistencia a compresión simple ....	103
Tabla 38. Observaciones del comportamiento de las mezclas con los diferentes proporcionamientos. ....	105

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Proceso de Fabricación de Cemento. Fuente: Holcim México. ....	9
-------------------------------------------------------------------------------	---



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



<i>Ilustración 2. Agregado fino proveniente del banco de materiales "Joyitas" Fuente: Propia.....</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 3. Ubicación de río Huajúmbaro. Fuente: Google Earth .....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 4. Extracción de la arena de río. Fuente: Propia .....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 5. Secado de la arena de río en el patio del laboratorio Fuente: Propia .....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 6. Proceso final de secado de la denominada arena dorada (R). Fuente: Propia.....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 7. Ubicación de banco de material "Joyitas". Fuente: Google Earth.....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 8. Arena negra (J) en proceso de secado en el patio del laboratorio de materiales. Fuente: Propia .....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 9. Ubicación de banco de materiales "El Coro". Fuente: Google Earth.....</i>	<i>20</i>
<i>Ilustración 10. Arena blanca (H) mientras se secaba en el patio del laboratorio de materiales. Fuente: Propia .....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 11. Muestreo en el banco "El Cuervo". Fuente: Propia .....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 12. Cuarteador instalado para realizar el ensayo. Fuente: Propia.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 13. Proceso de cuarteo. Fuente: Propia .....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 14. Aplanado de la parte superior del cono formado con el material. Fuente: Propia .....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 15. Trazado de líneas para dividir el material. Fuente: Propia .....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 16. 4 partes de las cuales dos deberán ser descartadas. Fuente: Propia .....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 17. Arena (R) saturada en proceso de eliminación de exceso de agua. Fuente: Propia .....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 18. Apisonadas en el molde tronco cónico. Fuente: Propia .....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 19. Al retirar el molde, se puede apreciar como la arena se disgrega. Fuente: Propia .....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 20. Registro del Mi. Fuente: Propia .....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 21. Se llenó el frasco con la arena en condición saturada y superficialmente seca. Fuente: Propia .....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 22. Se registra el peso del frasco más el agua y más la arena. Fuente: Propia .....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 23. Arena en condición saturada y superficialmente seca Fuente: Propia.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 24. La arena aún contiene agua puesto que se empañó el cristal. Fuente: Propia .....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 25. Se registra la masa final de la arena y se registra como Ms. Fuente: Propia.....</i>	<i>29</i>



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



<i>Ilustración 26. Cuarteo de la arena por el método manual. Fuente: Propia .....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 27. Llenado del recipiente con masa y volumen conocidos. Fuente: Propia.....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 28. Se enrasó el recipiente con ayuda de la varilla punta de bala. Fuente: Propia .....</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 29. Se seleccionaron dos esquinas opuestas para llenar el recipiente. Fuente: Propia .....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 30. Entre cada capa se dio un total de 25 varilladas distribuidas uniformemente. Fuente: Propia .....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 31. Enrasado con ayuda de la varilla punta de bala. Fuente: Propia.....</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 32. Muestra representativa para hacer el análisis granulométrico. Fuente: Propia.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 33. Cribas ordenadas para utilizar el agitador mecánico. Fuente: Propia.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 34. Agitador de tamices con el juego de mallas cribando la arena. Fuente: Propia.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 35. Limpieza de las cribas con ayuda del cepillo para evitar la pérdida de partículas. Fuente: Propia.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 36. Proceso de pesado de material retenido en la charola. Fuente: Propia.....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 37. Distribución de partículas según lo retenido en los distintos tamices. Fuente: Propia.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 38. La muestra representativa fue resguardada. Fuente: Propia .....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 39. Cráter formado con cemento siendo hidratado. Fuente: Propia .....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 40. Inicio de amasado de la pasta. Fuente: Propia .....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 41. Lanzado de la pasta de una mano a otra. Fuente: Propia.....</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 42. Pasta en el molde siendo enrasada. Fuente: Propia.....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 43. Colocación de la pasta en el aparato de Vicat. Fuente: Propia .....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 44. Penetración de la aguja a los 30 segundos de ser soltada. Fuente: Propia .....</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 45. Se preparó la mezcla del mismo modo que para el ensayo de consistencia normal. Fuente: Propia.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 46. Amasado y colocación en el molde. Fuente: Propia.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 47. Pasta colocada en el cuarto húmedo. Fuente: Propia.....</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 48. Medición al momento del fraguado inicial. Fuente: Propia.....</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 49. Medición al momento de fraguado final. Fuente: Propia.....</i>	<i>44</i>



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



<i>Ilustración 50. Llenado de petróleo entre las marcas de 0 y 1 ml. Fuente: Propia .....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 51. Estabilización de la temperatura. Fuente: Propia .....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 52. Introducción del cemento con ayuda del embudo. Fuente: Propia.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 53. Extracción del aire atrapado entre el cemento. Fuente: Propia.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 54. Toma del valor en la parte inferior del menisco. Fuente: Propia.....</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 55. Lectura inicial al introducir el petróleo. Fuente: Propia .....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 56. Se introduce la cal con ayuda del embudo. Fuente: Propia .....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 57. Lectura final al ya haber introducido la cal. Fuente: Propia .....</i>	<i>49</i>
<i>Ilustración 58. Registro de la masa M. Fuente: Propia .....</i>	<i>50</i>
<i>Ilustración 59. Mezclado mecánico del mortero. Fuente: Propia.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 60. Apisonado en el molde sobre la mesa de fluidez. Fuente: Propia .....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 61. Enrasado del molde. Fuente: Propia .....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 62. Mortero previo a los 25 golpes con la mesa de fluidez. Fuente: Propia.....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 63. Medición del diámetro extendido de la mezcla de mortero. Fuente: Propia .....</i>	<i>54</i>
<i>Ilustración 64. Apisonado de especímenes cúbicos. Fuente: Propia .....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 65. Fraguado de especímenes. Fuente: Propia.....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 66. Orden en el que se deben dar las apisonadas entre capas. Fuente: NMX-C-061-ONNCCE-2015 .....</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 67. Montado del resistómetro. Fuente: Propia .....</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 68. Ensayo de resistividad eléctrica. Fuente: Propia .....</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 69. Inverso de la temperatura (°K) contra logaritmo natural de la resistividad a la temperatura que fue medida. Fuente: Propia.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 70. Procedimiento a seguir para obtener la resistividad eléctrica corregida. Fuente: Propia .....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 71. Gráfico donde se obtiene el valor a. Fuente: Propia.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 72. Coeficiente de variación y valores de la resistividad después de ser corregidos por el efecto de la temperatura. Fuente: Propia.....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 73. Colocación del espécimen en la prensa hidráulica. Fuente: Propia .....</i>	<i>63</i>



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



<i>Ilustración 74. Aplicación de la carga constante al espécimen. Fuente: Propia .....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 75. Falla presentada una vez alcanzada la carga máxima. Fuente: Propia.....</i>	<i>63</i>
<i>Ilustración 76. Arena de río Huajúmbaro (R). Fuente: Propia.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 77. Arena negra (J). Fuente: Propia.....</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 78. Arena de río (H). Fuente: Propia.....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 79. Resultado del análisis granulométrico de la arena de río Huajúmbaro. Fuente: Propia.....</i>	<i>72</i>
<i>Ilustración 80. Resultado del análisis granulométrico de la arena negra del banco de materiales Joyitas. (J) Fuente: Propia .....</i>	<i>73</i>
<i>Ilustración 81. Resultado del análisis granulométrico de la arena de río del banco de materiales "El Coro". Fuente: Propia .....</i>	<i>74</i>
<i>Ilustración 82. Resistividad eléctrica para morteros elaborados con 1 parte de cemento y 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia .....</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 83. Resistividad eléctrica para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1/4 parte de cal hidratada y 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia .....</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 84. Resistividad eléctrica para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1/2 parte de cemento de albañilería y 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia .....</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 85. Resistividad eléctrica para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1/2 parte de cal hidratada y 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia .....</i>	<i>92</i>
<i>Ilustración 86. Resistividad eléctrica para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1 parte de cemento de albañilería y 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia .....</i>	<i>93</i>
<i>Ilustración 87. Resistividad eléctrica para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1.25 partes de cal hidratada y 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia .....</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 88. Resistencia a la compresión simple a 28 días para morteros elaborados con 1 parte de cemento y de 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia .....</i>	<i>96</i>
<i>Ilustración 89. Resistencia a la compresión simple a 28 días para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1/4 parte de cal hidratada y de 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia .....</i>	<i>97</i>
<i>Ilustración 90. Resistencia a la compresión simple a 28 días para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1/2 parte de cemento de albañilería y de 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia .....</i>	<i>98</i>





## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



*Ilustración 91. Resistencia a la compresión simple a 28 días para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1/2 parte de cal hidratada y de 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia ..... 99*

*Ilustración 92. Resistencia a la compresión simple a 28 días para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1 parte de cemento de albañilería y de 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia ..... 100*

*Ilustración 93. Resistencia a la compresión simple a 28 días para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1 1/4 partes de cal hidratada y de 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia..... 101*



## **1. Introducción.**

El mortero ha sido uno de los principales materiales utilizados en la construcción, el cual fue utilizado para la construcción de muros, cimentaciones, pavimentos y entre otros hasta la aparición del cemento Portland. Aunque el termino mortero era utilizado para el recipiente en el que se realizaba una mezcla de una pasta de cal con arena, este término fue adoptado para la propia mezcla, siendo utilizado hasta la actualidad para la pega de piezas y acabados.

En los años recientes las normas respecto a los índices de calidad que deben de cumplir los materiales en la construcción se han estado actualizando constantemente, esto con distintos motivos, uno de los principales es el estructural, ya que cada vez se requiere tener mayor certeza y control para que las obras se desempeñen de una manera óptima.

La presente investigación se refiere a el diseño de las mezclas de mortero y como influyen en sus características físico-mecánicas las diferentes proporciones de agregado fino y, la procedencia de este mismo, ya que se utilizarán agregados pétreos de diferentes bancos de material ubicados en el Estado de Michoacán. Para el desarrollo del presente trabajo, en el capítulo 2 se desarrolló un marco teórico en el cual se incluyen definiciones y antecedentes de los materiales que componen un mortero para poner en contexto de la situación actual en cuanto a los materiales y las normas vigentes actuales donde se dan las especificaciones que deben cumplir, así como la normativa con que deben cumplir los morteros para uso estructural y una comparación de las mismas. Después, en el capítulo 3 se explica el desarrollo experimental que se llevó a cabo en esta investigación, en el cual se detallan las pruebas para caracterizar el agregado fino, los cementantes y los ensayos a los especímenes elaborados con ellos. En el capítulo 4 se presentan los resultados de los ensayos físico-mecánicos, para poder determinar que proporcionamiento y mezcla tuvieron un mejor desempeño, así como un apartado para determinar si existe o no una correlación entre estos. Por último, se cuenta con una serie de observaciones respecto a los proporcionamientos y su trabajabilidad al momento de su elaboración y el colado de los especímenes.



## 2. Marco teórico, conceptual y referencial.

### 2.1. Definiciones.

#### **Mortero.**

Se denomina mortero a aquella pasta formada por la combinación de materiales cementantes, agregados y aditivos, que mezclados con una cantidad conveniente de agua dan lugar a una masa plástica. Es uno de los elementos de uso más común en la construcción debido a su gran versatilidad. (S. G. V. et al., 2016)

Hay una gran variedad de morteros que se diferencian de acuerdo a su uso y/o composición; algunos pueden ser utilizados como recubrimiento (no estructural), otros se usan para la pega de piezas de mampostería (estructurales). Una mezcla común para elaborar un mortero es la que se realiza a base de cemento, arena y agua.

#### **Agregado pétreo.**

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 cemento permiten la elaboración de morteros. (NMX-C-486-ONNCCE, 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)

#### **Cemento.**

El cemento es el material de construcción más utilizado en el mundo, ya que este se utiliza en las mezclas de los concretos y de los morteros proporcionando a los agregados la capacidad de poder aglomerarse sin disgregarse y, en su estado endurecido se convierte en un material sumamente resistente. Para su fabricación se tritura y calcina una mezcla de



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



pedra caliza, arcilla y minerales, formando el “Clinker” que al triturarlo en un molino de bolas y adicionarle yeso, y que al estar en contacto con agua le brinda la capacidad de fraguar.

### **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).

### **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. A criterio del productor pueden incorporarse, además, como auxiliares de la molienda o para impartir determinadas propiedades al mortero, otros materiales en proporción tal que no sea nocivos para el comportamiento posterior del producto.

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

### **Caracterización.**

En este estudio, definimos caracterización, como el proceso que mediante el cual se realizan ensayos de campo o de laboratorio para obtener las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que conforman las mezclas de mortero en estudio, ya sea el agregado pétreo, el cemento, el agua u otros cementantes como la cal o el cemento de albañilería.

### **Diseño del mortero.**

Es el cálculo de las cantidades de materiales por unidad de volumen que se requieren para fabricar un mortero que tenga las características especificadas. (NMX-C-486-ONNCCE, 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)

### **Caracterización físico-mecánica.**

La caracterización físico-mecánica es el proceso o procesos de ensayos donde se obtienen las propiedades de las mezclas de mortero, entre estas propiedades se incluyen la resistencia a la compresión simple y la resistividad eléctrica.

### **Resistencia a la compresión.**

Es la capacidad de esfuerzo a compresión por unidad de área del mortero, determinada en ensayos de especímenes cúbicos o cilíndricos elaborados, curados y probados en las condiciones estándar especificadas, expresada en MPa ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ). (NMX-C-486-ONNCCE, 2014)

### **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. (NMX-C-514-ONNCCE, 2019)

### **Corrección de la medida de resistividad por efecto de la temperatura.**

Procedimiento de cálculo mediante el cual se ajustan los resultados de la resistividad eléctrica para llevarlos y ajustarlos a la temperatura normada en la NMX-C-514-ONNCCE-2019 que es de 23 °C

### **Resistencia eléctrica del concreto.**

Es la relación entre la diferencia de potencial (E) entre los electrodos y la intensidad de corriente (I) que circula por el interior del espécimen o elemento de concreto. (NMX-C-514-ONNCCE, 2019)



### **Resistividad eléctrica aparente.**

Es la resistividad medida sobre el concreto no saturado con agua. (NMX-C-514-ONNCCE, 2019)

### **Resistividad eléctrica real.**

Es la resistividad medida sobre el concreto saturado con agua. (NMX-C-514-ONNCCE, 2019)

## **2.2. El mortero.**

### **2.2.1. Antecedentes.**

El surgimiento de los morteros data de varios años. El aglomerante más utilizado fue la cal, que experimentó un importante desarrollo en el Imperio Romano, ya en esa época se presentaron los primeros testimonios del empleo de aditivos describiendo las propiedades dispersantes de la clara de huevo y la sangre animal. (A. V. & L., 2014)

El comienzo de la utilización de los morteros por el hombre es un tema que da origen a cierta especulación. Uno de los aspectos problemáticos que se debe tener en cuenta a la hora de establecer y datar el origen de los primeros morteros es la invalidez del concepto actual de mortero, que lo define como la mezcla de uno o varios aglomerantes minerales, áridos, agua y a veces adiciones y aditivos. (Norma UNE 83-800,1994). De esta forma podemos suponer que, en los primeros morteros, las dos funciones básicas de los materiales que los componen: conglomerante o ligante y árido, no estaban bien delimitadas, pudiendo desarrollarlas una gran variedad de materias, con un mayor o menor grado de aptitud. (Alejandre, 2002)

Los albañiles de la antigua Roma denominaban mortarius, mortero, al recipiente en el cual amasaban y transportaban la mezcla de pasta de cal y arena. Con el paso del tiempo, este nombre fue adoptado para designar a la propia mezcla, que se ha utilizado para la construcción de cimentaciones, muros, pavimentos y revestimientos hasta la aparición del cemento Portland. (Pérez A., 2012).



De acuerdo, a la “Historia de los morteros” de Alvaréz Galindo (1995) “hasta el siglo XVIII no se inicia la fabricación de ligantes hidráulicos, susceptibles de endurecer bajo el agua. Los griegos, supieron crear morteros estables al agua por medio de materiales tales como la tierra de Santorini y el tejo. Los romanos generalizaron el uso de morteros de cal y puzolana. La mayor estabilidad en agua de las masas así obtenidas se debe a una reacción más o menos lenta entre la cal, la sílice coloidal y la alúmina, contenidas en los productos mencionados, con formación de hidrosilicatos e hidroaluminatos, cuya naturaleza es comparable a la de los productos que se obtienen por hidratación de los ligantes hidráulicos modernos (Furlan, 1975; Rassineux, 1989)” (Alvarez et al., 1995)

Como se menciona en el artículo de “Las Tecnologías de los morteros” (S., 2001) “Cronológicamente pueden diferenciarse varias etapas en la fabricación de mampostería con distintas clases de mortero, así:

- Primeras construcciones de mampostería elaboradas con piedras y mortero de barro.
- Utilización de morteros de arcilla.
- Descubrimiento de la cal apagada hecha a partir de la cal viva para la elaboración de morteros.
- Morteros de cal y arena usados en mampostería poco antes de la aparición del cemento Portland a mediados del siglo XIX; son morteros convencionales de baja trabajabilidad, pero de excelente resistencia a compresión y de fraguado rápido.
- Morteros modernos de mampostería elaborados con cal, arena y cemento Portland, beneficiándose de las propiedades de cada uno de esos componentes.”

### **2.2.2. Materiales que forman al mortero**

Para la elaboración de un mortero se requiere llevar a cabo la mezcla de cemento Portland con arena y agua, aunque este mismo puede incluir algún otro cementante como la cal o el cemento de albañilería y también se pueden mejorar sus propiedades con aditivos para distintos fines, como puede ser el acelerante de fraguado o el retardante de este mismo, así como fluidificantes entre otros.



## 2.2.2.1. Cemento Portland.

### 2.2.2.1.1. Antecedentes del Cemento Portland.

A mediados del siglo XVIII, el reverendo inglés James Parker creó un cemento de manera accidental, al quemar unas piedras calizas. Este descubrimiento fue bautizado como cemento romano porque en su momento se llegó a pensar que era el que se había utilizado en las primeras construcciones realizadas por esta civilización. Aunque no fue hasta el 21 de octubre de 1824 que el constructor Joseph Aspdin que patentó el primer Cemento Portland, este nombre se debe a la semejanza de este cemento con las rocas de la isla de Portland.

Más adelante, Isaac Johnson mejoró este proceso de producción aumentando la temperatura de calcinación, obteniendo en 1845 el prototipo del cemento moderno elaborado con base en una mezcla de caliza y arcilla calcinada a altas temperaturas, hasta la formación del clinker. Esta es la razón por la que hoy se conoce a Johnson como el padre moderno del cemento Portland.(Vidaud, 2013) El clinker es el principal componente del cemento Portland que es obtenido mediante la cocción a una temperatura cercana a los 1450°C de las materias primas (caliza, arcilla, pizarra, etc.), previamente molidas, para posteriormente ser trituradas en un molino de bolas y con la adición de otros componentes como el yeso y otros componentes se obtiene el cemento Portland.

En México, en el año de 1881 en el Estado de Hidalgo, el empresario inglés Henry Gibbon alquiló una fracción de la vieja Hacienda de Jasso e instaló una fábrica de cal hidráulica.

Después de algunos intentos fallidos por producir el cemento en el país aproximadamente en el año de 1900, fue hasta poco tiempo después que se establecieron las tres primeras fábricas de cemento; la de Hidalgo en Nuevo León (CEMEX), Cruz Azul en Jasso y Toluca, ambas en el Estado de Hidalgo. En 1928, se fundó la compañía mexicana de cemento Portland Apasco, la primera planta de esta empresa inició sus actividades en 1936 con un horno que tenía la capacidad para producir 100 toneladas diarias. Para 1946 había en México seis empresas dedicadas a la fabricación de cemento. (CANACEM, 2021)





Actualmente en México operan ocho empresas en la producción del cemento, Cementos Cruz Azul, Cementos Fortaleza, Cementos Moctezuma, CEMEX, CYCNA, CYCNA de Oriente, GCC Cementos y Holcim México. (CANACEM, 2021)

### **2.2.2.1.2. Proceso de producción del cemento Portland.**

El cemento Portland se produce por la pulverización del clinker, el cual es formado principalmente en silicatos de calcio hidráulicos, también tiene algunos aluminatos de calcio y ferroaluminatos de calcio y una o más formas de sulfato de calcio o mejor conocido como yeso, que junto con el clinker son molidos para la fabricación del producto final.

El proceso de producción del cemento se lleva a cabo a través de los siguientes procesos (Ilustración 1) :

1. Primero, se realiza la extracción de las materias primas directamente de las canteras, y posteriormente son transportadas a la planta cementera.
2. Las materias primas se trituran y se muelen para poder llevar a cabo la dosificación deseada; debe incluir las cantidades apropiadas de compuestos de calcio, sílice, alúmina y hierro.
3. Una vez realizada la dosificación correspondiente, esta es llevada y colocada en el horno en el cuál esta harina debe transitar a lo largo del horno a una temperatura aproximada de 1450°C para ser calcinada, al final del horno esta harina se convierte en el denominado Clinker.
4. El clinker debe enfriarse mediante la inducción de aire frío para reducir su temperatura a aproximadamente 100°C, posteriormente es pulverizado en un molino de bolas, en este proceso se adiciona cierta cantidad de yeso para que este le brinde la propiedad de controlar sus tiempos de fraguado.
5. En este punto el cemento Portland ya está listo para su empaquetado y posterior transporte y/o venta a granel.

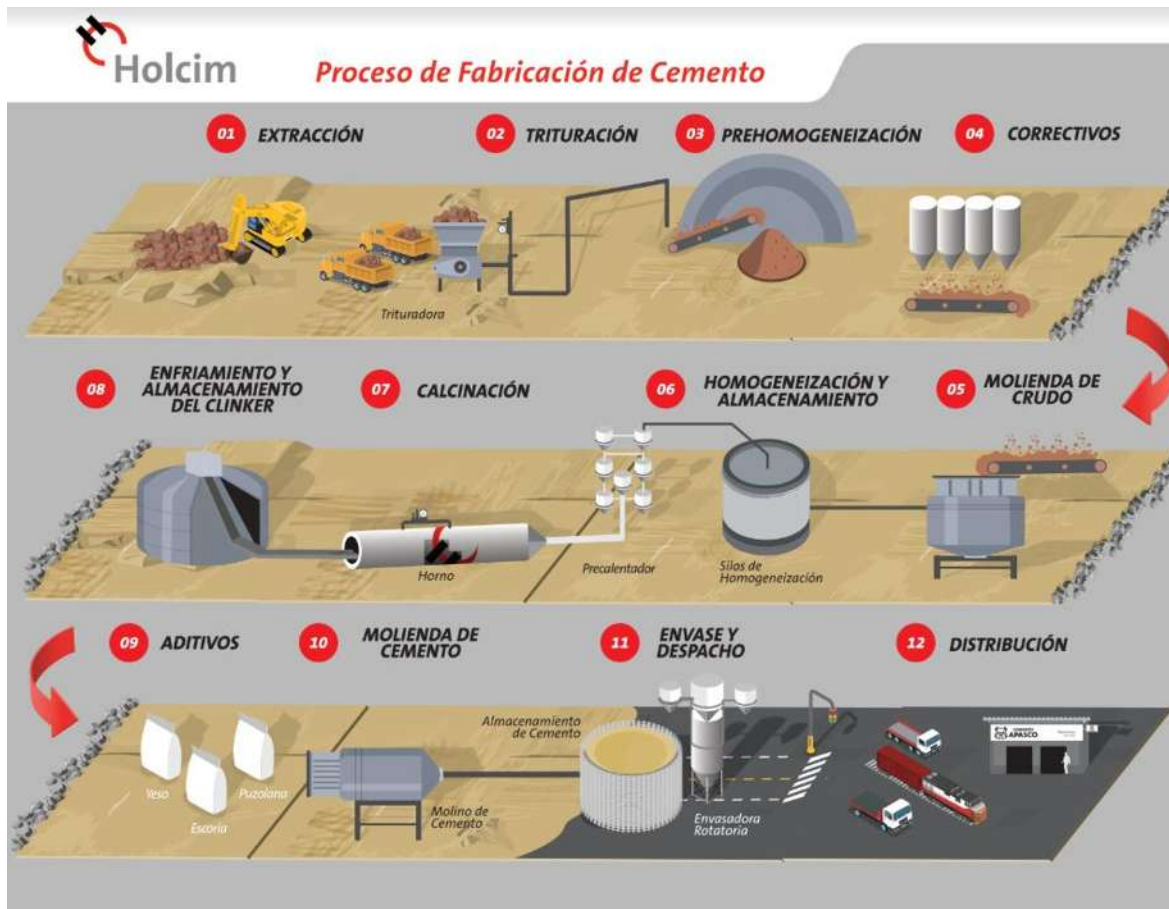


Ilustración 1. Proceso de Fabricación de Cemento. Fuente: Holcim México.

### 2.2.2.2. Agregado fino (Arena).

La arena es el material que ocupa el mayor porcentaje de espacio en un mortero, este valor va del 69% al 80% esto en relación a la suma de cementantes y proporción de arena medida en volumen, es por esto que se debe tener un buen control de calidad del agregado fino que conforma al mortero ya que las características como la granulometría o la absorción de esta influyen en el comportamiento físico-mecánico del mortero.

Para que el agregado funcione adecuadamente hay que considerar no solo las características del agregado, sino también la fuente de procedencia del mismo, ya que en toda obra lo óptimo es utilizar los materiales cercanos con los que se cuentan, ya que el traslado de materiales de bancos que se encuentren muy distantes a la obra eleva el costo de la misma.



De la arena principalmente se debe considerar sus propiedades físicas como el análisis granulométrico, su masa volumétrica seca suelta, así como el varillado, estos para el diseño de mezclas, también es importante conocer la humedad de absorción y la densidad.



*Ilustración 2. Agregado fino proveniente del banco de materiales "Joyitas" Fuente: Propia*

### **2.2.2.3. Agua.**

El agua cumple la función de hidratar el cemento, brindándole así la trabajabilidad deseable, en cuanto a la cantidad necesaria dependerá de las propiedades de los agregados y del cemento, usualmente cualquier agua que se considere potable, es decir, apta para el consumo humano se puede utilizar para la elaboración de las mezclas de mortero, en la práctica, se utiliza el agua disponible en obra, ya sea por abastecimiento de tomas domiciliarias o transportada y almacenada en el campo.

### **2.2.2.4. Cal hidratada.**

La cal proporciona mejoras a las mezclas de mortero en sus características como la adherencia, la retención de agua, una mejor trabajabilidad y un mejor soporte en la pega de piezas de mampostería. Esto último es muy importante ya que debe considerarse de alta prioridad la resistencia a la compresión en cuanto a los morteros para uso estructural se



refiere, ya que una resistencia deficiente del mortero respecto a la resistencia de las piezas de pega utilizadas es la causa principal de la formación de grietas. Los morteros a los que se les adiciona cal, suelen ser más flexibles y chiclosos lo que es útil al momento de elaborar y colocar morteros.

#### **2.2.2.5. Cemento de albañilería.**

El cemento de albañilería es un cemento Portland mezclado con agregados finamente molidos y triturados, por lo que, el cemento de albañilería ya está compuesto de cemento y arena. Aunque este cemento no debe ser utilizado como mortero para uso estructural, con la adición de agregado fino en las proporciones adecuadas y agua entra dentro de las clasificaciones de mortero para uso estructural. Esto según lo indicado en los proporcionamientos sugeridos por las normas NMX-C-486-ONNCCE-2014 y N-CMT-2-01-004/02 en las tablas 9 y 10 del capítulo 3.2.

#### **2.2.3. Clasificación del mortero.**

Los morteros se pueden clasificar como estructurales y no estructurales, para este trabajo, se estudiaron los morteros estructurales.

Uno de los sistemas de estructuración más usados es a base de muros de mampostería, es por ello que es necesario seguir una normativa de los materiales empleados para su construcción, ya que en las edificaciones se debe garantizar la seguridad de los que la habitarán. Por ello se definen requerimientos mínimos de calidad que deben garantizar el correcto funcionamiento del mortero para uso estructural.

El mortero de uso estructural se clasifica de la siguiente manera:

##### **1. Por su fabricación.**

- Hecho en obra: Es el mortero que es dosificado en volumen y su mezcla es por medios manuales o mecánicos en el sitio donde se lleva a cabo la construcción.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



- Industrializado: Es el mortero que es dosificado por masa y se mezcla mecánicamente en una planta para posteriormente ser transportado a la obra. Este tipo de mortero puede ser seco o transportarse en estado fresco para su colocación.

### 2. Por su uso.

- Mortero para pegar piezas: Es el que se utiliza para adherir piezas de mampostería entre sí, estas piezas pueden ser tabiques o bloques utilizados para mampostería.
- Mortero de relleno: Es el mortero que se utiliza para llenar las celdas de piezas o huecos en muros, se proporciona con el fin de que tenga una consistencia fluida sin llegar a segregarse durante el vaciado.

### 3. Por su resistencia a la compresión.

El mortero se clasifica de acuerdo a su resistencia mínima a la compresión a la edad de 28 días, se clasifica en tres tipos, los cuales se indican en la siguiente tabla.

Tabla 1. Clasificación de morteros según su resistencia a la compresión.

Tipo de mortero	Resistencia a la compresión MPa (kg/cm <sup>2</sup> )
Tipo I	12.5 (125)
Tipo II	7.5 (75)
Tipo III	4.0 (41)

#### 2.2.4. Aplicaciones.

De acuerdo a lo descrito en el inciso anterior, el mortero tiene una clasificación según su uso, que, aunque en el capítulo anterior solamente se describen dos de ellos que son para uso estructural, el mortero tiene otras aplicaciones referentes a otros usos no estructurales o aparentes.

El mortero para una aplicación eficiente debe tener la mayor adherencia y el menor desperdicio posible, esto es posible gracias a que el mortero es una mezcla chiclosa o muy plástica.



### **2.2.5. Problemas en los morteros.**

Los problemas en los morteros se presentan por distintos motivos, puede ser desde errores en el proporcionamiento, una mala colocación o un mal curado post-colocación del mortero.

Entre los problemas principales en los morteros nos encontramos los siguientes:

- **Falta de adherencia:** Este problema se presenta cuando el mortero tiene una baja retención de agua, esto puede ocasionar que las piezas no queden perfectamente unidas y por ende se debilita el sistema estructural. La falta de adherencia también puede generar la falla prematura en muros debido a la deficiente unión entre el mortero y las piezas.
- **Baja resistencia a la compresión:** Este problema se puede presentar si no se usa un agregado fino que presente una granulometría continua, ya que, de no ser así esto permite que el mortero contenga espacios o poros muy grandes debilitando así la resistencia a la compresión. Esto genera también que la resistencia a cortante de los muros se vea reducida, a pesar de que las piezas sean de buena calidad. La baja resistencia también se puede deber a un mal diseño de mezcla.

### **2.2.6. Normativa.**

Existen varias normas y reglamentos de construcción a los que se puede hacer referencia respecto al mortero para uso estructural, están por ejemplo la NMX-C-486-ONNCCE-2014, la (N-CMT-2-01-004, 2002) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, el Reglamento de Construcción de Morelia, Michoacán, así como de la NMX-C-061-ONNCCE-2015 que norma y especifica procedimientos a seguir para realizar la caracterización físico-mecánica de los morteros como el procedimiento del ensayo de fluidez, el moldeado de especímenes cúbicos de 5 cm de arista y el ensayo a compresión simple aplicables tanto a concreto y mortero.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



Aunque existen varias normas o reglamentos, algunas hacen referencia entre ellos, por ejemplo, en el caso de la Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, hace referencia a la NMX-C-486-ONNCCE, en cuanto a la clasificación de los morteros de acuerdo a su resistencia a la compresión simple a los 28 días.

En la tabla 2 se hace un resumen de aspectos a tomar en cuenta de las distintas normas anteriormente mencionadas y como difieren entre ellas respecto a los morteros para uso estructural.

*Tabla 2. Comparación de normas y reglamentos referentes a morteros para uso estructural. Fuente: Propia. S. Mondragón.*

	<b>NMX-C-486-ONNCCE-2014</b>	<b>N-CMT-2-01-004-02</b>	<b>Reglamento de Construcción de Morelia, Michoacán.</b>																								
<b>Proporciónamiento en volumen recomendado para mortero de uso estructural. Partes de arena.</b>	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen	No menos de 2.25 ni más de 4 veces la suma de cementantes en volumen.	Se considerará que las proporciones volumétricas máximas admisibles serán de seis partes de arena y una de cal y diez partes por cada una de cemento.																								
<b>Cantidad de agua indicada.</b>	La mínima necesaria para cumplir con una fluidez de 105% a 130%.	La mínima necesaria para que la mezcla sea trabajable.	Agregando la cantidad de agua mínima para producir una mezcla plástica trabajable.																								
<b>Granulometría del agregado fino.</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Malla</th> <th style="width: 50%;">% Que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">95-100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">16</td> <td style="text-align: center;">70-100</td> </tr> </tbody> </table>	Malla	% Que pasa	4	100	8	95-100	16	70-100	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Malla</th> <th style="width: 50%;">% Que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">95-100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">16</td> <td style="text-align: center;">80-90</td> </tr> </tbody> </table>	Malla	% Que pasa	4	100	8	95-100	16	80-90	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Malla</th> <th style="width: 50%;">% Que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">3/8</td> <td style="text-align: center;">100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">95-100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">80-100</td> </tr> </tbody> </table>	Malla	% Que pasa	3/8	100	4	95-100	8	80-100
Malla	% Que pasa																										
4	100																										
8	95-100																										
16	70-100																										
Malla	% Que pasa																										
4	100																										
8	95-100																										
16	80-90																										
Malla	% Que pasa																										
3/8	100																										
4	95-100																										
8	80-100																										



		30	40-75		30	55-70	16	50-85
		50	20-40		50	25-50	30	25-60
		100	10-25		100	5-30	50	10-30
		200	0-10		200	-	100	2-10
<b>Resistencia de diseño del mortero.</b>	$f_j^* = \frac{\bar{f}_j}{1 + 2.5C_j}$			No se indica en esta norma.		No se indica en este reglamento		
<b>Resistencia mínima a la compresión simple a los 28 días.</b>	Tip o de mortero	Resistencia promedio a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia mínima individual (kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo de mortero	Resistencia mínima (kg/cm <sup>2</sup> )	No se indica una clasificación o resistencia mínima a la compresión.		
	I	180	125	I	127			
	II	110	75	II	76			
	III	60	40	III	41			

### 3. Desarrollo experimental.

#### 3.1. Caracterización.

La caracterización de los materiales que componen el mortero comprende una serie de pruebas o ensayos de campo y/o laboratorio, que nos permiten conocer las propiedades de los agregados, los cementantes o aditivos, en su caso, además de que los resultados de dichos ensayos deben cumplir con estándares que están normados por distintas entidades. Para ello existen una serie de normas y manuales con especificaciones que deben cumplir los materiales, a continuación, se explica cuáles son estas normas, que propiedad nos permite conocer y las especificaciones que se deben cumplir para que los agregados o materiales se consideren aptos para el uso que se le quiera dar.





### 3.1.1. Caracterización de agregados pétreos.

El agregado pétreo para la elaboración de los morteros es el agregado fino (arena), en este caso, se utilizaron distintas arenas provenientes de diferentes lugares del Estado de Michoacán, específicamente para este estudio fueron del banco “Joyitas”, del banco “El Coro” y del banco “El Cuervo”, esto por las siguientes razones; para conocer las propiedades físico- mecánicas de los morteros realizados con agregados de la región, ya que al momento de realizar una obra lo más óptimo sería utilizar los materiales que se tienen a los alrededores de la región en donde se desarrolla algún proyecto, de lo contrario, el presupuesto de la obra podría elevarse de manera considerable convirtiendo así, inviable al proyecto para su desarrollo.

Los ensayos que se realizaron a los agregados pétreos para conocer sus propiedades de acuerdo a las normas estándar, las cuales se enlistan en la tabla 3.

Tabla 3. Ensayos, normativas y características obtenidas del agregado pétreo.

Ensayo de laboratorio	Característica del agregado que se obtuvo	Norma para llevar a cabo el ensayo
Práctica estándar para el muestreo del agregado.	Obtención de la muestra	NMX-C-030-ONNCCE-2004
Reducción de la muestra de agregados al tamaño requerido de prueba.	Cuarteo	NMX-C-170-ONNCCE-2019
Determinación de la densidad relativa y absorción de agua de agregado fino.	Densidad y absorción de la arena	NMX-C-165-ONNCCE-2020
Método de prueba para la determinación de la masa volumétrica de los agregados.	MVSS y MVSV	NMX-C-073-ONNCCE-2014
Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados.	Granulometría en arenas	NMX-C-077-ONNCCE-2019



El agregado fino, en promedio ocupa un 75% del mortero en volumen, ya que este es una mezcla de arena (agregado fino), cemento y agua, es por eso que es de vital importancia conocer las propiedades del agregado, ya que estas influirán en las propiedades físico-mecánicas que adquiera el mortero. Se considera agregado fino a el agregado pétreo que pase por la malla No. 4 que tiene una abertura de 4.75 milímetros.

Las arenas del tema de estudio fueron las siguientes:

1. Arena de río (R) proveniente del banco de material “El Cuervo”.
2. Arena negra (J) proveniente del banco de material “Joyitas”.
3. Arena de río (H) proveniente del banco de material “El Coro”.

#### **3.1.1.1. Arena Río Huajúmbaro (R).**

El agregado fue obtenido del banco de material “El Cuervo”, proveniente del Río Huajúmbaro, ubicado aproximadamente a 25 km de Ciudad Hidalgo, Michoacán (Ilustración 3). El material obtenido es un agregado sedimentario, que fue recolectado (Ilustración 4) y llevado al laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la UMSNH, donde se le realizó su caracterización correspondiente, para conocer sus propiedades como; la granulometría, su densidad, su absorción, pesos volumétricos con el fin de asegurar la calidad del agregado y que pueda ser considerado como apto para su utilización en la elaboración de los morteros, objeto de este análisis.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



*Ilustración 3. Ubicación de río Huajúbaro. Fuente: Google Earth*



*Ilustración 4. Extracción de la arena de río. Fuente: Propia*



*Ilustración 5. Secado de la arena de río en el patio del laboratorio Fuente: Propia*



*Ilustración 6. Proceso final de secado de la denominada arena dorada (R). Fuente: Propia*

Una vez que el agregado se extendió en el patio de secado del laboratorio de materiales (Ilustración 5 y 6), fue recolectado en costales para su almacenamiento una vez concluido el secado del mismo, para después proceder con su respectiva caracterización mediante los ensayos mencionados en el capítulo anterior.



### 3.1.1.2. Arena volcánica de Banco Joyitas (J).

Este agregado proveniente del banco de materiales “Joyitas” ubicado en la carretera Joyitas-San Bernabé (Ilustración7), el cual es un banco de propiedad particular, el material de dicho banco es de tipo tezontle al cual se le da un triturado parcial y un posterior cribado, para su extracción no se requiere el uso de explosivos y entre sus usos probables se encuentran el de terracerías, revestimientos, balasto y mampostería. El banco se encuentra aproximadamente a 22 kilómetros del municipio de Morelia, Michoacán, es un material volcánico, de dicho material se obtuvo una muestra representativa para realizar los ensayos necesarios para su caracterización y conocer las propiedades mencionadas en el inciso anterior, para ello es necesario un mínimo aproximado de 50 kilogramos para llevar a cabo todos los ensayos de caracterización.



Ilustración 7. Ubicación de banco de material "Joyitas". Fuente: Google Earth

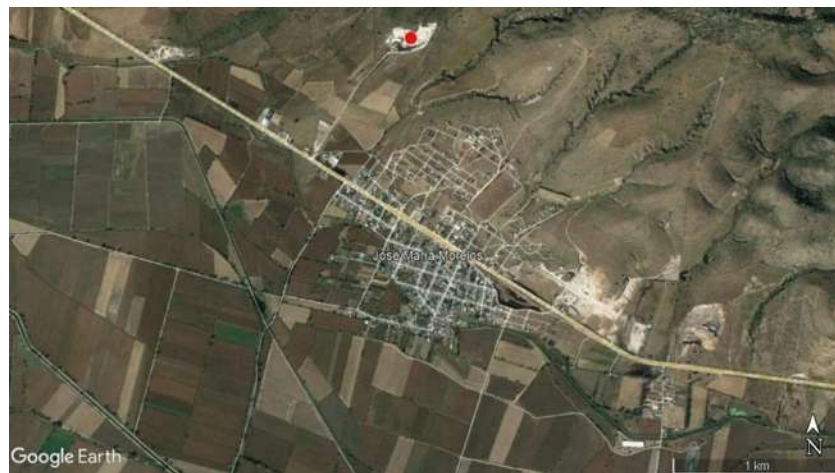
Una vez obtenida la muestra representativa del material fue extendida en el patio de secado del laboratorio de materiales (Ilustración 8), para después almacenarse en costales para los ensayos a realizarse posteriormente.



*Ilustración 8. Arena negra (J) en proceso de secado en el patio del laboratorio de materiales. Fuente: Propia*

### 3.1.1.3. Arena de río, Banco El Coro (H).

Este agregado proviene del banco de materiales “El Coro”, ubicado a un costado de la carretera Morelia-Zinapécuaro (Ilustración 9), es un material sedimentario con un proceso de extracción y trituración parcial y cribado. El tipo de propiedad es particular, no se requiere el uso de explosivos para su extracción. Se obtuvo una muestra representativa de dicho material para su posterior caracterización por medio de los ensayos anteriormente mencionados.



*Ilustración 9. Ubicación de banco de materiales "El Coro". Fuente: Google Earth*



Una vez obtenida la muestra representativa del material, se extendió en el patio de secado del laboratorio de materiales (Ilustración 10) para después almacenarse en costales para los ensayos a realizarse posteriormente.



*Ilustración 10. Arena blanca (H) mientras se secaba en el patio del laboratorio de materiales. Fuente: Propia*

#### **3.1.1.4. Muestreo.**

Algo primordial para la realización de este estudio fue la recolección y muestreo de los agregados pétreos, para este estudio se utilizaron 1 arena de origen volcánico la cuales ya se encontraban almacenadas en el laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la UMSNH, dicha arena es proveniente del banco de materiales “Joyitas y dos arenas de río la arena del banco “El cuervo” específicamente del río Huajúbaro, la cual fue recolectada de dicho río (Ilustración 11.) y transportada a el laboratorio para realizar su respectiva caracterización y la del banco “El Coro” a la cual solo se le realizó su respectivo muestreo y posterior caracterización.



*Ilustración 11. Muestreo en el banco "El Cuervo". Fuente: Propia*

El muestreo del material fue realizado siguiendo la norma NMX-C-030-ONNCCE-2004.

### 3.1.1.5. Reducción de la muestra de agregados al tamaño requerido de prueba.

La reducción de la muestra de agregados al tamaño requerido de prueba o coloquialmente conocida como la prueba de cuarteo, es el ensaye mediante el cual se obtiene una muestra representativa del agregado para poder realizar las pruebas o ensayos en los cuales los requerimientos de la cantidad de material sean una muestra más pequeña.

Para realizar la reducción de la muestra o el cuarteo al tamaño requerido por cada prueba para la caracterización, existen dos métodos, ambos métodos se llevaron a cabo para las 3 arenas que se estudiaron y su procedimiento se describe a continuación.

#### **Método "A" Cuarteo mecánico.**

##### **Equipo necesario:**

- Cuarteador con al menos 12 conductos para agregado fino.
- Cucharón.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



- Pala.
- Charolas.

### **Procedimiento:**

1. Se coloca el material en dos charolas anchas, esto debido al tamaño de la muestra a cuartear, esto se hace con la ayuda de un cucharón.
2. Se coloca el cuarteador en el suelo, en una zona amplia y libre de obstáculos. (Ilustración 12).
3. Se colocan dos charolas más a cada uno de los lados de caída del cuarteador para poder recoger la muestra.
4. Con ayuda de la pala se tiene que verter el agregado de la charola sobre la parte superior del cuarteador, buscando siempre que sea utilizada toda la longitud de la misma.
5. Una vez terminado este proceso se retira una de las charolas con material, devolviendo este al saco del que fue extraído originalmente el material.
6. Con la charola en la que está el material que no fue devuelto al saco, se lleva a cabo el mismo procedimiento mencionado en el paso 4 (Ilustración 13), esto después de colocar de nuevo dos charolas vacías debajo de los conductos del cuarteador, esto se lleva a cabo las veces necesarias hasta obtener la muestra del tamaño necesario para los ensayos a realizarse posteriormente.





Ilustración 12. Cuarteador instalado para realizar el ensayo. Fuente: Propia



Ilustración 13. Proceso de cuarteo. Fuente: Propia

### Método “B” Cuarteo manual.

#### Equipo necesario:

- Una pala.
- Escoba.

#### Procedimiento:

1. Se vierte el material en el suelo, que, previamente debe ser barrido para evitar contaminar la muestra de nuestro agregado.
2. Con la pala, se acumula el material en forma cónica, esto por medio del paleado que se realiza poniendo una paleada sobre la otra, este procedimiento se repite tres veces.
3. Una vez terminado el paso anterior, se aplana la parte superior del cono formado con el material con ayuda de la cara posterior de la pala. (Ilustración 14)



4. A continuación, se divide el material trazando dos líneas perpendiculares con la pala, buscando que las 4 partes que se forman con estas divisiones queden lo más próximas a su tamaño entre ellas. (Ilustración 15)
5. Se eliminan dos de las porciones opuestas y el material sobrante es el que se utiliza para realizar las pruebas correspondientes (Ilustración 16). En los casos en que los ensayos requieren muestras más pequeñas se realiza el mismo procedimiento desechando las porciones opuestas hasta obtener la cantidad de material deseado.



*Ilustración 14. Aplanado de la parte superior del cono formado con el material. Fuente: Propia*



*Ilustración 15. Trazado de líneas para dividir el material. Fuente: Propia*



*Ilustración 16. 4 partes de las cuales dos deberán ser descartadas. Fuente: Propia*

### **Especificaciones.**

La selección del método será de acuerdo a las condiciones del agregado, las muestras de campo que se encuentren superficialmente secas se deberán reducir en tamaño por el método “A”. Las muestras de campo que se reduzcan por el método “B” deberán encontrarse húmedas superficialmente, de no ser así se deberán humedecer y después ser remezcladas. (NMX-C-170-ONNCCE, 2019)



### 3.1.1.6. Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado fino.

#### **Densidad relativa del agregado fino.**

La densidad es una característica necesaria para realizar el proporcionamiento en volumen, ya que nos permite conocer el volumen real del agregado fino que conforman el espécimen, este valor es un indicador del volumen efectivo del agregado sin tomar en cuenta los vacíos que se forman entre partícula y partícula ni la porosidad de las mismas. El procedimiento para obtener la densidad se describe a continuación.

#### **Equipo necesario:**

- Una muestra representativa del agregado fino de aproximadamente 1000 gramos.
- Charolas metálicas.
- Espátulas.
- Una parrilla.
- Un molde tronco cónico.
- Un pisón.
- Un frasco de Chapman.
- Una báscula con aproximación al décimo de gramo.

#### **Procedimiento:**

1. Mediante el método de cuarteo “A” explicado en el inciso número 3.1.1.5., se toma una muestra representativa del agregado de aproximadamente 1000 gramos.
2. Se pone a saturar la arena en una charola durante 24 horas.
3. Al término de las 24 horas en las que se lleva a cabo la saturación, se procede a secar superficialmente la arena, se coloca la arena en la charola sobre la parrilla para eliminar el exceso de agua (Ilustración 17).
4. Para conocer la condición de que la arena se encuentra saturada y superficialmente seca se coloca el molde tronco cónico dentro de la charola con su boca más ancha hacia abajo



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



- y se llena en cuatro capas dando un total de 25 golpes con el pisón, siendo 10 golpes a la primera capa, 10 golpes a la segunda capa, 3 golpes en la tercera capa y 2 golpes en la cuarta y última capa (Ilustración 18). Sí al retirar el molde tronco cónico la arena pierde su forma disgregándose (Ilustración 19) significa que ya se encuentra en la condición saturada y superficialmente seca y si por el contrario mantiene su forma significa que aún tiene un excedente de agua, por lo que se debe continuar secando en la parrilla.
5. Cuando la arena alcanza la condición saturada y superficialmente seca se pesan 300 gramos del agregado y se registra como masa saturada y superficialmente seca ( $M_h$ ).
  6. A continuación, se llena el frasco de agua (Ilustración 20) y se registra la masa del mismo como  $M_i$ , en gramos.
  7. Se retira un poco de agua y se introduce la arena en condición saturada y superficialmente seca (Ilustración 21), la muestra de 300 gramos, una vez que toda la arena se introduce en el frasco, este se llena de nueva cuenta y esta masa se registró como  $M_{II}$ . (Ilustración 22)



*Ilustración 17. Arena (R) saturada en proceso de eliminación de exceso de agua. Fuente: Propia*



*Ilustración 18. Apisonadas en el molde tronco cónico. Fuente: Propia*



*Ilustración 19. Al retirar el molde, se puede apreciar como la arena se disgrega. Fuente: Propia*



*Ilustración 20. Registro del Mi.  
Fuente: Propia*



*Ilustración 21. Se llenó el frasco  
con la arena en condición  
saturada y superficialmente seca.  
Fuente: Propia*



*Ilustración 22. Se registra el peso  
del frasco más el agua y más la  
arena. Fuente: Propia*

### **Humedad de absorción.**

#### **Equipo necesario:**

- Una muestra representativa del agregado fino de aproximadamente 1000 gramos.
- Charolas metálicas.
- Espátulas.
- Una parrilla.
- Un molde tronco cónico.
- Un pisón.
- Una báscula con aproximación al décimo de gramo.
- Un vidrio o cristal de reloj

#### **Procedimiento.**

1. Se realiza el procedimiento explicado en el ensayo de densidad relativa de agregado fino hasta tener una muestra representativa de arena de 300 gramos en la condición saturada y superficialmente seca (Ilustración 23).
2. En una charola se coloca esta muestra y se seca totalmente, esto se comprueba con ayuda del cristal, se coloca sobre la muestra y se verifica que no se empañe, si el



vidrio se empaña se debe continuar secando hasta que ya no se empañe. (Ilustración 24).

- Una vez que la arena está totalmente seca, se registra esa nueva masa como  $M_s$  (Ilustración 25).



Ilustración 23. Arena en condición saturada y superficialmente seca  
Fuente: Propia.



Ilustración 24. La arena aún contiene agua puesto que se empaña el cristal. Fuente: Propia



Ilustración 25. Se registra la masa final de la arena y se registra como  $M_s$ . Fuente: Propia

### Cálculos.

El cálculo para poder obtener el valor de densidad se indica en la tabla 4.

Tabla 4. Ecuación para calcular el valor de la densidad del agregado fino.

Densidad.	$D = \frac{M_h}{M_i + M_h - M_{ll}}$
Humedad de absorción.	$A = \frac{M_h - M_s}{M_s} * 100$

Dónde:

D= Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)



Mh= Masa de la arena en condición saturada y superficialmente seca (gramos).

Mi= Masa del frasco lleno de agua (gramos).

Mll= Masa del frasco + arena + agua (gramos)

A= Humedad de absorción (%)

Ms= Masa de la arena una vez eliminada el agua (gramos)

### **Especificaciones.**

Para la densidad se debe de contar con una aproximación de 0.01 y la absorción de 0.1% y cuando el tiempo de inmersión en agua sea distinto de 24 h  $\pm$  4 h debe indicarse. (NMX-C-165-ONNCCE, 2020)

### **3.1.1.7. Método de prueba para la determinación de la masa volumétrica de los agregados.**

La masa volumétrica de los agregados nos permite conocer cuánta masa se encuentra inmersa dentro de una unidad volumen. Se consideran dos tipos de masa volumétrica de los agregados, la primera donde el acomodo de las partículas se deja de modo libre, o sea, sin un acomodo como tal, esta característica se conoce como “Masa volumétrica seca y suelta” (MVSS) y, el segundo tipo de masa volumétrica considera una cierta compactación, en este caso con la ayuda de una varilla lisa con punta de bala, esto permitirá un mejor acomodo de las partículas, por lo que, en principios, la masa volumétrica seca y varillada (MVSV) es un buen índice para conocer la calidad del agregado, puesto que en cuanto mejor sea la distribución de tamaños de las partículas, lo cual se puede conocer mediante el ensayo de granulometría, mayor será el valor numérico de la MVSV.

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

#### **Equipo necesario:**

- Una muestra de arena por lo menos 1.5 veces la capacidad del recipiente a utilizar.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



- Un recipiente con masa y volumen conocido.
- Varilla lisa de punta de bala de 5/8.
- Una balanza o báscula.
- Una pala de boca cuadrada.
- Un cucharón.

### **Procedimiento:**

1. La muestra de arena se reduce para el ensayo mediante el procedimiento explicado en el inciso 3.1.1.5, por el método “B” cuarteo manual (Ilustración 26).
2. Una vez que se tiene la arena dividida en 4 partes de un tamaño similar, se coloca el recipiente en la intersección de las divisiones del agregado.
3. Se seleccionan dos partes opuestas y con ayuda del cucharón se empieza a introducir arena en el recipiente, dejando caer el agregado a una distancia de aproximadamente 5 centímetros de la boca del recipiente (Ilustración 27).
4. Se llena el recipiente hasta un poco más de su límite procurando una distribución lo más uniforme del agregado.
5. Con la varilla se enrasa el recipiente (Ilustración 28) y una vez que se retire el mismo debe ser limpiado de sus caras externas para que no se altere el resultado por las partículas adheridas en su exterior y una vez realizado este paso, se pesa el recipiente y se registra este restándole la masa conocida del recipiente y se anota como masa (M).





*Ilustración 26. Cuarteo de la arena por el método manual.  
Fuente: Propia*



*Ilustración 27. Llenado del recipiente con masa y volumen conocidos. Fuente: Propia*



*Ilustración 28. Se enrasó el recipiente con ayuda de la varilla punta de bala. Fuente: Propia*

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

#### **Equipo necesario:**

- Una muestra de arena por lo menos 1.5 veces la capacidad del recipiente a utilizar.
- Un recipiente con masa y volumen conocido.
- Varilla lisa de punta de bala de 5/8.
- Una balanza o báscula.
- Una pala de boca cuadrada.
- Un cucharón.

#### **Procedimiento:**

1. La muestra de arena se reduce para el ensayo mediante el procedimiento explicado en el inciso 3.1.1.5, por el método “B” cuarteo manual.
2. Una vez que se tiene la arena dividida en 4 partes de un tamaño similar, se coloca el recipiente en la intersección de las divisiones del agregado.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



3. Se seleccionan dos partes opuestas y con ayuda del cucharón se introduce la arena en el recipiente, dejando caer el agregado a una distancia de aproximadamente 5 centímetros de la boca del recipiente (Ilustración 29).
4. El recipiente se llena en 3 capas, cada vez que se cubre una capa se le dieron un total de 25 golpes con la varilla punta de bala, cuidando que la varilla no penetre en la capa inferior y distribuyéndolos en toda la superficie del material (Ilustración 30).
5. Se llena el recipiente hasta un poco más de su límite procurando una distribución lo más uniforme del agregado.
6. Con la varilla se enrasa el recipiente (Ilustración 31) y una vez que se retira el mismo debe ser limpiado de sus caras externas para que no se alterare el resultado por las partículas adheridas en su exterior y una vez realizado este paso, se pesa el recipiente y se registra este restándole la masa conocida del recipiente y se anota como masa (M).



*Ilustración 29. Se seleccionaron dos esquinas opuestas para llenar el recipiente. Fuente: Propia*



*Ilustración 30. Entre cada capa se dio un total de 25 varilladas distribuidas uniformemente. Fuente: Propia*



*Ilustración 31. Enrasado con ayuda de la varilla punta de bala. Fuente: Propia*

### Cálculos.

Los cálculos necesarios para obtener la MVSS y MVSV se indican en la tabla 5.



Tabla 5. Cálculos para obtener la MVSS y MVSV.

Masa volumétrica seca y suelta (MVSS)	$MVSS = \frac{M}{V}$
Masa volumétrica seca y varillada (MVSV)	$MVSV = \frac{M}{V}$

Dónde:

- MVSS= Masa volumétrica seca y suelta (gr/cm<sup>3</sup>).
- MVSV= Masa volumétrica seca y varillada (gr/cm<sup>3</sup>).
- M= Masa del recipiente lleno con el agregado menos la masa conocida del recipiente en gramos.
- V= Volumen conocido del recipiente en cm<sup>3</sup>.

### Especificaciones.

Los resultados deben tener una aproximación a la unidad y deben ser reportados en Kg/m<sup>3</sup>.

El sitio donde se efectúen las pruebas no debe estar expuesto al sol ni a corrientes de aire.

Durante la ejecución de las pruebas, las condiciones ambientales del lugar deben ser estables.

(NMX-C-073-ONNCCE, 2014)

### 3.1.1.8. Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados.

La granulometría de los agregados nos ayuda a conocer la distribución de los diámetros de las partículas y el módulo de finura. Esto se logra gracias a un análisis granulométrico, el cual consiste en hacer pasar por una serie de mallas o matices la muestra representativa de arena.

#### Equipo necesario:

- Un juego de mallas del No. 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200, una charola y una tapa.
- Una balanza o báscula.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



- Charolas y espátulas.
- Cepillo de cerdas y alambres.
- Hojas de papel.
- Máquina agitadora para cribado.

### **Procedimiento.**

1. La muestra de arena se reduce para el ensayo mediante el procedimiento explicado en el inciso 3.1.1.5, por el método “A” cuarteo mecánico.
2. Se toma una muestra representativa de aproximadamente 600 gramos (Ilustración 32).
3. Las mallas se preparan en orden decreciente, asegurándonos de que encajen adecuadamente unas con otras y se colocan en la máquina agitadora de tamices (Ilustración 33).
4. Se programa la máquina agitadora para un tiempo de aproximadamente 10 minutos (Ilustración 34).
5. Una vez que concluya el tiempo, se retiran los tamices y en la mesa se marcan las hojas con el número de malla para colocar en ellas el retenido que queda en dicha malla.
6. Con cuidado se debe ir retirando tamiz por tamiz y se deben limpiar de lo más minucioso posible con ayuda de los cepillos de cerdas y alambres para evitar la pérdida de partículas (Ilustración 35).
7. Se procede a pesar el material retenido que fue colocado en las hojas correspondientes en cada malla y se registra el valor individual del agregado fino retenido (Ilustración 36).
8. La muestra representativa debe reincorporarse y almacenarse en caso de que sea requerida posteriormente (Ilustración 38).



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



Ilustración 32. Muestra representativa para hacer el análisis granulométrico. Fuente: Propia



Ilustración 33. Cribas ordenadas para utilizar el agitador mecánico. Fuente: Propia



Ilustración 34. Agitador de tamices con el juego de mallas cribando la arena. Fuente: Propia



Ilustración 35. Limpieza de las cribas con ayuda del cepillo para evitar la pérdida de partículas. Fuente: Propia



Ilustración 36. Proceso de pesado de material retenido en la charola. Fuente: Propia



Ilustración 37. Distribución de partículas según lo retenido en los distintos tamices. Fuente: Propia



Ilustración 38. La muestra representativa fue resguardada. Fuente: Propia

### Cálculos.

Los cálculos para obtener los resultados de la granulometría se indican en la tabla 6.

Tabla 6. Cálculos para obtener los resultados de granulometría.

Granulometría	<p>Se calculan los porcentajes basándose en la masa total de la muestra incluyendo el material que pasó la criba No. 0.075 (200).</p> $\%Retenido = \frac{\text{Masa retenida en la malla No. "n"}}{\text{Masa total de la muestra}}$
---------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### Especificaciones.

El juego de cribas tiene que cumplir con lo establecido en la NMX-B-231.

La muestra para la prueba de agregado fino se seca en el horno y debe tener una masa aproximada a las cantidades siguientes:

- Agregados que tienen por lo menos el 95% que pasa la criba No. 8 a 100 gramos.
- Agregados que tienen por lo menos el 85% que para la criba No. 4 y se retiene más del 5% en la criba No. 8 a 500 gramos.

(NMX-C-077-ONNCCE, 2019)



### 3.1.2. Cementantes hidráulicos.

En esta investigación se utilizó un Cemento Portland CPC 30R RS, Cal hidratada y Cemento de Albañilería.

Al igual que el agregado fino, se deben conocer las características de dichos cementantes para llevar un control de calidad de los materiales que componen el mortero.

#### 3.1.2.1. Cemento Portland.

De las pruebas que se realizaron a el cemento Portland fueron las indicadas en la tabla 7.

*Tabla 7. Ensayo, normativa y característica obtenida del cemento hidráulico.*

Ensayo de laboratorio	Característica del cemento hidráulico que se obtuvo	Norma para llevar a cabo el ensayo
Determinación de la consistencia normal.	Consistencia normal	NMX-C-057-ONNCCE-2015
Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (Método Vicat)	Tiempo de fraguado del cemento hidráulico	NMX-C-059-ONNCCE-2017.
Determinación de la densidad.	Densidad del cemento	NMX-C-152-ONNCCE-2015.

Adicionalmente se realizó la prueba de densidad a la cal hidratada y las pruebas de masa volumétrica seca suelta tanto a la cal hidratada como al mortero, esto con fines de diseño de la mezcla de mortero.

##### 3.1.2.1.1. Determinación de la consistencia normal.

###### Equipo necesario:

- Muestra representativa de cemento.
- Agua
- Balanza o báscula.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



- Recipiente para elaborar la mezcla.
- Aparato de Vicat.
- Un cristal liso.
- Probeta.
- Pesas para realizar la prueba.
- Cronómetro.
- Espátula.
- Guantes de hule.

### Procedimiento:

1. Se pesan 600 gramos de cemento y se vierten en el recipiente formando un pequeño cráter con el cemento.
2. Se fija una cantidad de agua en porcentaje respecto al peso del cemento (600 gramos).
3. Se mide el agua en la probeta y se vierte en el cráter formado anteriormente (Ilustración 39), en este instante del contacto del agua con el cemento se debe iniciar el conteo de un cronómetro.
4. En 30 segundos, se lleva el material de las orillas al centro del cráter buscando que todo el cemento se humedezca.
5. En los siguientes 30 segundos se deja reposar la mezcla sobre el recipiente para que la humedad pueda homogeneizar toda la mezcla.
6. Con los guantes de hule humedecidos se hace el amasado de la pasta durante 1 minuto y 30 segundos (Ilustración 40). En los primeros 30 segundos, se mezcla la masa golpeándola con la mano hasta lograr que sea homogénea. En los siguientes 30 segundos se forma una esfera con la mezcla y se debe lanzar de una mano a la otra a una distancia de aproximadamente 15 centímetros (Ilustración 41), esto se realiza un total de 6 veces. En los últimos 30 segundos, se deja reposar la mezcla sobre una mano.
7. Se introduce la pasta en la boca ancha del anillo del aparato de Vicat mientras la boca menos ancha se apoya sobre el cristal liso.





8. Se retira el exceso que sobresale de la boca ancha del anillo.
9. Se coloca ahora la boca ancha sobre el cristal y se enrasa (Ilustración 42).
10. Se ajusta el aparato de Vicat y se deja caer la aguja sobre la superficie de la pasta, pasados 30 segundos se toma la lectura de penetración de la aguja. (Ilustraciones 43 y 44)



*Ilustración 39. Cráter formado con cemento siendo hidratado. Fuente: Propia*



*Ilustración 40. Inicio de amasado de la pasta. Fuente: Propia*



*Ilustración 41. Lanzado de la pasta de una mano a otra. Fuente: Propia*



*Ilustración 42. Pasta en el molde siendo enrasada. Fuente: Propia*



*Ilustración 43. Colocación de la pasta en el aparato de Vicat. Fuente: Propia*



*Ilustración 44. Penetración de la aguja a los 30 segundos de ser soltada. Fuente: Propia*

### **Especificaciones.**

La desviación estándar para un mismo operador y mismo laboratorio ha sido encontrada de 0.25; la desviación estándar entre laboratorios ha sido encontrada de 0.35. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados correctamente por el mismo operador y mismo laboratorio no deben diferir en no más de 0.7%. (NMX-C-057-ONNCCE, 2015)

### **3.1.2.1.2. Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (Método de Vicat).**

#### **Equipo necesario:**

- Muestra representativa de cemento.
- Agua
- Balanza o bascula.
- Recipiente para elaborar la mezcla.
- Aparato de Vicat.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



- Un cristal liso.
- Probeta.
- Pesas para realizar la prueba.
- Cronómetro.
- Espátula.
- Guantes de hule.

### **Procedimiento:**

1. Se pesan 600 gramos de cemento y se vierten en el recipiente formando un pequeño cráter con el cemento.
2. Se fija una cantidad de agua en porcentaje respecto al peso del cemento (600 gramos).
3. Se mide el agua en la probeta y se vierte en el cráter formado anteriormente, iniciando el conteo de un cronómetro al momento del contacto del agua con el cemento.
4. En 30 segundos, se lleva el material de las orillas al centro del cráter buscando que todo el cemento se humedezca.
5. En los siguientes 30 segundos se dejó reposar la mezcla sobre el recipiente para que la humedad pueda homogeneizar toda la mezcla (Ilustración 45).
6. Con los guantes de hule humedecidos se hace el amasado de la pasta durante 1 minuto y 30 segundos. En los primeros 30 segundos, se mezcla la masa golpeándola con la mano hasta lograr que sea homogénea. En los siguientes 30 segundos se forma una esfera con la mezcla (Ilustración 46) y se debe lanzar de una mano a la otra a una distancia de aproximadamente 15 centímetros, esto se realiza un total de 6 veces. En los últimos 30 segundos, se deja reposar la mezcla sobre una mano.
7. Se introduce la pasta en la boca ancha del anillo del aparato de Vicat mientras la boca menos ancha se apoya sobre el cristal liso.
8. Se retira el exceso que sobresale de la boca ancha del anillo.
9. Se coloca ahora la boca ancha sobre el cristal y se enrasa.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



10. Se coloca la muestra en el cuarto húmedo durante 30 minutos (Ilustración 47) y transcurridos estos, se toma la medida de la penetración de la aguja con el aparato de Vicat.
11. Desde este punto se toman medidas cada 15 minutos hasta que se obtiene una penetración igual o menor a 25 mm. (Ilustración 48).
12. Se hacen las penetraciones en la pasta hasta que la aguja ya no deje marca en la pasta al efectuar la penetración (Ilustración 49).



*Ilustración 45. Se preparó la mezcla del mismo modo que para el ensayo de consistencia normal.  
Fuente: Propia*



*Ilustración 46. Amasado y colocación en el molde. Fuente: Propia*



*Ilustración 47. Pasta colocada en el cuarto húmedo. Fuente: Propia*



Ilustración 48. Medición al momento del fraguado inicial. Fuente: Propia



Ilustración 49. Medición al momento de fraguado final. Fuente: Propia

### **Especificaciones.**

Las penetraciones no deben efectuarse a una distancia menor de 6 mm unas de otras y ninguna de ellas se hace a una distancia menor de 9 mm de la parte interior del cono troncocónico. Todas las lecturas de las penetraciones deben quedar registradas. (NMX-C-059-ONNCCE, 2017)

#### **3.1.2.1.3. Determinación de la densidad.**

La densidad del cemento portland es una característica física que es útil en la elaboración de proporcionamientos.

#### **Equipo necesario:**

- Frasco de LeChatelier.
- Balanza o báscula.
- Petróleo.
- Recipiente con agua.
- Embudo de cristal.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



- Una muestra representativa de aproximadamente 60 gramos de cemento.

### Procedimiento:

1. Se vierte petróleo en el frasco de LeChatelier, hasta un nivel entre las marcas de 0 y 1 mililitro (Ilustración 50).
2. Se sumerge el frasco y se gira para que el aire salga de él.
3. Se deja sumergido en el agua para que la temperatura del petróleo se estabilice (Ilustración 51).
4. Pasado un tiempo, se toma la lectura del petróleo y se registra como Li.
5. Se pesan aproximadamente 60 gramos de cemento hidráulico.
6. Con ayuda del embudo, se debe introducir lentamente el cemento cuidando que no se obstruya el frasco (Ilustración 52).
7. Se tapa el frasco y se gira horizontalmente para sacar el aire que queda atrapado entre el cemento (Ilustración 53).
8. Se deja estabilizar la temperatura del frasco sumergiéndolo en agua y se toma la lectura, la lectura se toma en la parte inferior del menisco que se forma en la circunferencia del frasco. La lectura se registra como Lf (Ilustración 54).



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



*Ilustración 50. Llenado de petróleo entre las marcas de 0 y 1 ml.  
Fuente: Propia*



*Ilustración 51. Estabilización de la temperatura. Fuente: Propia*



*Ilustración 52. Introducción del cemento con ayuda del embudo.  
Fuente: Propia*



*Ilustración 53. Extracción del aire atrapado entre el cemento. Fuente: Propia*



*Ilustración 54. Toma del valor en la parte inferior del menisco. Fuente: Propia*



### Cálculos.

Los cálculos necesarios para obtener la densidad del cemento se indican en la siguiente tabla.

Tabla 8. Cálculo de la densidad.

Densidad	$\rho = \frac{\text{Masa del cemento en gramos}}{L_f - L_i}$
----------	--------------------------------------------------------------

Dónde:

$\rho$  = Densidad en gramos/cm<sup>3</sup>

$L_i$  = Lectura inicial del reactivo (Petróleo) en ml.

$L_f$  = Lectura final en ml.

### Especificaciones.

Se ha encontrado que la desviación estándar, obtenida a través de las determinaciones efectuadas por el mismo operador es de 0.012 g/cm<sup>3</sup>. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados correctamente por el mismo operador, en el mismo laboratorio, sobre la misma muestra; no deben diferir una de otra por más de 0.03 g/cm<sup>3</sup>. (NMX-C-152-ONNCCE, 2015)

### 3.1.2.2. Cal hidratada.

La cal hidratada se utiliza en ciertas mezclas de mortero, ya que la adición de esta a la mezcla le proporciona mejoras en su trabajabilidad y plasticidad. A la cal hidratada se le realizó una caracterización con fines de conocer sus propiedades como la masa volumétrica seca y suelta y la densidad, estas propiedades son importantes al momento de realizar un diseño de mezclas en volumen.

#### 3.1.2.2.1. Densidad en la cal hidratada.

#### Equipo necesario:

- Frasco de LeChatelier.
- Balanza o báscula.





## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



- Petróleo.
- Recipiente con agua.
- Embudo de cristal.
- Una muestra representativa de aproximadamente 60 gramos de cemento.

### **Procedimiento.**

1. Se vierte petróleo en el frasco de LeChatelier, hasta un nivel entre las marcas de 0 y 1 mililitro.
2. Se sumerge el frasco y se gira para que el aire salga de él.
3. Se deja sumergido en el agua para que la temperatura del petróleo se estabilice.
4. Pasado un tiempo, se toma la lectura del petróleo y se registra como Li (Ilustración 55).
5. Se pesan aproximadamente 60 gramos de cal hidratada.
6. Con ayuda del embudo, se debe introducir lentamente la cal hidratada cuidando que no se obstruya el frasco (Ilustración 56).
7. Se tapa el frasco y se gira horizontalmente para sacar el aire que queda atrapado entre las partículas de cal.
8. Se deja estabilizar la temperatura del frasco sumergiéndolo en agua y se toma la lectura, la lectura se toma en la parte inferior del menisco que se forma en la circunferencia del frasco. La lectura se registra como Lf (Ilustración 57).



*Ilustración 55. Lectura inicial al introducir el petróleo. Fuente: Propia*



*Ilustración 56. Se introduce la cal con ayuda del embudo. Fuente: Propia*



*Ilustración 57. Lectura final al ya haber introducido la cal. Fuente: Propia*

### **Cálculos.**

El cálculo para obtener la densidad de la cal es el indicado en la tabla 8, indicado en el inciso 3.1.2.1.3.

### **3.1.2.2.2. Masa volumétrica seca y suelta de la cal hidratada.**

#### **Equipo necesario:**

- Recipiente con masa y volumen conocido.
- Cucharón.
- Báscula.
- Una muestra representativa por lo menos 1.5 veces la capacidad del recipiente.
- Varilla lisa de punta de bala de 5/8.

#### **Procedimiento.**

1. Se llena el recipiente hasta un poco más de su límite.



2. Con ayuda de la varilla se enrasa el recipiente.
3. Al retirarlo se limpia para que no se quede material adherido en el exterior del recipiente.
4. Se pesa en la báscula y se registra como masa M. (Ilustración 58)



Ilustración 58. Registro de la masa M. Fuente: Propia

### Cálculos.

Los cálculos para calcular la MVSS se indican en la tabla 5, en el inciso 3.1.1.7.

#### 3.1.2.2.3. Cemento de albañilería.

##### 3.1.2.2.3.1. Masa volumétrica seca y suelta del cemento de albañilería.

Se realizó este ensayo para conocer la masa volumétrica seca y suelta del cemento de albañilería, bajo el mismo procedimiento descrito en el inciso 3.1.2.2.2.

Este ensayo se realiza para conocer el volumen que ocupa el cemento de albañilería en estado seco y suelto en la mezcla de mortero.



### 3.1.3. Agua.

La calidad de agua que es utilizada en la elaboración de los morteros debe cumplir con los límites máximos de calidad establecidos por la NMX-C-122-ONNCCE-2004, dicho análisis fue realizado por el laboratorio de calidad del agua perteneciente al departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, el reporte de dicho análisis se presenta en la tabla No. 31 del capítulo 4.1.3 de la sección de resultados.

### 3.2. Diseño del mortero.

El diseño de las mezclas de mortero se realizó de acuerdo a lo establecido en las normas NMX-C-486-ONNCCE-2014 y N-CMT-2-01-004/02, considerando el proporcionamiento en partes en volumen tanto de cemento portland y arena, como de cemento portland, cal y arena y finalmente de cemento portland, cemento de albañilería y arena.

#### 3.2.1. Proporcionamiento por partes en volumen.

El proporcionamiento por partes en volumen se hizo tratando de utilizar diferentes cantidades de arena dentro del abanico que marcan las normas, las cuales se indican en las tablas siguientes.

*Tabla 9. Proporcionamientos sugeridos 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	
	1	½ a 1	0	
III	1	0	½ a 1 ¼	

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el proporcionamiento que se sugiere en la N-CMT-2-01-004/02, la variación de arena para todas las proporciones de cemento Portland,



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



cemento de albañilería o cal es de no menos de 2.25 ni más de 4 veces la suma de los cementantes en volumen.

*Tabla 10. Proporcionamiento sugerido en la NMX-C-486-2014.*

Tipo de mortero	Partes de cemento hidráulico	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal hidratada	Partes de arena
I	1	-	0 a ¼	No menos de 2.25 ni más de 3 veces la suma de cementantes en volumen.
	1	0 a ½	-	
II	1	-	¼ a ½	
	1	½ a 1	-	
III	-	-	-	
	1	-	½ a 1 ¼	
IV	1	-	1 ½ a 2	
	-	1	-	

Como se indica en las tablas 9 y 10, el proporcionamiento que se sugiere en la N-CMT-2-01-004/02 es un poco más restrictivo respecto a lo indicado en la norma NMX-C-486-2014, incluso, en esta se indica un proporcionamiento para morteros tipo IV, el cual incluye una mezcla en la que solo se utiliza cemento de albañilería, pero en las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, únicamente se considera dos tipos de mortero, el tipo I y el tipo II, debido a que los morteros de los otros tipos alcanzan una resistencia a la compresión simple a los 28 días baja para considerarlos como morteros para uso estructural.

### 3.2.2. Ensayo de fluidez.

La fluidez es 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)

El ensayo de fluidez es un indicador para determinar la cantidad de agua necesaria para que el mortero sea trabajable, la capacidad de la mezcla de absorción de agua sin tener presencia



de segregación o el sangrado de la misma y buscando que se tenga un periodo de tiempo suficiente desde el contacto de la mezcla de cementantes con agregado fino con el agua para su correcta colocación incluso cuando hay contacto con superficies con la capacidad de absorber o restar agua a la mezcla.

**Equipo necesario:**

- Mesa de fluidez.
- Cuchara de albañil.
- Molde para fluidez.
- Franela.
- Pisón.
- Regla para fluidez.

**Procedimiento:**

1. Una vez que se realizó el mezclado mecánicamente (Ilustración 59), esto de acuerdo a la norma NMX-C-085-ONNCCE, se prepara la mesa de fluidez, limpiando la parte superior del platillo, secándola y por último se coloca el molde en el centro de la mesa.
2. Se llena el molde en dos capas, de aproximadamente 25 mm cada capa, al completar la primera capa se deben dar 25 golpes con el pisón, después se llena el molde y se vuelven a dar 25 golpes con el pisón (Ilustración 60).
3. Se enrasa el molde (Ilustración 61).
4. Desde que se termina el mezclado e inicia el llenado del molde, debe transcurrir un minuto, luego del minuto, se retira el molde y se deja caer el plato de la mesa de fluidez un total de 25 veces en 15 segundos (Ilustración 62).
5. Al terminar de dar los golpes con la mesa de fluidez, se mide el diámetro formado por la mezcla de mortero en 4 direcciones, cada una debe ser a 45°, la mesa de fluidez en su platillo, tiene unas líneas que indican donde debe hacerse las mediciones (Ilustración 63).
6. Cuando se alcanza la fluidez necesaria se termina el ensayo.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



*Ilustración 59. Mezclado mecánico del mortero. Fuente: Propia*



*Ilustración 60. Apisonado en el molde sobre la mesa de fluidez. Fuente: Propia*



*Ilustración 61. Enrasado del molde. Fuente: Propia*



*Ilustración 62. Mortero previo a los 25 golpes con la mesa de fluidez. Fuente: Propia*



*Ilustración 63. Medición del diámetro extendido de la mezcla de mortero. Fuente: Propia*

### **Cálculos.**



Se suman las 4 mediciones del diámetro del mortero que fueron tomadas una vez terminado el ensayo.

### **Especificaciones.**

La mesa de fluidez debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma mexicana NMX-C-144-ONNCCE. (NMX-C-061-ONNCCE, 2015)

La cantidad de agua debe ser la que produzca una fluidez de  $110\% \pm 5\%$  (NMX-C-061-ONNCCE, 2015)

El contenido de agua debe limitarse de tal forma que sea la mínima que permita que la mezcla sea lo suficientemente fluida para su uso en pega de piezas, relleno de celdas y otros usos que requieran una mezcla fluida. El valor de la fluidez para el mortero empleado para pegar piezas de mampostería, determinado en laboratorio, mediante la mesa de fluidez debe ser de 125% a 130%. (NMX-C-486-ONNCCE, 2014)

### **3.2.3. Moldeado de especímenes cúbicos de 5 cm de arista.**

Se elaboraron especímenes cúbicos de 5 centímetros de arista de las mezclas realizadas una vez que alcanzaron la fluidez especificada en las normas, un mínimo de 105% y un máximo de 130%.

#### **Equipo necesario:**

- Moldes cúbicos de 5 centímetros de arista.
- Pisón de hule sintético con caras planas
- Cuchara de albañil.
- Guantes de hule.

#### **Procedimiento:**

1. Se limpian los moldes y se engrasan muy bien en todas sus caras y aristas.





2. Una vez que la mezcla cumplió con la fluidez necesaria, obtenida mediante el método descrito en el capítulo anterior, se inicia el moldeado de los especímenes.
3. Se llenan 6 especímenes cúbicos, primero se llenan a la mitad, aproximadamente 25 milímetros y se deben dar un total de 32 apisonadas en 4 vueltas. Cada vuelta se inicia a 90° de la vuelta anterior (Ilustraciones 64 y 66).
4. Una vez terminada la primera capa se llena la segunda capa siguiendo el procedimiento descrito en el paso anterior y, al terminar de dar los 32 golpes con el pisón, se enrasa con ayuda de la cuchara de albañil.
5. El llenado, apisonado y enrasado de los cubos se realiza con guantes de hule en todo momento para evitar restarle o inducirle humedad a la mezcla de mortero.



Ilustración 64. Apisonado de especímenes cúbicos. Fuente: Propia



Ilustración 65. Fraguado de especímenes. Fuente: Propia

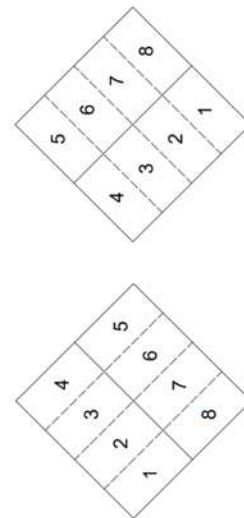


Ilustración 66. Orden en el que se deben dar las apisonadas entre capas. Fuente: NMX-C-061-ONNCCE-2015

### Especificaciones.

Los moldes para la elaboración de los especímenes cúbicos deben ser de un metal no atacable por los morteros, de dureza no menos de B-55 de la escala Rockwell. Los moldes deben tener cavidades cúbicas de 50 mm por lados y no tener más de 3 de ellas por molde. La preparación



de los especímenes se debe empezar dentro de un tiempo no mayor de 2 minutos y 30 segundos a partir de haber terminado el mezclado inicial del mortero. (NMX-C-061-ONNCCE, 2015)

### 3.3. Ensayos a especímenes.

Los ensayos realizados a los especímenes, fueron no destructivos y posteriormente destructivos, se realizaron los ensayos de resistividad eléctrica y compresión simple a las edades de 7 días y 28 días a partir de la elaboración de los especímenes.

#### 3.3.1. Ensayos no destructivos.

Un ensayo no destructivo nos permite conocer parámetros de los especímenes de un modo tal que, como el nombre lo menciona, el espécimen no es destruido. En este caso, el ensayo de resistividad eléctrica nos permite conocer un valor el cual es indicador de la oposición que existe del flujo de electrones desde un punto del espécimen a otro lado del mismo, el ensayo se realiza al espécimen estando totalmente saturado, esto también es útil para conocer la porosidad del espécimen.

##### 3.3.1.1. Resistividad eléctrica.

Como se mencionó en el capítulo anterior, el ensayo de resistividad eléctrica, es un ensayo no destructivo que nos permite evaluar varias propiedades del mortero, ya que este resultado es un índice de porosidad del espécimen y a su vez es un índice que permite conocer la oposición al flujo de electrones, todo esto en función del tamaño, forma, elemento o estructura.

#### **Equipo necesario:**

- Resistómetro.
- Vernier.
- Superficie no conductora de electricidad.
- 2 placas de acero inoxidable.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



- 2 pedazos de franela un poco más grandes que la cara del espécimen.
- Pistola de temperatura.
- Recipiente con agua.
- Objeto no conductor de electricidad para colocar en la parte superior del espécimen.

### **Procedimiento:**

1. Con los especímenes en proceso de curación inmersos en agua, se retiran los especímenes a realizar el ensayo y se les hace una medición de la temperatura.
2. Se debe esperar a que la temperatura del espécimen se estabilice con la temperatura ambiente, transcurridos unos minutos se vuelve a tomar la temperatura y se repite este paso hasta que la variación de una medición a otra sea mínima.
3. Con ayuda del vernier se toman las dimensiones de las caras en las que se va a hacer contacto las placas de acero y el espesor del espécimen.
4. A continuación, se procede a la instalación del resistómetro (Ilustración 67), se conectan los cables en sus respectivos lugares y se coloca sobre la superficie no conductora de electricidad.
5. Se coloca sobre la superficie la placa de acero inoxidable y sobre esta el trozo de franela humedecido.
6. Los especímenes se sumergen en agua para que se humedezcan superficialmente y se colocan sobre la franela, sobre el espécimen se coloca el otro trozo de franela humedecido y sobre esta la placa de acero y por último el objeto no conductor a la electricidad que, por ejemplo, puede ser un fragmento de concreto, esto para que haga presión y se asegure el contacto de la placa con el espécimen. (Ilustración 68)
7. Se toma la resistencia eléctrica húmeda (REH) al espécimen utilizando el resistómetro y se registra como  $R_e$ .
8. Se realiza la corrección por temperatura, procedimiento el cual se describe más adelante.



Ilustración 67. Montado del resistómetro. Fuente: Propia



Ilustración 68. Ensayo de resistividad eléctrica. Fuente: Propia

### Cálculos.

El cálculo para obtener la resistividad de los especímenes cúbicos y la ecuación de Arrhenius para la corrección de la medida de resistividad por efecto de la temperatura se indican en la tabla 11.

Tabla 11. Cálculo para obtener la resistividad.

Resistividad	$\rho = R_e \frac{A}{L}$
Resistividad a temperatura de referencia	$\rho_{ref} = \rho_o * e^{\alpha[\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_o}]}$

Dónde:

P= Resistividad eléctrica en Ohm-cm

R<sub>e</sub>= Resistencia eléctrica tomada con el resistómetro en Ohm.

A= Área de contacto del espécimen con la placa de acero en cm<sup>2</sup>.

L= Longitud del espécimen en cm.

$\rho_{ref}$  = resistividad a temperatura de referencia (Ohm-m)

$\rho_o$  = resistividad a temperatura de prueba (Ohm-m)

T<sub>0</sub> = temperatura de la prueba (°K)



$T_{ref}$  = Temperatura de referencia a 23 °C (296.15 °K)

### Corrección de la medida de resistividad por efecto de la temperatura.

El procedimiento para realizar la corrección por temperatura a la resistividad eléctrica se describe a continuación.

Para corregir la variación en las mediciones de resistividad por efecto de la temperatura y, llevar estas mediciones a el valor que tendrían si hubieran sido tomados a los 23 °C se utiliza la ecuación de aproximación de Arrhenius, presentada en la tabla 11 de este mismo inciso.

La deducción de la ecuación es la siguiente.

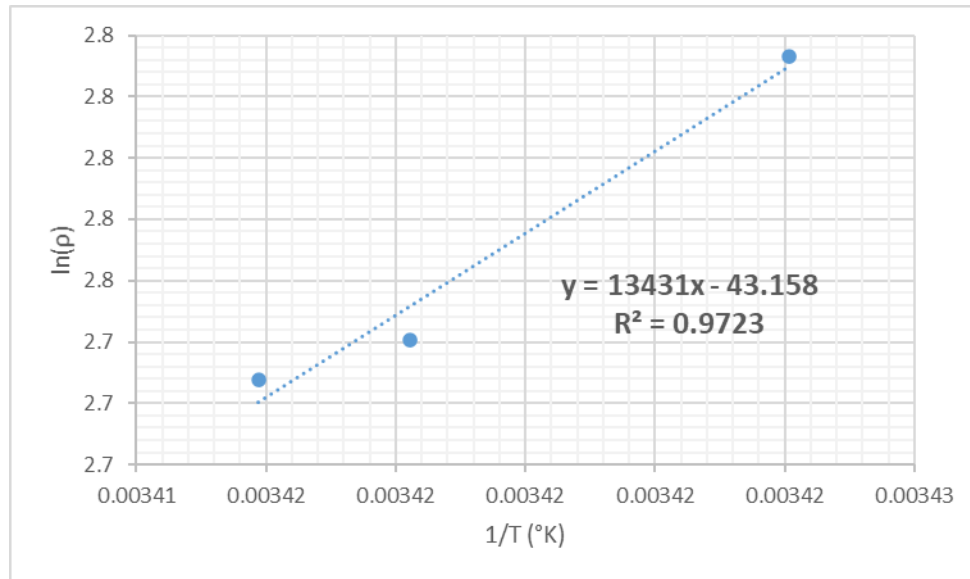


Ilustración 69. Inverso de la temperatura (°K) contra logaritmo natural de la resistividad a la temperatura que fue medida. Fuente: Propia

En la ilustración 69, si se tomará cualquier valor dentro de la línea de tendencia lineal, tendría una pendiente  $m$ ;  $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$  se obtiene un coeficiente de variación  $\alpha$ , que representa la

variación entre los valores de resistividad en función de la temperatura;  $\alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ , que tiene unas coordenadas  $P_1(\frac{1}{T_0}, \ln(\rho_0))$  y  $P_2(\frac{1}{T_{ref}}, \ln(\rho_{ref}))$ . Y con esto, entonces el coeficiente  $\alpha$

es igual a  $\alpha = \frac{\ln(\rho_{ref}) - \ln(\rho_0)}{\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_0}}$ , simplificando  $\alpha = \frac{\ln(\frac{\rho_{ref}}{\rho_0})}{\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_0}}$  y, despejando  $\rho_{ref}$ ;



$\alpha * \left[ \frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_0} \right] = \ln \left( \frac{\rho_{ref}}{\rho_0} \right)$  , entonces,  $e^{\alpha * \left[ \frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_0} \right]} = e^{\ln \left( \frac{\rho_{ref}}{\rho_0} \right)}$  la ecuación se simplifica  
 $e^{\alpha * \left[ \frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_0} \right]} = \frac{\rho_{ref}}{\rho_0}$  y, por último, se obtiene la ecuación de Arrhenius;

$$\rho_{ref} = \rho_0 * e^{\alpha * \left[ \frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_0} \right]}$$

### Procedimiento para la corrección de la medida de resistividad por efecto de la temperatura.

1. Se convierten los valores de resistividad eléctrica a unidades de Ohm-metro ( $\Omega$ -m) y los valores de temperatura a grados Kelvin (K) como se muestra en la ilustración 70.
2. Después, se obtienen los valores del logaritmo natural de la REH y la inversa de la temperatura.
3. Se gráfica el logaritmo natural de la REH en el eje de las ordenadas y la inversa de la temperatura en el eje de las abscisas, a estos puntos se agrega una línea de tendencia. (Ilustración 71) de la cual se obtiene la ecuación de la línea de tendencia, está pendiente representa el valor de  $\alpha$ .
4. Por último, se sustituye en la ecuación de Arrhenius los valores correspondientes, el resultado de esto es el valor de resistividad corregido por el efecto de la temperatura. (Ilustración 72)

Edad (días)	Resistividad (k $\Omega$ -cm)	Temperatura (°C)	Resistividad ( $\Omega$ -m)	Temperatura (°K)	ln de la Resistividad ln( $\rho$ )	1/T (°K)	Pendiente $\alpha$ (K)	T <sub>ref</sub> (°K)	$\rho_{ref}$ ( $\Omega$ -m)	$\rho_{ref}$ (k $\Omega$ -cm)
7	1.6	19.4	16	292.55	2.7	0.00342	13431	296.15	8.9	0.9
7	1.5	19.6	15	292.75	2.7	0.00342	13431	296.15	9.0	0.9
7	1.7	18.9	17	292.05	2.8	0.00342	13431	296.15	9.0	0.9
									promedio=	0.9

Ilustración 70. Procedimiento a seguir para obtener la resistividad eléctrica corregida. Fuente: Propia

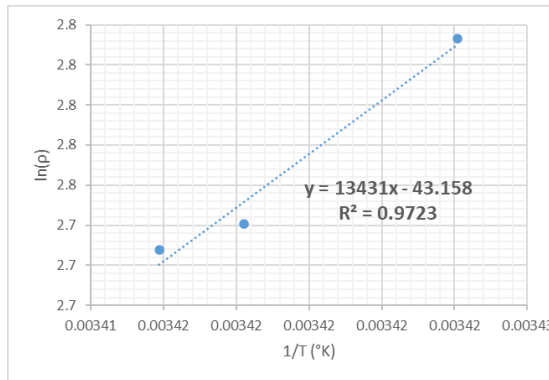


Ilustración 71. Gráfico donde se obtiene el valor  $a$ .  
Fuente: Propia

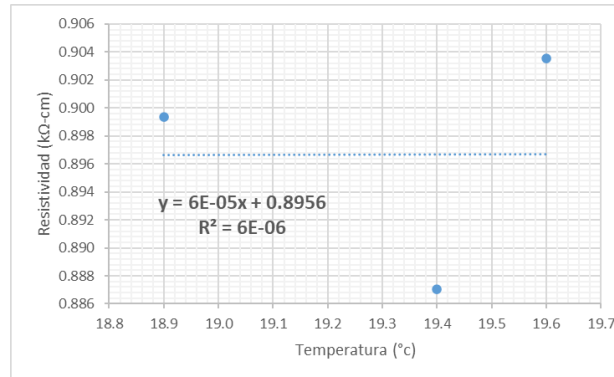


Ilustración 72. Coeficiente de variación y valores de la resistividad después de ser corregidos por el efecto de la temperatura. Fuente: Propia

## Especificaciones.

De acuerdo a lo establecido en la (NMX-C-514-ONNCCE, 2019) la resistividad eléctrica puede obtenerse por distintos medios, esto dependiendo de la forma del elemento o la estructura, obteniéndose la resistividad eléctrica real para especímenes colados y probados en laboratorio y la resistividad eléctrica aparente para elementos de estructuras de concreto hidráulico.

### 3.3.2. Ensayos destructivos.

Las normas referentes a morteros de uso estructural los clasifican de acuerdo a su resistencia a la compresión simple a los 28 días de edad, dado que este es un ensayo destructivo, debe ser el último ensayo en llevarse a cabo ya que esto nos imposibilitan el poder realizar más ensayos.

#### 3.3.2.1. Resistencia a la compresión simple.

La resistencia a la compresión simple es una característica físico-mecánica principal del mortero, es una propiedad que se define como la capacidad de soportar una carga por unidad de área y se expresa en unidades de esfuerzo como puede ser kg/cm<sup>2</sup>, MPa o psi.

#### Equipo necesario:



- Prensa hidráulica.
- Barras metálicas para ajustar el recorrido de la prensa hidráulica.

**Procedimiento:**

1. Se ajusta la prensa con las barras metálicas para ajustar el recorrido de la prensa, de acuerdo a las dimensiones de los especímenes cúbicos de 5x5 cm.
2. Se coloca el espécimen de acuerdo a las caras utilizadas en el ensayo de resistividad eléctrica. (Ilustración 73)
3. Se comienza a aplicar carga constante con la prensa hidráulica hasta llegar a su carga máxima, esta será cuando el espécimen falle. (Ilustración 74)
4. Se registra la carga máxima aplicada que aparece en el dispositivo de lectura.



Ilustración 73. Colocación del espécimen en la prensa hidráulica.  
Fuente: Propia



Ilustración 74. Aplicación de la carga constante al espécimen.  
Fuente: Propia



Ilustración 75. Falla presentada una vez alcanzada la carga máxima.  
Fuente: Propia

**Cálculos:**

El cálculo para obtener la resistencia a la compresión simple se indica en la tabla 12.

Tabla 12. Cálculo para obtener la resistencia a la compresión simple.

Resistencia a la compresión simple.	$f_j = \frac{C_{m\acute{a}x}}{A}$
-------------------------------------	-----------------------------------





Dónde:

$f_j$  = Resistencia a la compresión simple en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

$C_{\text{máx}}$  = Carga máxima aplicada al espécimen en kg.

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

### **Especificaciones.**

Al calcular la resistencia a compresión, generalmente puede considerarse el área de la sección transversal del espécimen de  $25 \text{ cm}^2$ , sin embargo, en los casos en que el área del espécimen varíe en más de  $0.3 \text{ cm}^2$  con relación al área de  $25 \text{ cm}^2$  se debe usar el área real. La resistencia a la compresión de todos los especímenes hechos de la misma muestra y ensayados a la misma edad se obtiene promediando los resultados. (NMX-C-061-ONNCCE, 2015)

### **3.3.3 Correlaciones entre resistividad eléctrica y compresión simple.**

La correlación que existe entre la resistividad eléctrica y la compresión simple se da de acuerdo a cómo afecta la porosidad a la resistencia a la compresión simple que, como se explicó en el capítulo 3.3.1.1, es un índice que conocemos con el ensayo de resistividad eléctrica y que, en teoría, a menor sea la resistividad que presente el espécimen, este es más poroso y por ello, la resistencia a la compresión del mismo espécimen menor. De acuerdo a la tesis de licenciatura “Evaluación físico-mecánica del concreto de alto desempeño adicionado con sílice, fibras de acero y un modificador de reología” se refiere a que en cuanto más poroso es un agregado, menos resistencia mecánica tiene, por lo tanto, cuando menor sea la absorción (del agregado), es más compacto y de mejor calidad (Maldonado H, 2020)



## 4. Resultados y discusiones.

### 4.1 Caracterización.

#### 4.1.1 Caracterización de agregados pétreos.

##### 4.1.1.1 Arena Río Huajúbaro (R).

En la tabla 13 se indican los resultados de los ensayos de caracterización realizados a la arena proveniente del Río Huajúbaro (Ilustración (76)).

Tabla 13. Resultados de caracterización de la arena del río Huajúbaro. (R)

Ensayo	Resultado
Densidad (NMX-C-165-ONNCCE-2020)	2.22 gr/cm <sup>3</sup>
Masa volumétrica seca y suelta (NMX-C-073-ONNCCE-2014)	1.18 gr/cm <sup>3</sup>
Masa volumétrica seca y varillada (NMX-C-073-ONNCCE-2014)	1.27 gr/cm <sup>3</sup>
Módulo de finura (NMX-C-077-ONNCCE-2019)	2.44
Absorción (NMX-C-165-ONNCCE-2020)	7.2%
Análisis granulométrico (NMX-C-077-ONNCCE-2019)	Se indica en la ilustración No. 79



Ilustración 76. Arena de río Huajúbaro (R). Fuente: Propia



#### 4.1.1.2 Arena volcánica de Banco Joyitas (J).

En la tabla 14 se indican los resultados de la caracterización a la arena originaria del banco de materiales “Joyitas” (Ilustración 77)

Tabla 14. Resultados de caracterización a la Arena negra (J)

Ensayo	Resultado
Densidad (NMX-C-165-ONNCCE-2020)	2.41 gr/cm <sup>3</sup>
Masa volumétrica seca y suelta (NMX-C-073-ONNCCE-2014)	1.37 gr/cm <sup>3</sup>
Masa volumétrica seca y varillada (NMX-C-073-ONNCCE-2014)	1.42 gr/cm <sup>3</sup>
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)	Se indica en la ilustración No. 80

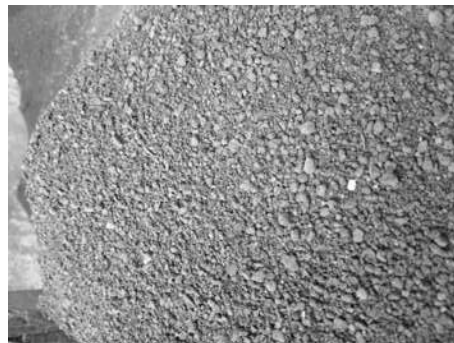


Ilustración 77. Arena negra (J). Fuente: Propia

#### 4.1.1.3 Arena de río, Banco El Coro (H).

En la tabla 15 se indican los resultados de la caracterización realizada a la arena de río del banco de materiales “El Coro” (Ilustración 78).

Tabla 15. Resultados de la caracterización a la arena de río del banco de materiales "El Coro".

Ensayo	Resultado
Densidad (NMX-C-165-ONNCCE-2020)	2.13 gr/cm <sup>3</sup>
Masa volumétrica seca y suelta (NMX-C-073-ONNCCE-2014)	1.23 gr/cm <sup>3</sup>



<b>Masa volumétrica seca y varillada (NMX-C-073-ONNCCE-2014)</b>	1.36 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Módulo de finura (NMX-C-077-ONNCCE-2019)</b>	2.13
<b>Absorción (NMX-C-165-ONNCCE-2020)</b>	6.0%
<b>Análisis granulométrico (NMX-C-077-ONNCCE-2019)</b>	Se indica en la ilustración No. 81



*Ilustración 78. Arena de río (H). Fuente: Propia*

#### 4.1.1.4 Muestreo.

El muestreo fue realizado de acuerdo a lo establecido en la (NMX-C-030-ONNCCE-2004), en el cual se tomaron muestras a las arenas de estudio; del río Huajúmbaro, de la arena negra del banco de materiales “Joyitas” y de la arena de río del banco de materiales “El Coro”. De cada arena se tomó una muestra representativa de aproximadamente 50 kilogramos, dichas muestras fueron recolectadas y almacenadas en costales en el Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas”.

#### 4.1.1.5 Reducción de la muestra de agregados al tamaño requerido de prueba.

Las muestras representativas se redujeron de acuerdo a lo establecido en la (NMX-C-170-ONNCCE, 2019), en la tabla 16 se indica el método por el cual se redujeron según el ensayo descrito en el capítulo 3.1.1.5, la cantidad necesaria y para que ensayo se requirió esa muestra.



*Tabla 16. Reducción de la muestra de agregados al tamaño requerido de prueba, ensayos, métodos de reducción y cantidad de material.*

<b>Ensayo</b>	<b>Método por el cual se redujo la muestra</b>	<b>Cantidad de material a la cual se redujo la muestra.</b>
<b>Densidad (NMX-C-165-ONNCCE-2020)</b>	Método "A" Mecánico	1000 gramos
<b>Masa volumétrica seca y suelta (NMX-C-073-ONNCCE-2014)</b>	Método "B" Manual	La necesaria para poder realizar el ensayo
<b>Masa volumétrica seca y varillada (NMX-C-073-ONNCCE-2014)</b>	Método "B" Manual	
<b>Módulo de finura (NMX-C-077-ONNCCE-2019)</b>	Método "A" Mecánico	600 gramos
<b>Humedad de absorción (NMX-C-165-ONNCCE-2020)</b>	Método "A" Mecánico	1000 gramos
<b>Análisis granulométrico (NMX-C-077-ONNCCE-2019)</b>	Método "A" Mecánico	600 gramos

#### 4.1.1.6 Determinación de la densidad relativa y absorción de agua de agregado fino.

##### **Densidad relativa.**

De acuerdo a los resultados obtenidos y mostrados en las tablas 13, 14 y 15 se tiene lo siguiente:

*Tabla 17. Resultados del ensayo de densidad relativa realizado a los agregados finos.*

<b>Agregado fino</b>	<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Arena río (R)</b>	2.22
<b>Arena negra (J)</b>	2.41
<b>Arena río (H)</b>	2.13



Los resultados de la densidad representan un índice de calidad del material, un valor alto de estos representa un material pesado, con muy pocos poros y, por el contrario, un valor bajo de la densidad significa que el material es muy poroso.

De los resultados presentados en la tabla 17, se puede observar que el material más denso es el proveniente del banco de materiales “El Coro” y el que resulta menos denso es el agregado fino del banco de materiales “Joyitas”, mientras que la arena de río Huajúbaro se encuentra en medio de los valores de los otros dos materiales.

Los resultados se expresan según lo especificado en la (NMX-C-165-ONNCCE, 2020).

### **Absorción.**

Los resultados de absorción de los diferentes agregados estudiados se muestran en la tabla 18.

*Tabla 18. Resultados del ensayo de absorción realizado a los agregados finos.*

<b>Agregado fino</b>	<b>Absorción (%)</b>
<b>Arena río (R)</b>	7.2 %
<b>Arena negra (J)</b>	4.8 %
<b>Arena río (H)</b>	6.0 %

De los resultados, la arena que tiene un porcentaje mayor de absorción es la arena de río (R), mientras que los valores de la arena negra (J) y la arena de río (H) no distan tanto entre ellos, siendo el menor la arena negra (J) seguido por la arena de río (H). Se puede observar además que la arena negra (J) que tiene una densidad mayor, le corresponde una menor absorción.

Los resultados se expresan de acuerdo a lo especificado en la (NMX-C-165-ONNCCE, 2020).

#### **4.1.1.7 Método de prueba para la determinación de la masa volumétrica de los agregados.**

##### **Masa volumétrica seca y suelta (MVSS)**



Los resultados del ensayo de masa volumétrica seca y suelta se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Resultados del ensayo de MVSS realizado a los agregados finos.

Agregado fino.	Masa volumétrica seca y suelta (gr/cm <sup>3</sup> )
Arena río (R)	1.18
Arena negra (J)	1.37
Arena río (H)	1.23

### Masa volumétrica seca y varillada (MVSV)

Tabla 20. Resultados del ensayo de MVSV realizado a los agregados finos.

Agregado fino.	Masa volumétrica seca y varillada (gr/cm <sup>3</sup> )
Arena río (R)	1.27
Arena negra (J)	1.42
Arena río (H)	1.36

Las masas volumétricas sirven como índices de calidad del agregado, este valor también se puede utilizar para el diseño de mezclas, para una conversión de un proporcionamiento por partes en volumen a uno dado en masa o viceversa. En el caso de los morteros diseñados para este estudio, la mezcla fue diseñada por partes en volumen, el agregado que se utilizó estaba seco y fue medido en estado suelto. También se puede observar los diferentes porcentajes en los que se incrementa el valor de la MVSV con respecto a la MVSS, siendo; la arena de río (R) 7.6%, la arena negra (J) 3.6% y la arena de río (H) 10.6%, lo cual se puede correlacionar con una mejor distribución de partículas en las arenas que tienen un mayor aumento, siendo las arenas de río (R) y (H).



#### 4.1.1.8 Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados.

A continuación, en las tablas se presentan los resultados del análisis granulométrico realizado a los distintos agregados.

Tabla 21. Análisis granulométrico realizado a la arena (R).

Apertura Malla (mm)	Peso de la muestra:	662.2 gr		Arena de río Huajúbaro (R)	
	Malla	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Ret acumulado	Calculado
4.76	4	0.00	0.00	0.00	100.00
2.36	8	23.60	3.56	3.56	96.44
1.18	16	91.40	13.80	17.37	82.63
0.6	30	198.20	29.93	47.30	52.70
0.3	50	202.20	30.53	77.83	22.17
0.15	100	132.00	19.93	97.77	2.23
0.075	200	10.40	1.57	99.34	0.66
0	Charola	4.40	0.66	100.00	0.00
-	Σ	662.20	100.00	<b>MF = 2.44</b>	





El módulo de finura es de 2.44 y se encuentra dentro de los límites especificados en la (NMX-C-111-ONNCCE, 2018), entre los valores 2.30 y 3.10, por lo que para esta característica se acepta este agregado.

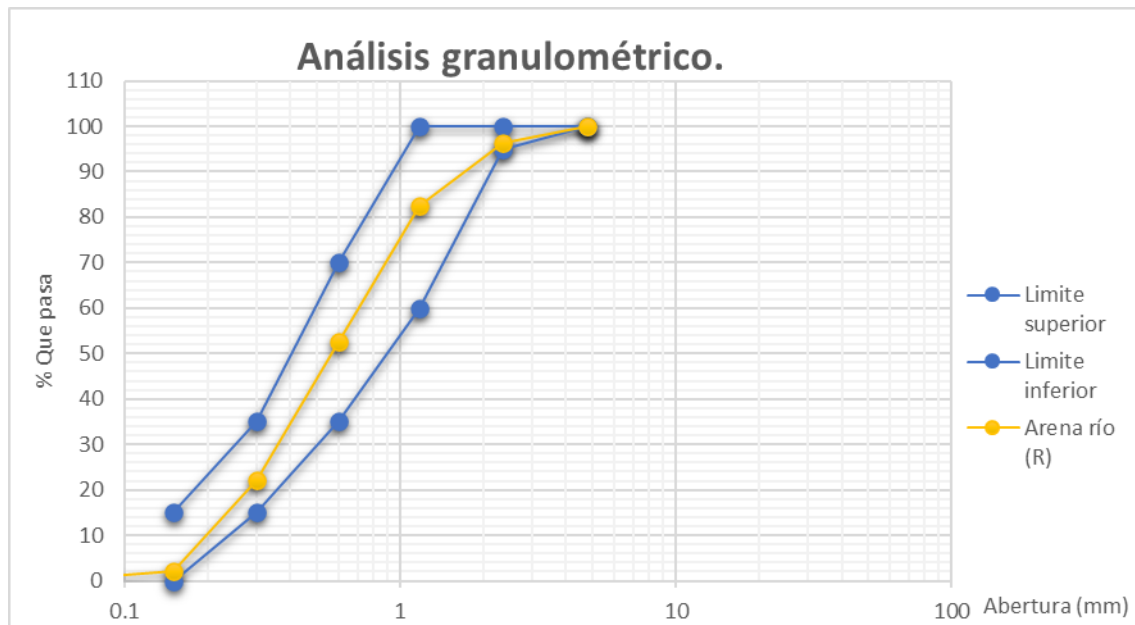


Ilustración 79. Resultado del análisis granulométrico de la arena de río Huajúbaro. Fuente: Propia

La arena se encuentra dentro de los límites granulométricos por lo que se acepta para su uso en la elaboración de morteros para uso estructural.

Tabla 22. Análisis granulométrico realizado a la arena (J).

Apertura Malla (mm)	Malla	689.8 gr		Arena negra (J)	
		Peso retenido (gr)	% Retenido	% Ret acumulado	Calculado
4.76	4	0.00	0.00	0.00	100.00
2.36	8	78.40	13.02	13.02	86.98
1.18	16	153.20	25.44	38.45	61.55
0.6	30	172.50	28.64	67.09	32.91
0.3	50	88.40	14.68	81.77	18.23
0.15	100	51.60	8.57	90.34	9.66

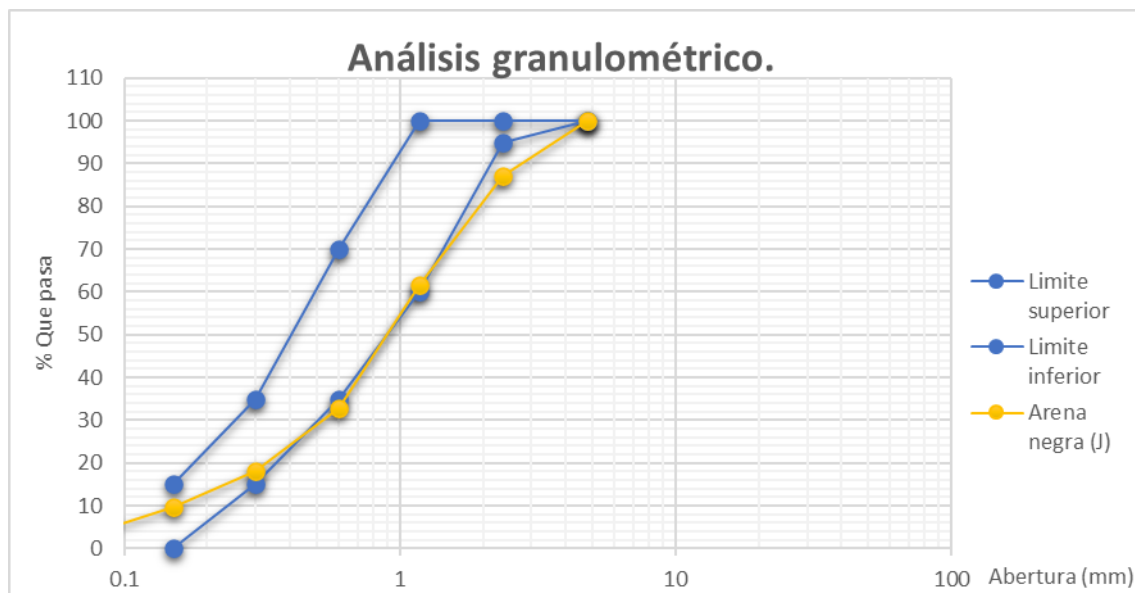


## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



<b>0.075</b>	200	37.60	6.24	96.58	3.42
<b>0</b>	Charola	20.60	3.42	100.00	0.00
<b>-</b>	$\Sigma$	602.3	100.00	<b>MF = 2.91</b>	

El módulo de finura es de 2.91 y se encuentra dentro de los límites especificados en la (NMX-C-111-ONNCCE, 2018), entre los valores 2.30 y 3.10, por lo que para esta característica se acepta este agregado.



*Ilustración 80. Resultado del análisis granulométrico de la arena negra del banco de materiales Joyitas. (J) Fuente: Propia*

La arena presenta una falta de tamaños en la malla No. 8, a pesar de esto, en los demás tamaños se encuentra dentro de los límites granulométricos, pero en la (NMX-C-111-ONNCCE, 2018), se menciona que si el agregado no cumple con las tolerancias se puede usar siempre y cuando los resultados de las pruebas realizadas a los concretos, en este caso, morteros sean satisfactorias, por lo que se consideró para la elaboración de los morteros de este estudio.

*Tabla 23. Análisis granulométrico realizado a la arena (H).*

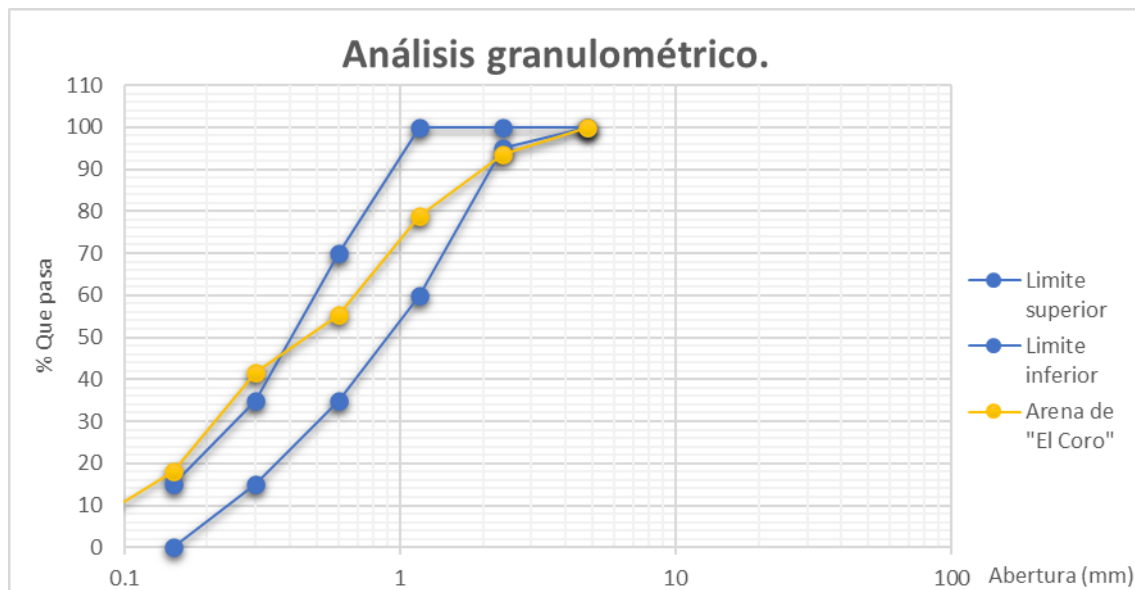
	<b>Peso de la muestra:</b>	<b>670.6 gr</b>	<b>Arena de río (H)</b>
--	----------------------------	-----------------	-------------------------



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



Apertura Malla (mm)	Malla	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Ret acumulado	Calculado
4.76	4	0.00	0.00	0.00	100.00
2.36	8	43.00	6.41	6.41	93.59
1.18	16	99.20	14.79	21.20	78.80
0.6	30	157.40	23.47	44.68	55.32
0.3	50	92.80	13.84	58.51	41.49
0.15	100	157.60	23.50	82.02	17.98
0.075	200	81.20	12.11	94.12	5.88
0	Charola	39.40	5.88	100.00	0.00
-	Σ	670.60	100.00	<b>MF = 2.13</b>	



*Ilustración 81. Resultado del análisis granulométrico de la arena de río del banco de materiales "El Coro". Fuente: Propia*

La arena presenta un exceso de tamaños en las mallas No. 50 y 100, a pesar de esto, en los demás tamaños se encuentra dentro de los límites granulométricos, además el módulo de finura no se encuentra dentro de los límites indicados en las especificaciones que marca la (NMX-C-111-ONNCCE, 2018), sin embargo, la norma menciona que si no se cumpliera con



las tolerancias indicadas, el agregado se puede usar siempre y cuando los resultados de las pruebas realizadas a los concretos, en este caso, morteros sean satisfactorias, por lo que se consideró para la elaboración de los morteros de este estudio.

## 4.1.2 Cementantes hidráulicos.

### 4.1.2.1 Cemento Portland.

#### 4.1.2.1.1 Determinación de la consistencia normal.

El resultado de la consistencia normal se presenta en la tabla 24.

Tabla 24. Resultados del ensayo de determinación de la consistencia normal.

<b>Consistencia normal</b>	
<b>Peso del cemento</b>	600 gramos
<b>Cantidad de agua en % respecto al peso del cemento</b>	32%

La consistencia normal es un ensayo necesario para obtener la cantidad de agua necesaria para que la aguja penetre  $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  la pasta de cemento durante 30 segundos a partir de haber iniciado la prueba, este valor obtenido de agua sirve de referencia para que sea el agua utilizada en la prueba de tiempos de fraguado.

En este caso, el porcentaje obtenido fue de 32% que corresponde a 192 gramos de agua o 192 mililitros.

#### 4.1.2.1.2 Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (Método de Vicat).

El resultado del ensayo de determinación del tiempo de fraguado se presenta en la tabla 25.



*Tabla 25. Resultados del ensayo de determinación de tiempo de fraguado por el método de Vicat.*

		<b>Penetración registrada (mm)</b>
<b>Tiempo de fraguado inicial (minutos)</b>	127.5	22
<b>Tiempo de fraguado final (minutos)</b>	250	0

El ensayo de tiempos de fraguado es un indicador que nos permite conocer si el cemento al contacto con el agua está llevando a cabo las reacciones químicas a velocidades de reacción correctas. Los límites establecidos por la (NMX-C-021-ONNCCE, 2015) se indican en la tabla 26.

*Tabla 26. Especificaciones que debe cumplir respecto a los tiempos de fraguado inicial y final.*

<b>Determinación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Condición</b>	<b>Especificación</b>
<b>Tiempo de fraguado inicial</b>	min	mínimo	45
<b>Tiempo de fraguado final</b>	min	máximo	600

De acuerdo a los resultados del ensayo realizado y a lo especificado en la (NMX-C-414-ONNCCE, 2017), el cemento utilizado en este trabajo se encuentra dentro de los límites establecidos en dicha norma.

#### 4.1.2.1.3 Determinación de la densidad.

En la tabla 27 se indica el resultado promedio del ensayo de determinación de la densidad realizada al cemento Portland.

*Tabla 27. Resultado del ensayo de densidad realizado al cemento Portland.*

<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.97</b>
-------------------------------------	-------------

La densidad del cemento portland es una característica física que es útil en la elaboración de proporcionamientos ya que nos permite conocer la relación de la masa del cemento por unidad de volumen.



#### 4.1.2.2 Cal hidratada.

##### 4.1.2.2.1 Densidad de la cal hidratada.

El resultado promedio del ensayo de densidad realizado a la cal hidratada se indica en la tabla 28.

Tabla 28. Resultado promedio del ensayo de densidad realizado a la cal hidratada.

<b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2.61</b>
-------------------------------------	-------------

Al igual que el resultado del ensayo de densidad al cemento Portland, la densidad de la cal es útil en la elaboración de los proporcionamientos, ya que permite conocer la masa contenida por unidad de volumen sin considerar la porosidad entre partículas.

##### 4.1.2.2.2 Masa volumétrica seca y suelta de la cal hidratada.

El resultado promedio del ensayo de masa volumétrica seca y suelta realizado a la cal hidratada se encuentra en la tabla 29.

Tabla 29. Resultado promedio del ensayo de masa volumétrica seca y suelta de la cal hidratada.

<b>MVSS (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.22</b>
---------------------------------	-------------

#### 4.1.2.3 Cemento de albañilería.

##### 4.1.2.3.1 Masa volumétrica seca y suelta del cemento de albañilería.

El resultado promedio del ensayo de masa volumétrica seca y suelta realizada al cemento de albañilería se indica en la tabla 30.



*Tabla 30. Resultado promedio del ensayo de masa volumétrica seca y suelta del cemento de albañilería.*

<b>MVSS (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1.63</b>
---------------------------------	-------------

### 4.1.3 Agua.

Los resultados de los análisis realizados al agua del Laboratorio de Materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la UMSNH, realizados por el Laboratorio de Calidad del Agua perteneciente al departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, bajo lo especificado en la NMX-C-122-ONNCCE-2004 se indican en la tabla 31.

*Tabla 31. Resultados de laboratorio realizados al agua utilizada en la elaboración de los morteros.*

Parámetro/ Unidades	Resultado	Límite Máximo Permisible NMX-C-122-ONNCCE-2014		Método de Prueba
<b>Sólidos en suspensión (SST mg/l)</b>	1.0	2000	Cumple	NMX-AA-034- SCFI-2001
<b>Sólidos Totales (ST mg/l)</b>	436	-----	-----	NMX-AA-034- SCFI-2001
<b>Total, de impurezas en solución Sólidos disueltos totales (SDT mg/l)</b>	435	3500	Cumple	NMX-AA-034- SCFI-2001
<b>Cloruros Cl- (mg/l)</b>	14.9	400	Cumple	NMX-AA-073- SCFI-2001
<b>Sulfatos como SO<sub>4</sub> (mg/l)</b>	10	3000	Cumple	NMX-AA-074- 1981
<b>Dureza magnésica (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	38.25	100	Cumple	NMX-AA-072- SCFI-2001
<b>Dureza Cálcica (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	27	-----	-----	NMX-AA-072- SCFI-2001
<b>Dureza Total (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	65.25	-----	-----	NMX-AA-072- SCFI-2001
<b>Carbonatos CO<sub>3</sub>(mg/l)</b>	1.34	600	Cumple	NMX-AA-036- SCFI-2001



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



<b>Alcalinidad Total (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	270	300	Cumple	NMX-AA-036-SCFI-2001
<b>Alcalinidad a la Fenolftaleína (mg/l)</b>	0.67	-----	-----	NMX-AA-036-SCFI-2001
Parámetro/ Unidades	<b>Resultado</b>	<b>Límite Máximo Permisible NMX-C-122-ONNCE-2014</b>	<b>Método de Prueba</b>	NMX-AA-036-SCFI-2001
<b>Bicarbonatos HCO<sub>3</sub> (mg/l)</b>	268.66	-----	-----	NMX-AA-036-SCFI-2001
<b>Grasas o Aceites (mg/l)</b>	0	0	Cumple	NMX-AA-005-SCFI-2000
<b>Materia orgánica como DQO (mg/l)</b>	0	150	Cumple	NMX-AA-030-SCFI-2001
<b>Potencial de Hidrógeno (pH)</b>	6.5	> 6	Cumple	NMX-AA-008-SCFI-2000
<b>Conductividad eléctrica (µs/cm)</b>	442	-----	-----	Electrométrico
<b>Oxígeno Disuelto (mg O<sub>2</sub>/l)</b>	3.75	-----	-----	Electrométrico
<b>Salinidad (%)</b>	0.2	-----	-----	Electrométrico
<b>Cloro Total (mg/l)</b>	0.0			Comparación colorimétrica
<b>Cloro libre (mg/l)</b>	0.0	-----	-----	Comparación colorimétrica
<b>Temperatura de análisis (°C)</b>	21	-----	-----	NMX-AA-007-SCFI-2000

De acuerdo al reporte de análisis de calidad del agua, realizado en el periodo del 18 al 21 de mayo del 2021, se determinó que la muestra de agua analizada cumple con los límites máximos de calidad, establecidos en la Norma Mexicana correspondiente en materia de agua cuya utilización sea la elaboración de concreto hidráulico.

El agua que fue utilizada en la elaboración de los especímenes de mortero fue tomada de las tomas disponibles del laboratorio de materiales para realizar el estudio lo más apegado a la práctica.





## 4.2 Diseño del mortero.

### 4.2.1 Proporcionamiento por partes en volumen.

El diseño de mezclas se realizó siguiendo los proporcionamientos recomendados en las normas NMX-C-486-ONNCCE-2014 y la N-CMT-2-01-004/02, por lo que se utilizaron diferentes proporciones de partes de arena, como se explicó en el inciso 3.2.1. En la tabla 32, se encuentran los proporcionamientos por partes en volumen utilizados en este estudio.

Tabla 32. Diseño de mezclas de mortero; Proporcionamiento por partes en volumen. Fuente; Propia

Tipo de mortero	Partes de Cemento Portland	Partes de Cemento de Albañilería	Partes de Cal Hidratada	Partes de Arena
<b>Tipo I</b>	1	-	-	2.25
	1	-	-	2.5
	1	-	-	2.75
	1	-	-	3
	1	-	-	3.25
	1	-	-	3.5
	1	-	-	3.75
	1	-	-	4
	1	-	1/4	2.25
	1	-	1/4	2.5
	1	-	1/4	2.75
	1	-	1/4	3
	1	-	1/4	3.25
	1	-	1/4	3.5
	1	-	1/4	3.75
	1	-	1/4	4
	1	1/2	-	2.25



Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con  
agregado pétreo del Estado de Michoacán



	1	1/2	-	2.5	
	1	1/2	-	2.75	
	1	1/2	-	3	
	1	1/2	-	3.25	
	1	1/2	-	3.5	
	1	1/2	-	3.75	
	1	1/2	-	4	
<b>Tipo II</b>	1	-	1/2	2.25	
	1	-	1/2	2.5	
	1	-	1/2	2.75	
	1	-	1/2	3	
	1	-	1/2	3.25	
	1	-	1/2	3.5	
	1	-	1/2	3.75	
	1	-	1/2	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	
	<b>Tipo III</b>	1	-	1 1/4	2.25
		1	-	1 1/4	2.5
		1	-	1 1/4	2.75
1		-	1 1/4	3	



	1	-	1 1/4	3.25
	1	-	1 1/4	3.5
	1	-	1 1/4	3.75
	1	-	1 1/4	4

#### 4.2.2 Ensayo de fluidez.

Para determinar la cantidad de agua a utilizar en las mezclas de mortero se llevó a cabo el ensayo de fluidez para que el mortero cumpla con los límites establecidos en la NMX-C-486-ONNCCE-2014, que especifica un límite de 105% a 130%. En este ensayo se iteró hasta que la mezcla consiguiera una fluidez entre los límites anteriormente descritos.

En la tabla 33, se indican los resultados del ensayo de fluidez para las mezclas elaboradas con la arena del río Huajúmbaro, en las que las proporciones se indican de la siguiente manera; Cemento+2.25R+1/4 Cal, que se traduce en “1 Parte de cemento, 2.25 partes de arena de río Huajúmbaro y ¼ parte de cal” Dicho proporcionamiento es en partes por volumen.

Tabla 33. *Proporcionamientos utilizados en la elaboración de los morteros con la arena de río Huajúmbaro (R).*

Mezcla	Cantidad de agua (ml)	Fluidez (%)
<b>Cemento+2.25R</b>	350	109
<b>Cemento+2.5R</b>	400	119
<b>Cemento+2.75R</b>	400	106
<b>Cemento+3R</b>	475	127
<b>Cemento+3.25R</b>	500	106
<b>Cemento+3.5R</b>	525	110
<b>Cemento+3.75R</b>	525	106
<b>Cemento+4R</b>	750	113
<b>Cemento+2.25R+1/4 Cal</b>	400	123
<b>Cemento+2.5R+1/4 Cal</b>	400	108



Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con  
agregado pétreo del Estado de Michoacán



<b>Cemento+2.75R+1/4 Cal</b>	450	119
<b>Cemento+3R+1/4 Cal</b>	450	112
<b>Cemento+3.25R+1/4 Cal</b>	625	124
<b>Cemento+3.5R+1/4 Cal</b>	500	118
<b>Cemento+3.75R+1/4 Cal</b>	625	115
<b>Cemento+4R+1/4 Cal</b>	1125	116
<b>Cemento+2.25R+1/2 Cemento Albañilería</b>	500	107
<b>Cemento+2.5R+1/2 Cemento Albañilería</b>	525	107
<b>Cemento+2.75R+1/2 Cemento Albañilería</b>	775	105
<b>Cemento+3R+1/2 Cemento Albañilería</b>	875	107
<b>Cemento+3.25R+1/2 Cemento Albañilería</b>	1000	108
<b>Cemento+3.5R+1/2 Cemento Albañilería</b>	1025	119
<b>Cemento+3.75R+1/2 Cemento Albañilería</b>	1050	118
<b>Cemento+4R+1/2 Cemento Albañilería</b>	1350	113
<b>Cemento+2.25R+1/2 Cal</b>	375	108
<b>Cemento+2.5R+1/2 Cal</b>	462.5	130
<b>Cemento+2.75R+1/2 Cal</b>	462.5	116
<b>Cemento+3R+1/2 Cal</b>	450	105
<b>Cemento+3.25R+1/2 Cal</b>	500	105
<b>Cemento+3.5R+1/2 Cal</b>	550	106
<b>Cemento+3.75R+1/2 Cal</b>	575	107
<b>Cemento+4R+1/2 Cal</b>	600	114
<b>Cemento+2.25R+1 Cemento Albañilería</b>	650	115
<b>Cemento+2.5R+1 Cemento Albañilería</b>	650	127
<b>Cemento+2.75R+1 Cemento Albañilería</b>	550	109
<b>Cemento+3R+1 Cemento Albañilería</b>	675	116
<b>Cemento+3.25R+1 Cemento Albañilería</b>	650	109
<b>Cemento+3.5R+1 Cemento Albañilería</b>	1025	119
<b>Cemento+3.75R+1 Cemento Albañilería</b>	1050	118



**Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con  
agregado pétreo del Estado de Michoacán**



<b>Cemento+4R+1 Cemento Albañilería</b>	1350	113
<b>Cemento+2.25R+1 1/4 Cal</b>	525	105
<b>Cemento+2.5R+1 1/4 Cal</b>	500	130
<b>Cemento+2.75R+1 1/4 Cal</b>	500	116
<b>Cemento+3R+1 1/4 Cal</b>	525	106
<b>Cemento+3.25R+1 1/4 Cal</b>	525	110
<b>Cemento+3.5R+1 1/4 Cal</b>	525	112
<b>Cemento+3.75R+1 1/4 Cal</b>	600	109
<b>Cemento+4R+1 1/4 Cal</b>	675	105

En la tabla 34, se indican los resultados del ensayo de fluidez para las mezclas elaboradas con la arena negra (J).

*Tabla 34. Proporcionamientos utilizados en la elaboración de los morteros con la arena negra (J).*

<b>Mezcla</b>	<b>Cantidad de agua (ml)</b>	<b>Fluidez (%)</b>
<b>Cemento+2.25J</b>	300	105
<b>Cemento+2.5J</b>	325	118
<b>Cemento+2.75J</b>	350	110
<b>Cemento+3J</b>	375	112
<b>Cemento+3.25J</b>	400	111
<b>Cemento+3.5J</b>	450	109
<b>Cemento+3.75J</b>	450	109
<b>Cemento+4J</b>	525	107
<b>Cemento+2.25J+1/4 Cal</b>	375	108
<b>Cemento+2.5J+1/4 Cal</b>	400	116
<b>Cemento+2.75J+1/4 Cal</b>	425	109
<b>Cemento+3J+1/4 Cal</b>	475	119
<b>Cemento+3.25J+1/4 Cal</b>	525	106
<b>Cemento+3.5J+1/4 Cal</b>	575	116



Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con  
agregado pétreo del Estado de Michoacán



<b>Cemento+3.75J+1/4 Cal</b>	600	108
<b>Cemento+4J+1/4 Cal</b>	625	114
<b>Cemento+2.25J+1/2 Cemento Albañilería</b>	425	113
<b>Cemento+2.5J+1/2 Cemento Albañilería</b>	500	117
<b>Cemento+2.75J+1/2 Cemento Albañilería</b>	525	108
<b>Cemento+3J+1/2 Cemento Albañilería</b>	600	119
<b>Cemento+3.25J+1/2 Cemento Albañilería</b>	625	123
<b>Cemento+3.5J+1/2 Cemento Albañilería</b>	725	122
<b>Cemento+3.75J+1/2 Cemento Albañilería</b>	725	108
<b>Cemento+4J+1/2 Cemento Albañilería</b>	750	116
<b>Cemento+2.25J+1/2 Cal</b>	525	119
<b>Cemento+2.5J+1/2 Cal</b>	550	115
<b>Cemento+2.75J+1/2 Cal</b>	575	118
<b>Cemento+3J+1/2 Cal</b>	600	117
<b>Cemento+3.25J+1/2 Cal</b>	650	106
<b>Cemento+3.5J+1/2 Cal</b>	675	114
<b>Cemento+3.75J+1/2 Cal</b>	725	111
<b>Cemento+4J+1/2 Cal</b>	875	111
<b>Cemento+2.25J+1 Cemento Albañilería</b>	575	107
<b>Cemento+2.5J+1 Cemento Albañilería</b>	650	120
<b>Cemento+2.75J+1 Cemento Albañilería</b>	725	114
<b>Cemento+3J+1 Cemento Albañilería</b>	825	117
<b>Cemento+3.25J+1 Cemento Albañilería</b>	875	108
<b>Cemento+3.5J+1 Cemento Albañilería</b>	950	117
<b>Cemento+3.75J+1 Cemento Albañilería</b>	1000	112
<b>Cemento+4J+1 Cemento Albañilería</b>	1075	117
<b>Cemento+2.25J+1 1/4 Cal</b>	675	112
<b>Cemento+2.5J+1 1/4 Cal</b>	750	109
<b>Cemento+2.75J+1 1/4 Cal</b>	800	107



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



<b>Cemento+3J+1 1/4 Cal</b>	875	108
<b>Cemento+3.25J+1 1/4 Cal</b>	975	114
<b>Cemento+3.5J+1 1/4 Cal</b>	1050	111
<b>Cemento+3.75J+1 1/4 Cal</b>	1075	109
<b>Cemento+4J+1 1/4 Cal</b>	1100	114

En la tabla 35, se indican los resultados del ensayo de fluidez para las mezclas elaboradas con la arena de río (H).

Tabla 35. Proporcionamientos utilizados en la elaboración de los morteros con la arena de río (H).

<b>Mezcla</b>	<b>Cantidad de agua (ml)</b>	<b>Fluidez (%)</b>
<b>Cemento+2.25H</b>	375	116
<b>Cemento+2.5H</b>	400	107
<b>Cemento+2.75H</b>	450	117
<b>Cemento+3H</b>	500	122
<b>Cemento+3.25H</b>	500	116
<b>Cemento+3.5H</b>	500	111
<b>Cemento+3.75H</b>	525	113
<b>Cemento+4H</b>	550	106
<b>Cemento+2.25H+1/4 Cal</b>	450	111
<b>Cemento+2.5H+1/4 Cal</b>	475	115
<b>Cemento+2.75H+1/4 Cal</b>	500	109
<b>Cemento+3H+1/4 Cal</b>	525	105
<b>Cemento+3.25H+1/4 Cal</b>	600	107
<b>Cemento+3.5H+1/4 Cal</b>	675	117
<b>Cemento+3.75H+1/4 Cal</b>	700	120
<b>Cemento+4H+1/4 Cal</b>	725	109
<b>Cemento+2.25H+1/2 Cemento Albañilería</b>	525	122
<b>Cemento+2.5H+1/2 Cemento Albañilería</b>	550	105



Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con  
agregado pétreo del Estado de Michoacán



<b>Cemento+2.75H+1/2 Cemento Albañilería</b>	575	106
<b>Cemento+3H+1/2 Cemento Albañilería</b>	625	112
<b>Cemento+3.25H+1/2 Cemento Albañilería</b>	725	117
<b>Cemento+3.5H+1/2 Cemento Albañilería</b>	775	112
<b>Cemento+3.75H+1/2 Cemento Albañilería</b>	800	114
<b>Cemento+4H+1/2 Cemento Albañilería</b>	825	116
<b>Cemento+2.25H+1/2 Cal</b>	525	119
<b>Cemento+2.5H+1/2 Cal</b>	550	115
<b>Cemento+2.75H+1/2 Cal</b>	575	118
<b>Cemento+3H+1/2 Cal</b>	600	117
<b>Cemento+3.25H+1/2 Cal</b>	650	106
<b>Cemento+3.5H+1/2 Cal</b>	675	114
<b>Cemento+3.75H+1/2 Cal</b>	725	111
<b>Cemento+4H+1/2 Cal</b>	875	111
<b>Cemento+2.25H+1 Cemento Albañilería</b>	675	110
<b>Cemento+2.5H+1 Cemento Albañilería</b>	775	116
<b>Cemento+2.75H+1 Cemento Albañilería</b>	825	115
<b>Cemento+3H+1 Cemento Albañilería</b>	1050	109
<b>Cemento+3.25H+1 Cemento Albañilería</b>	1125	116
<b>Cemento+3.5H+1 Cemento Albañilería</b>	1250	110
<b>Cemento+3.75H+1 Cemento Albañilería</b>	1300	126
<b>Cemento+4H+1 Cemento Albañilería</b>	1050	118
<b>Cemento+2.25H+1 1/4 Cal</b>	775	108
<b>Cemento+2.5H+1 1/4 Cal</b>	850	111
<b>Cemento+2.75H+1 1/4 Cal</b>	900	105
<b>Cemento+3H+1 1/4 Cal</b>	975	110
<b>Cemento+3.25H+1 1/4 Cal</b>	1000	109
<b>Cemento+3.5H+1 1/4 Cal</b>	1100	107
<b>Cemento+3.75H+1 1/4 Cal</b>	1175	112





Cemento+4H+1 1/4 Cal	1225	107
----------------------	------	-----

Como se puede apreciar en las tablas 33,34 y 35, la demanda de agua va en aumento según la cantidad de partes de arena que se utilizan, esto va de la mano junto con la combinación de cementantes ya que la arena se mide en partes en volumen de la suma de cementantes, por lo que habría que hidratar más arena y a la adición de cementantes ya sea cal o cemento de albañilería.

### 4.2.3 Elaboración de especímenes.

Se elaboraron 288 especímenes por cada agregado fino estudiado, siendo un total de 864 especímenes, estos fueron elaborados y curados según lo establecido en la (NMX-C-061-ONNCCE, 2015). Los especímenes fueron probados mediante ensayos no destructivos y destructivos cuyos resultados se presentan en los siguientes incisos.

## 4.3 Ensayos a especímenes.

### 4.3.1 Ensayos no destructivos.

#### 4.3.1.1 Resistividad eléctrica.

Los resultados de los ensayos de resistividad eléctrica se presentan en las siguientes gráficas agrupados por el tipo de proporcionamiento, en conjunto de las 3 arenas.

Se relacionó como R-C, J-C, H-C Para las mezclas que llevan agregado fino y cemento, R-C-C, J-C-C, H-C-C Para las mezclas que llevan agregado fino, cemento y cal y R-C-M, J-C-M, H-C-M para las mezclas que llevan agregado fino, cemento y mortero. En las gráficas se indica su clasificación de acuerdo a la tabla 32.

En la ilustración 79, 80 y 81, se muestran los resultados de resistividad eléctrica para las mezclas realizadas con proporcionamientos sugeridos para mortero tipo I.

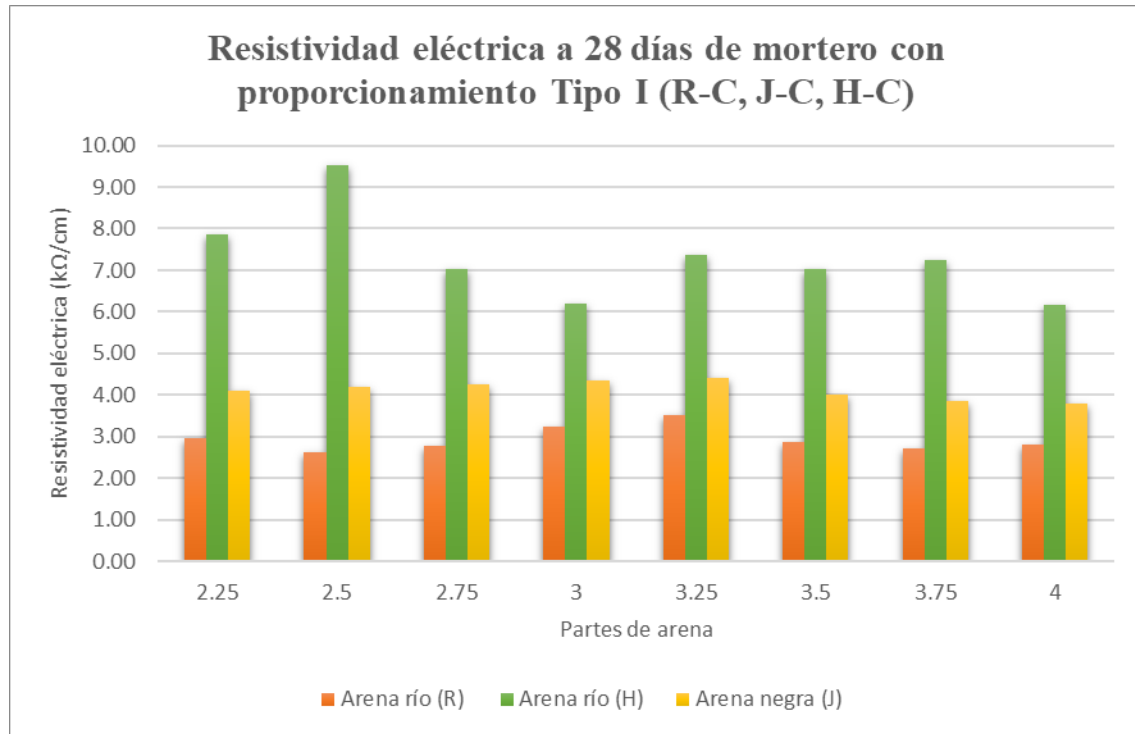


Ilustración 82. Resistividad eléctrica para morteros elaborados con 1 parte de cemento y 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia

De acuerdo a los resultados mostrados (Ilustración 82), se tiene que la mezcla que obtuvo mejores resultados de resistividad eléctrica fue la elaborada con el agregado fino de río del banco de material “El Coro”, con una proporción de 1 Parte de cemento y 2.5 partes de arena, mientras que la que obtuvo la menor resistividad fue la elaborada con la arena del río Huajúbaro, con una proporción de 1 Parte de cemento y 2.5 partes de arena.

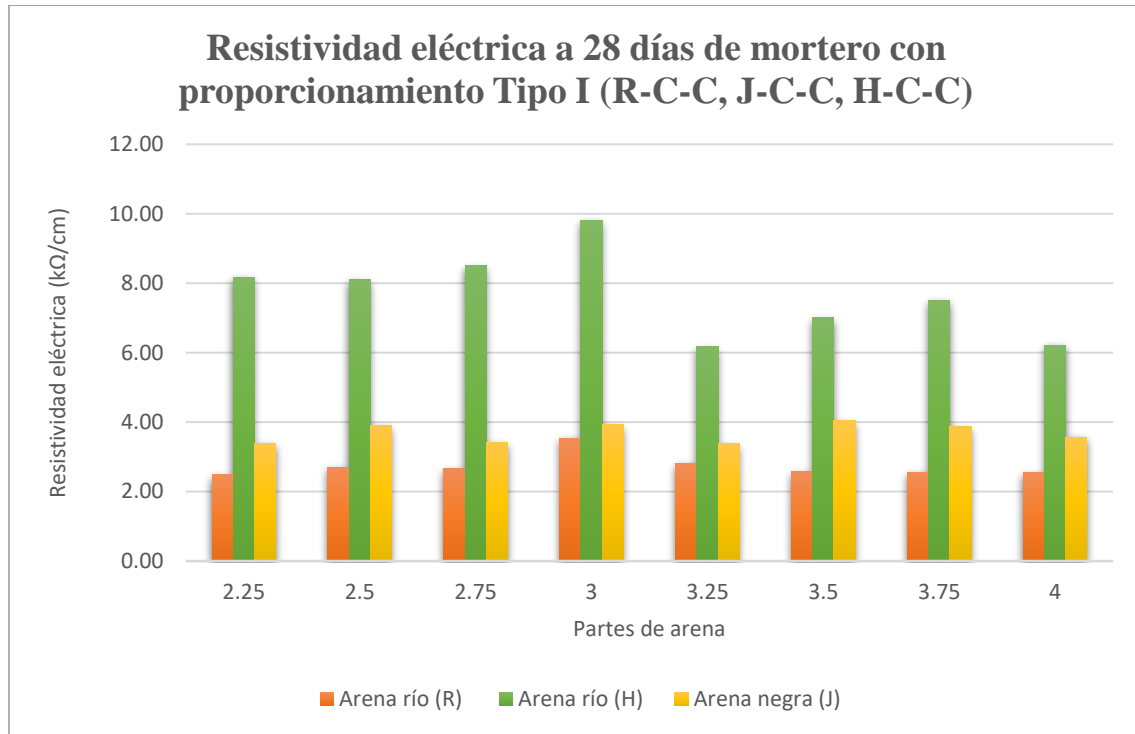


Ilustración 83. Resistividad eléctrica para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1/4 parte de cal hidratada y 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia

De acuerdo a los resultados mostrados (Ilustración 83), el mortero que tuvo el mejor resultado de resistividad eléctrica fue el elaborado con la arena de río (H) con una proporción terciada de 1 Parte de cemento, 1/4 parte de cal y 3 partes de arena, mientras que la que obtuvo el menor resultado fue el mortero elaborado con la arena de río (R) con una proporción terciada de 1 Parte de cemento, 1/4 parte de cal y 2.25 partes de arena.

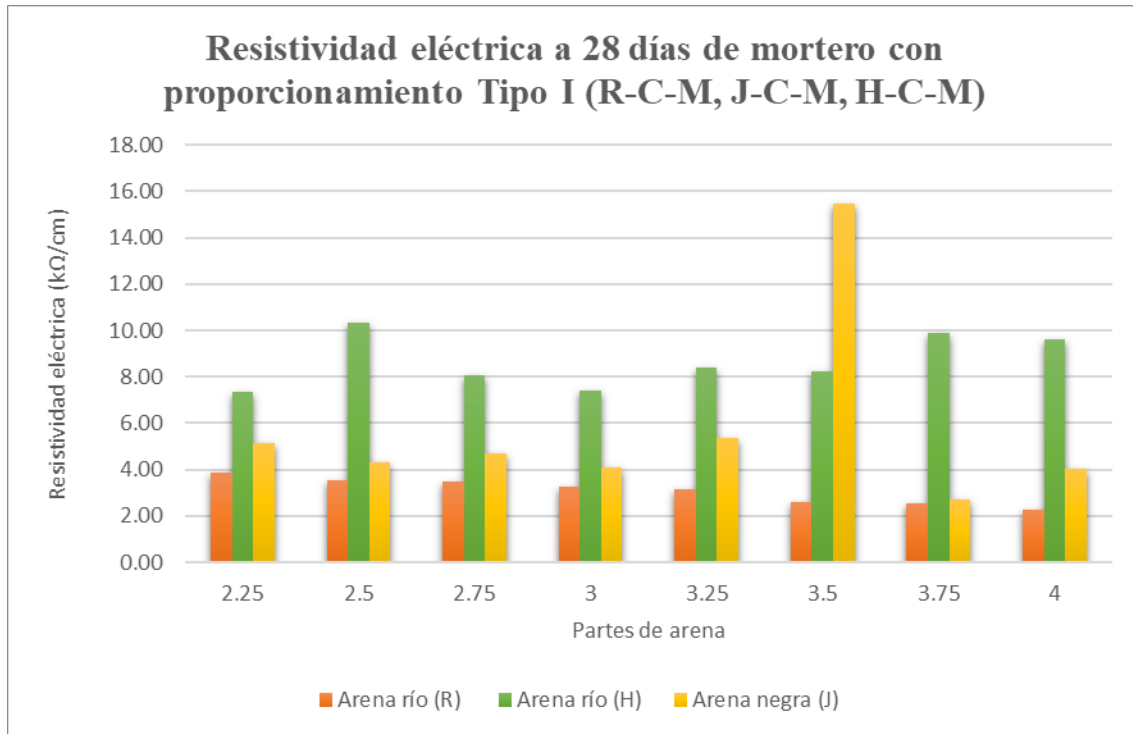


Ilustración 84. Resistividad eléctrica para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1/2 parte de cemento de albañilería y 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia

De acuerdo a los resultados mostrados (Ilustración 84), el mortero que tuvo un mejor resultado de resistividad fue el elaborado con la arena negra (J) con una proporción terciada de 1 Parte de cemento, 1/2 parte de cemento de albañilería y 3.5 partes de arena, mientras que el mortero que obtuvo la menor resistividad fue el elaborado con la arena de río (R) y con una proporción terciada de 1 Parte de cemento, 1/2 parte de cemento de albañilería y 4 partes de arena.

En la ilustración 82 y 83, se muestran los resultados de resistividad eléctrica para las mezclas realizadas con proporcionamientos sugeridos para mortero tipo II.

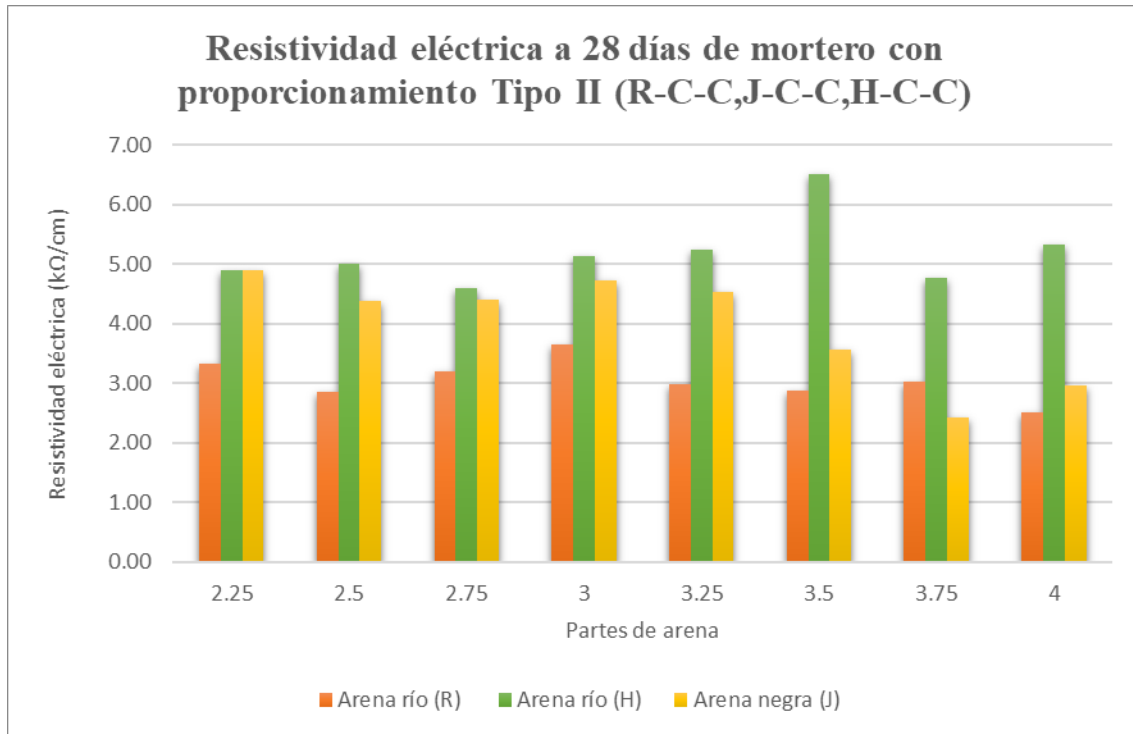


Ilustración 85. Resistividad eléctrica para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1/2 parte de cal hidratada y 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia

De los resultados mostrados (Ilustración 85), el mortero que alcanzó la mejor resistividad eléctrica fue el elaborado con la arena de río (H), con una proporción terciada de 1 parte de cemento, 1/2 parte de cal hidratada y 3.5 partes de arena, mientras que el mortero que obtuvo la menor resistividad fue el elaborado con la arena de río (R), con una proporción terciada de 1 parte de cemento, 1/2 parte de cal hidratada y 4 partes de arena.

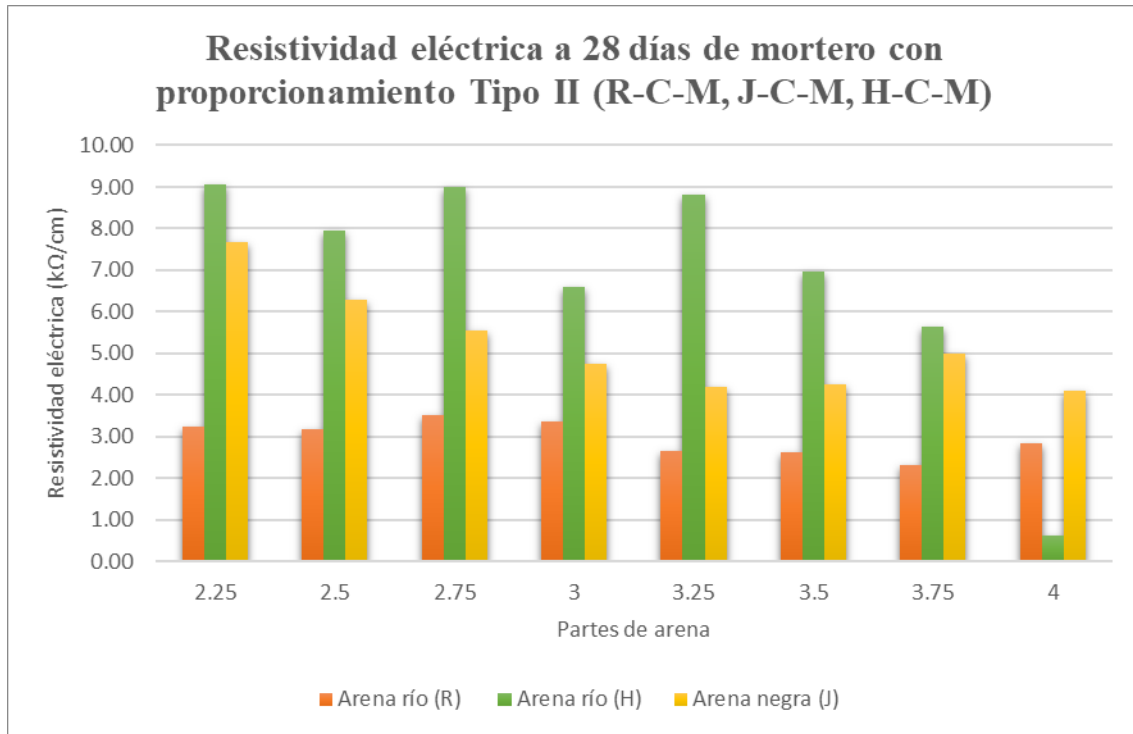
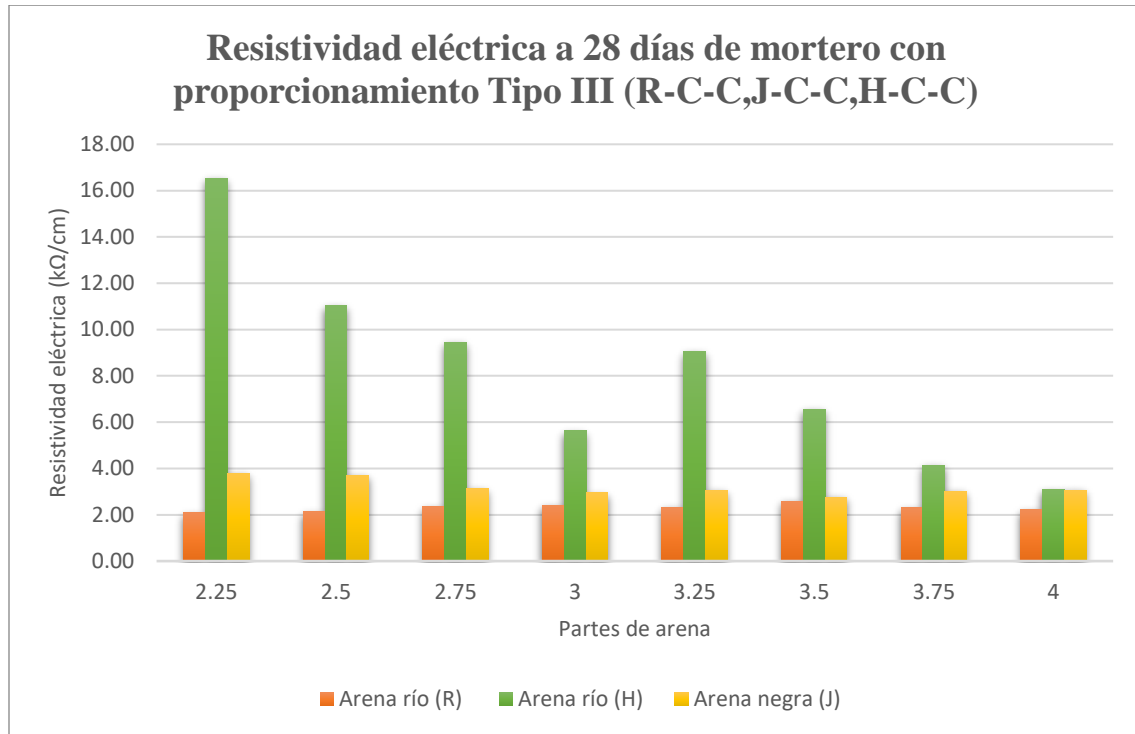


Ilustración 86. Resistividad eléctrica para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1 parte de cemento de albañilería y 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia

De acuerdo a los resultados mostrados (Ilustración 86), el mortero que obtuvo el valor de resistividad más alto fue elaborado con la arena de río (H), con una proporción terciada de 1 parte de cemento, 1 parte de cemento de albañilería y 2.25 partes de arena, mientras que el mortero que alcanzó la resistividad más baja fue el elaborado también con la arena de río (H), pero con una proporción distinta, en este caso fue de 1 parte de cemento, 1 parte de cemento de albañilería y 4 partes de arena.

En la ilustración 84, se muestran los resultados de resistividad eléctrica para las mezclas realizadas con proporcionamientos sugeridos para mortero tipo III.



*Ilustración 87. Resistividad eléctrica para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1.25 partes de cal hidratada y 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia*

De acuerdo a los resultados mostrados (Ilustración 87), el mortero que obtuvo un resultado más alto de resistividad fue el elaborado con la arena de río (H), con una proporción terciada de 1 parte de cemento, 1 ¼ partes de cal hidratada y 2.25 partes de arena, mientras que el mortero que obtuvo la resistividad menor fue el elaborado con la arena de río (R) con la proporción terciada de 1 parte de cemento, 1 ¼ partes de cal hidratada y 2.25 partes de arena.

En general, los morteros que fueron elaborados con la arena de río del banco de material “El Coro” (H), obtuvieron unos mejores resultados al ensayo de resistividad, esto se debe a que se densificó mejor la matriz cementicia de estos morteros, reduciendo así la porosidad que existe en los especímenes, lo que se traduce en una mayor resistencia al flujo de electrones de un extremo del espécimen al otro y, por ende, de la resistividad eléctrica.

Adicional a esto, se realizó mediante el proceso mencionado para realizar la corrección de la resistividad eléctrica por efecto de temperatura, un análisis del coeficiente de variación de los resultados de resistividad eléctrica por agregado en función de la temperatura, tomando



en cuenta todas las proporciones por las cuales se elaboraron los morteros, resultados los cuales se muestran en la tabla

Tabla 36. Coeficiente de variación de resistividad eléctrica en función de la temperatura.

Agregado fino	Coeficiente de variación ( $\alpha$ )
Arena de río (R)	8051
Arena negra (J)	2514
Arena de río (H)	5317

Este análisis se realizó para conocer si el agregado influía en la variación de los resultados, ya que si no hubiera influencia del agregado, los valores de  $\alpha$  debería ser igual o muy similar ya que los morteros fueron elaborados con los mismos proporcionamientos y, lo que vario de uno a otro fue el agregado utilizado en su elaboración.

### 4.3.2 Ensayos destructivos.

#### 4.3.2.1 Resistencia a la compresión simple.

La resistencia a la compresión simple a los 28 días es uno de los principales estándares que deben cumplir los morteros como para considerarse morteros para uso estructural, esto según lo establecido tanto en la norma NMX-C-486-ONNCCE-2014, así como en la N-CMT-2-01-004/02, que establecen límites de resistencia mínima que deben cumplir los morteros. A continuación, se exponen los resultados de dichos ensayos, donde se puede apreciar el mínimo que deben cumplir, los resultados se agrupan por proporcionamientos al igual que en los resultados de resistividad eléctrica en el inciso 4.3.1.1.

En la ilustración 88, 89 y 90, se muestran los resultados de resistencia a la compresión simple a los 28 días para los morteros realizados con proporcionamientos sugeridos para mortero tipo I.



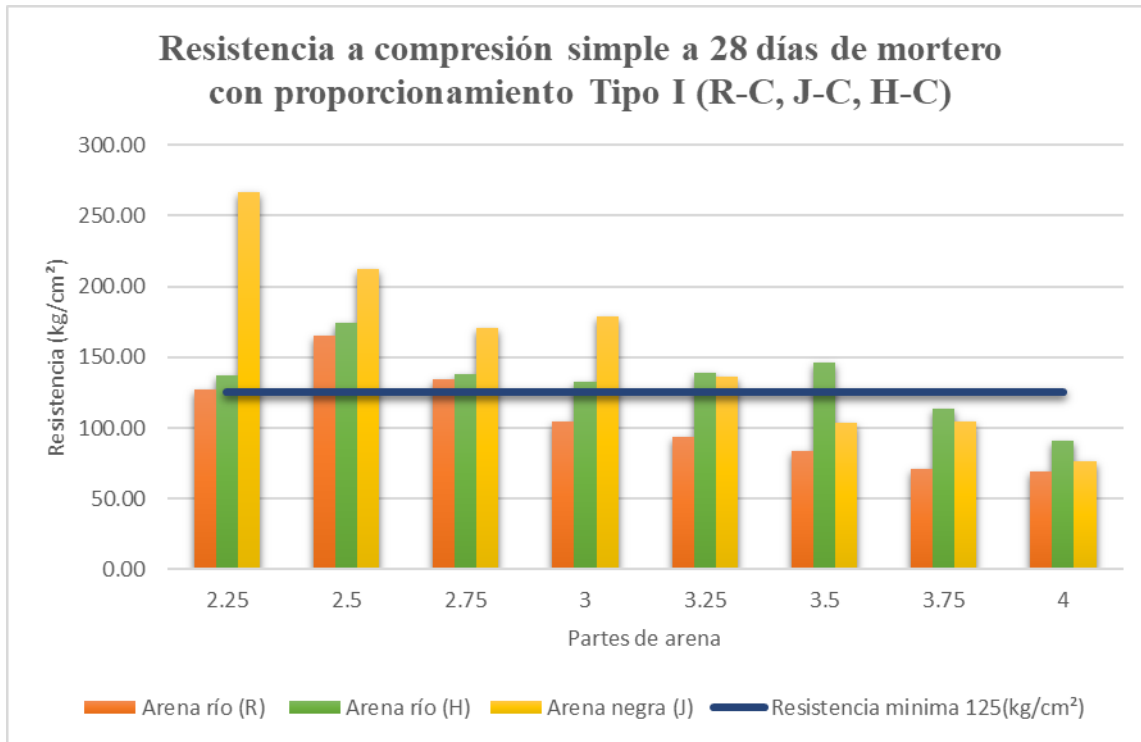


Ilustración 88. Resistencia a la compresión simple a 28 días para morteros elaborados con 1 parte de cemento y de 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia

De acuerdo a los resultados de los ensayos de compresión a 28 días (Ilustración 88), el mortero que alcanzó la resistencia a compresión simple más alta fue elaborado con la arena negra (J), con una proporción de 1 parte de cemento y 2.25 partes de arena (1:2.25), mientras que el mortero que alcanzó la resistencia a la compresión menor fue elaborado con arena de río (R), con la proporción que más agregado incluye, 1 parte de cemento y 4 partes de arena. Todos los morteros que en la ilustración 85, superan la línea de la resistencia mínima (125 kg/cm<sup>2</sup>), cumplen con lo establecido en la norma (NMX-C-486-ONNCCE, 2014) y, de acuerdo a la clasificación de su resistencia a la compresión simple (tabla 1), se encuentran dentro de la categoría de mortero tipo I.

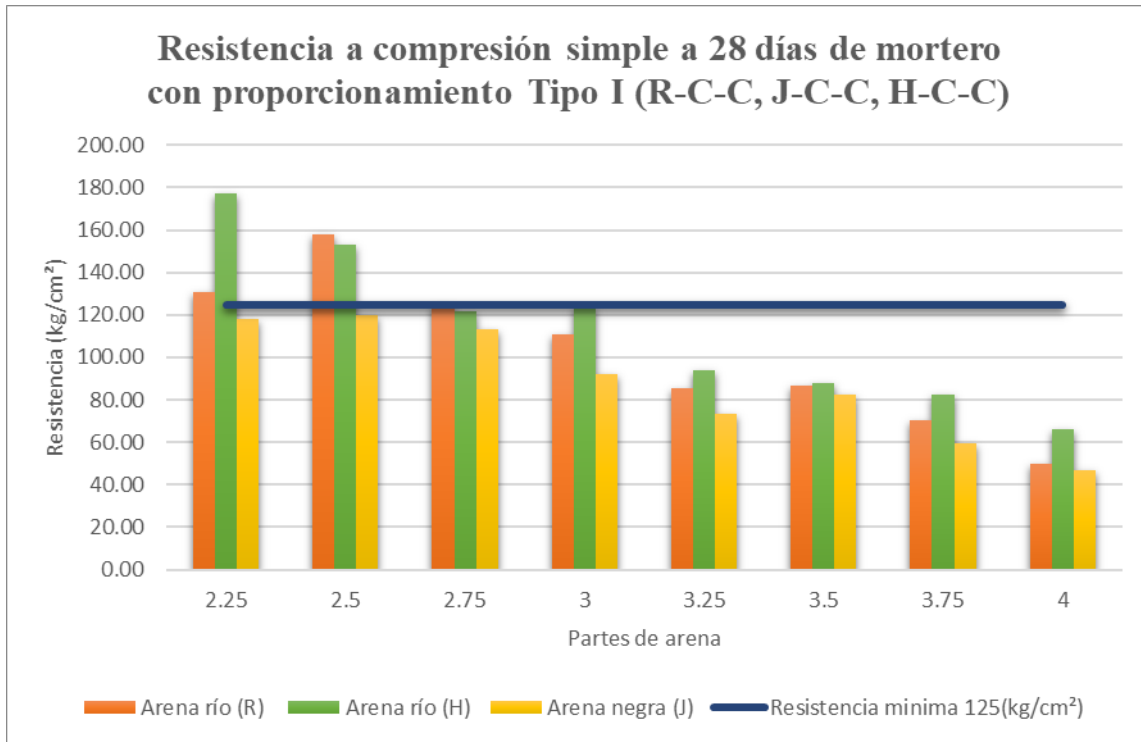


Ilustración 89. Resistencia a la compresión simple a 28 días para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1/4 parte de cal hidratada y de 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia

De acuerdo a los resultados (Ilustración 89), el mortero que alcanzó la mayor resistencia a la compresión simple fue elaborado con agregado fino de río (H), con un proporcionamiento terciado de 1 parte de cemento, 1/4 parte de cal hidratada y 2.25 partes de arena, mientras que el de menor resistencia a la compresión fue elaborado con arena negra (J), con una proporción terciada de 1 parte de cemento, 1/4 parte de cal hidratada y 4 partes de arena. Todos los morteros que en la ilustración 86, superan la línea de la resistencia mínima (125 kg/cm<sup>2</sup>), cumplen con lo establecido en la norma (NMX-C-486-ONNCCE, 2014) y, de acuerdo a la clasificación de su resistencia a la compresión simple (tabla 1), se encuentran dentro de la categoría de mortero tipo I.

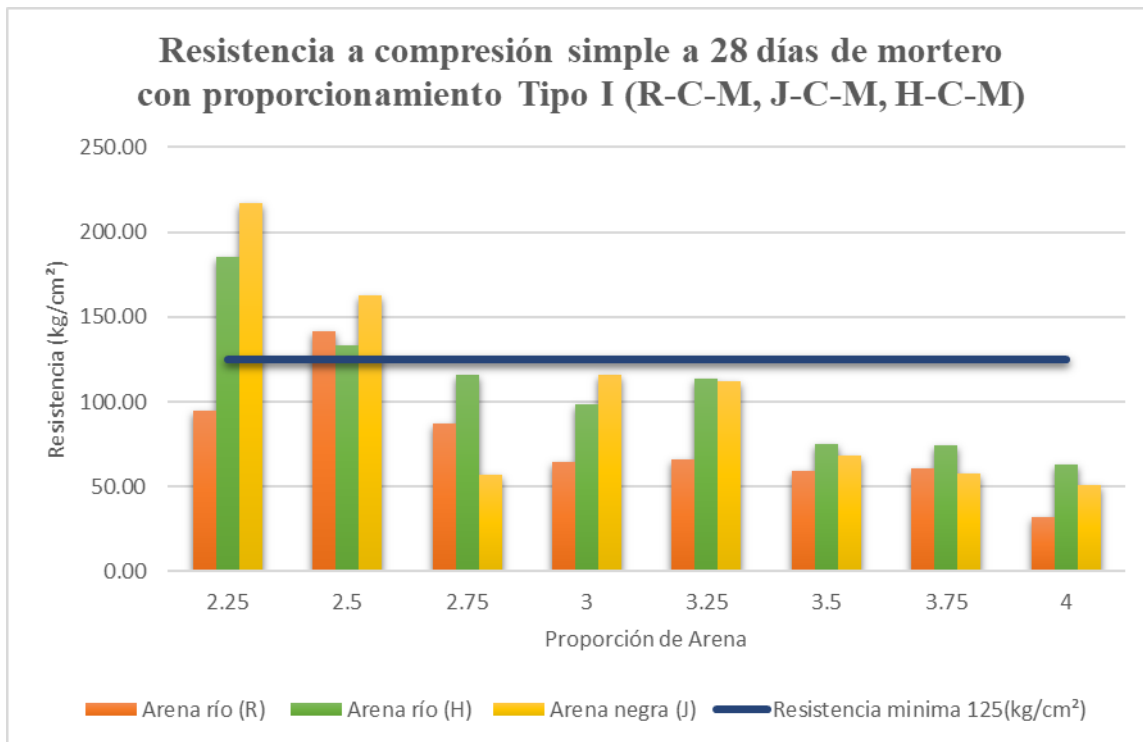


Ilustración 90. Resistencia a la compresión simple a 28 días para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1/2 parte de cemento de albañilería y de 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia

De acuerdo a los resultados mostrados (Ilustración 90) el mortero que alcanzó una mayor resistencia fue elaborado con la arena negra (J), con un proporcionamiento de 1 parte de cemento, 1/2 parte de cemento de albañilería y 2.25 partes de arena, por otro lado, el mortero elaborado con arena de río (R) fue el que alcanzó la menor resistencia, con un proporcionamiento de 1 parte de cemento, 1/2 parte de cemento de albañilería y 4 partes de arena. Todos los morteros que en la ilustración 87, superan la línea de la resistencia mínima (125 kg/cm<sup>2</sup>), cumplen con lo establecido en la norma (NMX-C-486-ONNCCE, 2014) y, de acuerdo a la clasificación de su resistencia a la compresión simple (tabla 1), se encuentran dentro de la categoría de mortero tipo I.

En la ilustración 91 y 92, se muestran los resultados de resistencia a la compresión simple a los 28 días para los morteros realizados con proporcionamientos sugeridos para mortero tipo II.

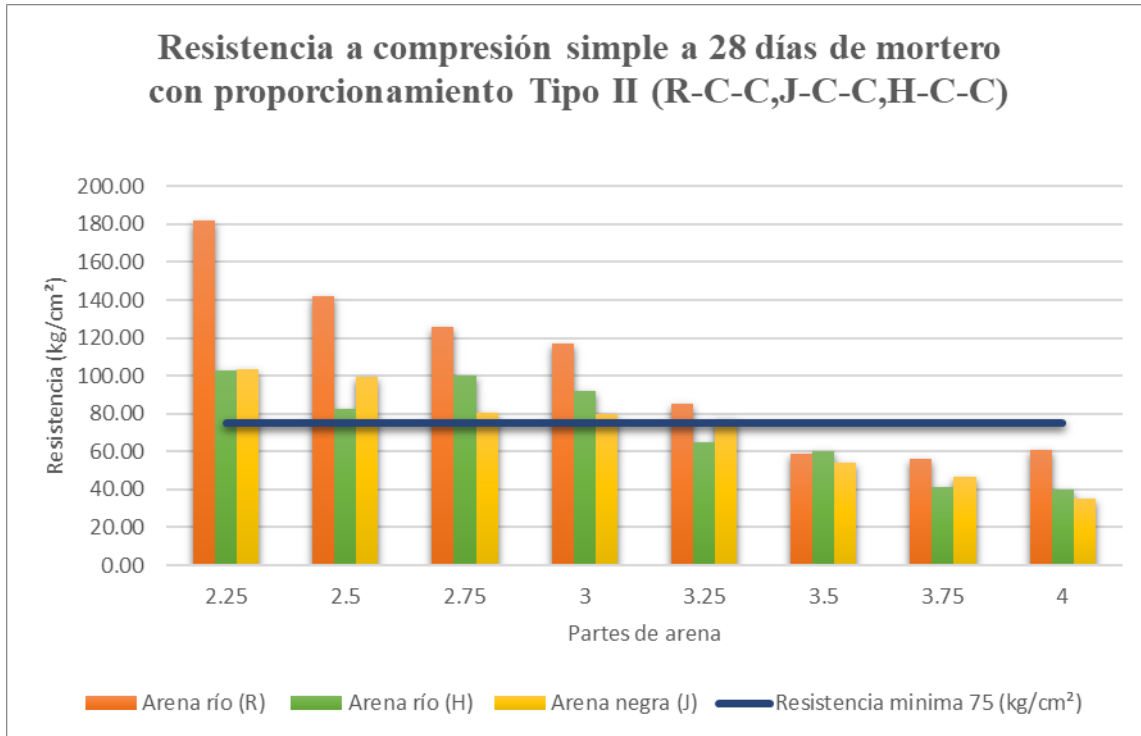


Ilustración 91. Resistencia a la compresión simple a 28 días para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1/2 parte de cal hidratada y de 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia

De acuerdo a los resultados mostrados (Ilustración 91), el mortero elaborado con la arena de río (R) alcanzó la mayor resistencia, con un proporcionamiento terciado de 1 parte de cemento, 1/2 parte de cal hidratada y 2.25 partes de arena, mientras el que obtuvo la menor resistencia fue la elaborada con arena negra (J), con un proporcionamiento terciado de 1 parte de cemento, 1/2 parte de cal y 4 partes de arena. Todos los morteros que en la ilustración 88, superan la línea de la resistencia mínima (75 kg/cm<sup>2</sup>), cumplen con lo establecido en la norma (NMX-C-486-ONNCCE, 2014) y, de acuerdo a la clasificación de acuerdo a su resistencia a la compresión simple (tabla 1), se encuentran dentro de la categoría de mortero tipo II.

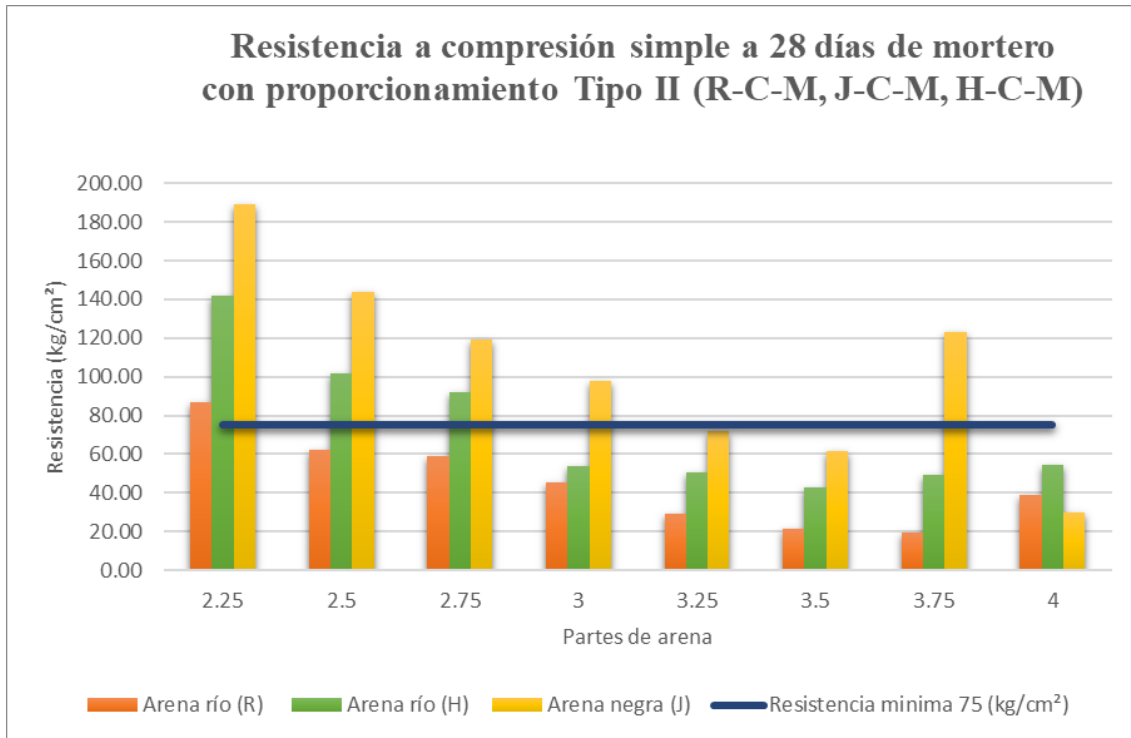


Ilustración 92. Resistencia a la compresión simple a 28 días para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1 parte de cemento de albañilería y de 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia

De acuerdo a los resultados mostrados (Ilustración 92), el mortero elaborado con la arena negra (J) alcanzó una mayor resistencia a compresión, con una proporción terciada de 1 parte de cemento, 1 parte de cemento de albañilería y 2.25 partes de arena, mientras que el que obtuvo la menor resistencia a compresión fue el elaborado con arena de río (R), con una proporción terciada de 1 parte de cemento, 1 parte de cemento de albañilería y 3.75 partes de arena. Todos los morteros que en la ilustración 89, superan la línea de la resistencia mínima (75 kg/cm<sup>2</sup>), cumplen con lo establecido en la norma (NMX-C-486-ONNCCE, 2014) y, de acuerdo a la clasificación de su resistencia a la compresión simple (tabla 1), se encuentran dentro de la categoría de mortero tipo II.

En la ilustración 93, se muestran los resultados de resistencia a la compresión simple a los 28 días para los morteros realizados con proporcionamientos sugeridos para mortero tipo III.

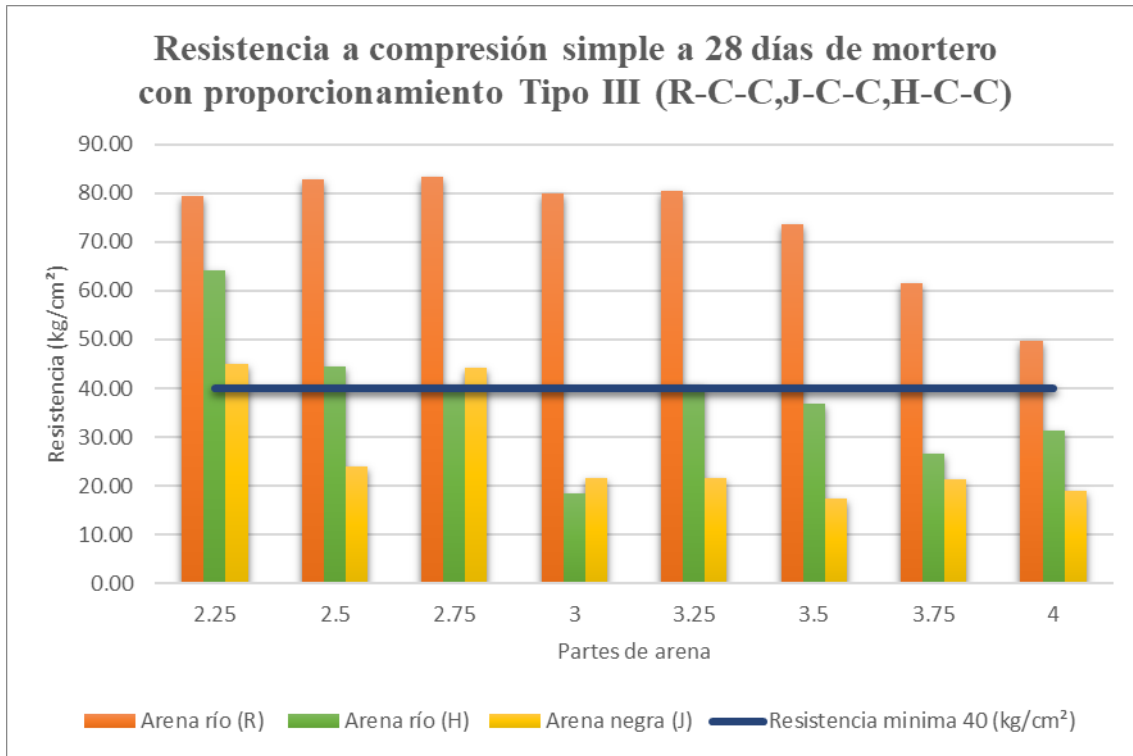


Ilustración 93. Resistencia a la compresión simple a 28 días para morteros elaborados con 1 parte de cemento, 1 1/4 partes de cal hidratada y de 2.25 a 4 partes de agregado fino. Fuente: Propia

De acuerdo a los resultados mostrados (Ilustración 93), el mortero elaborado con la arena de río (R) alcanzó la resistencia más alta con una proporción terciada de 1 parte de cemento, 1.25 partes de cal hidratada y 2.75 partes de arena, mientras que el que alcanzó la menor resistencia fue el elaborado con arena negra (J), elaborado con una proporción terciada de 1 parte de cemento, 1.25 partes de cal hidratada y 3.5 partes de arena. Todos los morteros que en la ilustración 90, superan la línea de la resistencia mínima (40 kg/cm<sup>2</sup>), cumplen con lo establecido en la norma (NMX-C-486-ONNCCE, 2014) y, de acuerdo a la clasificación de su resistencia a la compresión simple (tabla 1), se encuentran dentro de la categoría de mortero tipo III.



### 4.3.3 Correlaciones entre resistividad eléctrica y compresión simple.

Analizando los resultados de los capítulos 4.3.1.1 y 4.3.2.1, se tiene que el mortero que obtuvo el mejor resultado al ensayo de resistividad eléctrica fue elaborado con la arena de río proveniente del banco de materiales “El Coro”, este fue realizado con el proporcionamiento de 1 parte de cemento, 1.25 partes de cal hidratada y 2.25 partes de arena, este es un proporcionamiento recomendado para un mortero de tipo III, por otro lado, el mortero que alcanzó el valor más alto de resistencia a la compresión simple fue elaborado con la arena negra (J), con una proporción de 1 parte de cemento y 2.25 partes de arena, este es un proporcionamiento recomendado para un mortero de tipo I. Como se puede apreciar en los resultados de resistividad, en general para todas los morteros, los valores más altos fueron los elaborados con la arena de río del banco de material “El Coro” pero, este no fue el mismo caso para los resultados de los ensayos a compresión simple donde para la arena de río (H) tuvo unos resultados medios, en donde sólo algunos morteros elaborados con dicho agregado, superaron la resistencia mínima que indica la norma. Por lo que, se puede decir que el tener un buen comportamiento a la resistividad no asegura un buen comportamiento a la compresión simple, y lo mismo se puede decir del agregado de Joyitas, la arena negra, ya que esta tuvo resultados de resistividad eléctrica por debajo de los obtenidos con la arena de río (H), pero en cuanto a la resistencia a la compresión se comportó de una mejor manera que los otros dos agregados.

En la tabla 37, se muestra cómo se comportan de acuerdo a su resistividad eléctrica comparado a su resistencia a la compresión.



# Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



Tabla 37. Comparación de resistividad eléctrica con resistencia a compresión simple







# Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán





## 5. Conclusiones.

Del estudio realizado se puede concluir que las propiedades físico-mecánicas de los morteros, presentan una influencia de acuerdo al proporcionamiento de agregado que se es utilizado en su elaboración, pero que esto no es de una manera lineal, ya que como se puede observar en los resultados a compresión de los morteros elaborados, la resistencia a compresión con la proporción con menos cantidad de arena (2.25 partes de arena) es baja y conforme esta aumenta en los morteros elaborados con 2.5 y 2.75 partes de arena, la resistencia a compresión es mayor pero este valor no va en aumento en los elaborados con 4 partes de arena, incluso es menor a la que marca la norma para considerarlos como morteros para uso estructural como se indica en la (NMX-C-486-ONNCCE, 2014). También a raíz de este estudio se tiene que el que un mortero tenga un buen comportamiento en cuanto a la resistividad eléctrica, este comportamiento no se ve reflejado en un buen comportamiento en la resistencia a la compresión.

De la elaboración de las mezclas se realizaron algunas observaciones respecto a un aspecto de vital importancia en los morteros, la trabajabilidad, ya que esto es un indicador para una buena mezcla de mortero, para esto, influye bastante el contenido de arena de las mezclas realizadas ya que más arena se ve reflejado en una menor trabajabilidad ya que la mezcla se nota más pesada, pero también la mínima cantidad de arena hace que aunque la mezcla cumpla con una fluidez entre los valores marcados en la normativa, la mezcla presenta cierta segregación. En la tabla 38, se encuentran los proporcionamientos en los que se considera que tuvieron un buen resultado en cuanto a la compresión simple, así como unas observaciones respecto a ellos.

*Tabla 38. Observaciones del comportamiento de las mezclas con los diferentes proporcionamientos.*

<b>Proporcionamiento</b>		<b>Observaciones</b>
<b>Morteros con proporcionamiento recomendado para Tipo I</b>		
<b>1 parte de cemento</b>	2.5 partes de arena	Esta mezcla en la que se utilizó solo cemento y arena, con una proporción 1:2.5,



**Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con  
agregado pétreo del Estado de Michoacán**



		además de que se cumplió con el mínimo establecido por la normativa, la mezcla presento una buena trabajabilidad, aunque el tiempo que fue trabajable fue poco tiempo y esto es una desventaja en campo.
<b>1 parte de cemento+ ¼ parte de cal hidratada</b>	2.5 partes de arena	Esta mezcla en la que se utilizó una proporción terciada 1:0.25:2.5, se cumplió con el mínimo establecido en la norma en el caso de las dos arenas de río, pero con la arena negra se quedó muy cerca de los 125 kg/cm <sup>2</sup> . La mezcla presentó una trabajabilidad mejor para la pega de piezas, ya que se volvió una mezcla más plástica además que debido a la cal le brinda un poco más de tiempo para su colocación
<b>1 parte de cemento+1/2 parte de cemento de albañilería</b>	2.5 partes de arena	En este proporcionamiento en el que se incluyó el cemento de albañilería, los morteros alcanzaron el mínimo de compresión simple establecido en la norma, esto con las 3 arenas de estudio, adicional a esto esta mezcla con una adición presentó una muy buena consistencia y homogeneización con los agregados.
<b>Morteros con proporcionamiento recomendado para Tipo II.</b>		Observaciones
<b>1 parte de cemento + ½ parte de cal hidratada</b>	2.5 partes de arena	Los proporcionamientos para un mortero de tipo 2



**Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con  
agregado pétreo del Estado de Michoacán**



<p align="center"><b>1 parte de cemento + 1 parte de cemento de albañilería</b></p>		<p>presentan un aumento en la cantidad de arena debido al incremento de la cal hidratada, aunque esto no afectó negativamente en la resistencia a la compresión, si lo hizo en la trabajabilidad debido a la cantidad de agua ya que esta mezcla presento un poco de segregación al momento del colado de los especímenes.</p>
<p align="center"><b>Morteros con proporcionamiento recomendado para Tipo III</b></p>		<p>Observaciones.</p>
<p align="center"><b>1 parte de cemento+1.25 partes de cal hidratada</b></p>	<p align="center">2.25 partes de arena</p>	<p>Este mortero a pesar de no ser considerado como de tipo estructural debido a la resistencia que alcanza, con el proporcionamiento de 1:1.25:2.25 presenta una apariencia y tiempo trabajable muy bueno, por lo que sería ideal para aplanados y acabados, esto debido a la gran cantidad de cementante que se incluye y a la plasticidad que le da la cal hidratada.</p>

Además de las observaciones realizadas en la tabla anterior, se tiene que la proporción que presento mejores resultados fue la que incluye 2.5 partes de agregado respecto a la suma de los cementantes, esto es un factor muy importante a tomar en cuenta ya que fue el proporcionamiento optimo, no solo en comportamiento, si no que esto también se ve reflejado en los costos de las obras en las que se utiliza el mortero, porque a mayor cantidades de arena a utilizar, el costo de la obra aumenta, además de que como se observó en los resultados de la resistencia a la compresión simple, mayor cantidad de arena no significa una mayor resistencia a la compresión.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



De las mezclas con las que se elaboraron los morteros en este estudio, se considera que las que obtuvieron un mejor comportamiento físico-mecánico fueron las que se hicieron con el agregado fino del banco de materiales “El Coro” (H), ya que si bien no fue la que obtuvo los resultados a compresión simple, en la mayoría de los casos cumplió con la resistencia mínima establecida por las normativas vigentes, y, en los resultados del ensayo de resistividad eléctrica fue la que mejor comportamiento tuvo en todas sus variantes.



## 6. Referencias.

- Alejandre, F. J. (2002). *Historia, caracterización y restauración de morteros*. España: Universidad de Sevilla: Universidad de Sevilla, Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción.
- Álvarez, J., Martín, A., & García, P. (1995). *Historia de los morteros. Boletín Informativo Del Instituto Andaluz Del Patrimonio Histórico*, 13, 52–59.
- CANACEM. (11 de Octubre de 2021). *Cámara Nacional del Cemento (CANACEM)*.  
Obtenido de <https://canacem.org.mx/historia-del-cemento-en-mexico/>
- Maldonado H, A. (2020). *Evaluación de las características físico-mecánicas del concreto de alto desempeño adicionado con sílice, fibras de acero y un modificador de reología*. Morelia, Michoacán: UMSNH.
- N-CMT-2-01-004. (2002). *01. Materiales para mamposterías*. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- NMX-C-021-ONNCCE. (2015). *Industria de la Construcción - Cemento para Albañilería (mortero) - Especificaciones y Métodos de Ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificació de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-057-ONNCCE. (2015). *Industria de la Construcción-Cementantes Hidráulicos-Determinación de la Consistencia Normal*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-059-ONNCCE. (2017). *Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos - Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (Método Vicat)*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-061-ONNCCE. (2015). *Industria de la Construcción-Cemento Hidráulico-Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes Hidráulicos*.



## Caracterización físico-mecánica de mortero de uso estructural con agregado pétreo del Estado de Michoacán



México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C.

NMX-C-073-ONNCCE. (2014). *Industria de la Construcción. Agregados. Masa Volumétrica. Método de prueba*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

NMX-C-077-ONNCCE. (2019). *Industria de la construcción - Agregados para concreto - Análisis granulométrico- Método de prueba*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

NMX-C-111-ONNCCE. (2018). *Industria de la Construcción - Agregados para Concreto Hidráulico - Especificaciones y Métodos de Ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

NMX-C-152-ONNCCE. (2015). *Industria de la Construcción - Cementantes Hidráulicos – Determinación de la Densidad*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

NMX-C-165-ONNCCE. (2020). *Industria de la Construcción - Agregados - Determinación de la Masa Específica y Absorción de Agua del Agregado Fino - Método de Prueba*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

NMX-C-170-ONNCCE. (2019). *Industria de la Construcción - Agregados - Reducción de las Muestras de Agregados Obtenidas en el Campo, al Tamaño Requerido para las Pruebas*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.

NMX-C-414-ONNCCE. (2017). *Industria de la construcción - Cementantes hidráulicos - Especificaciones y métodos de ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.



- NMX-C-486-ONNCCE. (2014). *Industria de la construcción - Mampostería - Mortero para uso estructural - Especificaciones y métodos de ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificació de la Construcción y Edificación, S.C.
- NMX-C-514-ONNCCE. (2019). *Industria de la Construcción – Resistividad Eléctrica del Concreto Hidráulico – Especificaciones y Métodos de Ensayo*. México: Organismo Nacional de Normalización y Certificació de la Construcción y Edificación, S.C.
- Pérez, A. (2012). *Morteros, pastas y lechadas*. Recuperado el 30 de septiembre de 2021, de FICAL: Foro Ibérico de la Cal:  
[http://www.fical.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=57:morterospastas-y-lechadas&catid=42:clasificacion&Itemid=145](http://www.fical.org/index.php?option=com_content&view=article&id=57:morterospastas-y-lechadas&catid=42:clasificacion&Itemid=145)
- S., R. (2001). *La tecnología de los morteros*. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 41–48.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101107>
- V., A., & L., L. (2014). *Propuesta de diseño de morteros para el mantenimiento, conservación y reparación de edificaciones basados en su resistencia a flexión y compresión*. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 8, 1–12.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193931237003>
- V., S. G., M., M., & G., C. A. (2016). *Evaluación de la resistencia a la compresión en morteros de pega de acuerdo con la dosificación establecida por el código Sismo Resistente Colombiano*. *Estudio de caso*. *Tecnura*, 20, 115–122.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257046835009>
- Vidaud, E. (2013). *De la historia del cemento*. *Construcción y Tecnología En Concreto*, 1–6.