



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAestrÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

FACULTAD DE ARQUITECTURA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES HISTÓRICAS

## EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS PARA JUNTEO ELABORADOS CON TRES TIPOS DE ARENA PROVENIENTES DEL CENTRO DE MÉXICO

### TESIS

QUE PARA OPTAR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN ARQUITECTURA  
EN EL CAMPO DE TECNOLOGÍAS

PRESENTA:

**ARQ. CRISTHIAN DAVID CARBAJAL GARCÍA**

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. ALBERTO MUCIÑO VÉLEZ**

Director Regional Centro del Laboratorio Nacional de Vivienda  
y Comunidades Sustentables CONACYT.  
Centro de Investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje (CIAUP)  
Facultad de Arquitectura, UNAM

Ciudad Universitaria, CD. MX. Diciembre 2021



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**Hoja exclusiva de biblioteca central**



## UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

FACULTAD DE ARQUITECTURA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES HISTÓRICAS

### EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE MORTEROS PARA JUNTEO ELABORADOS CON TRES TIPOS DE ARENA PROVENIENTES DEL CENTRO DE MÉXICO

#### TESIS

QUE PARA OPTAR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN ARQUITECTURA  
EN EL CAMPO DE TECNOLOGÍAS

PRESENTA:

**ARQ. CRISTHIAN DAVID CARBAJAL GARCÍA**

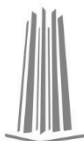
DIRECTOR DE TESIS:

**DR. ALBERTO MUCIÑO VÉLEZ**  
Centro de Investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

**DR. HERWING ZETH LÓPEZ CALVO**  
Coordinador del Cuerpo Académico en Tecnología y Sustentabilidad  
(UABJO-CA-54-PROMEP) de la Facultad de Arquitectura "5 de Mayo"  
de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, UABJO

**DRA. NORA ARIADNA PÉREZ CASTELLANOS**  
CONACYT - UNAM  
Laboratorio Nacional de Ciencias para la Investigación y Conservación  
del Patrimonio Cultural  
Instituto de Investigaciones Estéticas



INSTITUTO  
DE INVESTIGACIONES  
HISTÓRICAS



# COMITÉ TUTOR

Director de tesis

***Dr. Alberto Muciño Vélez***

Centro de Investigaciones en Arquitectura, Urbanismo y Paisaje (CIAUP)  
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, UNAM

Miembros del comité tutor

***Dr. Herwin Zeth López Calvo***

Coordinador del Cuerpo Académico en Tecnología y Sustentabilidad  
(UABJO-CA-54-PROMEP) de la Facultad de Arquitectura “5 de Mayo”  
de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, UABJO

***Dra. Nora Ariadna Pérez Castellanos***

Laboratorio de Cristalofísica y Materiales Naturales, Instituto de Física, UNAM

Sinodales

***Dra. Gemma Luz Sylvia Verduzco Chirino***

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, UNAM

***Mtra. En Ing. Perla Santa Ana Lozada***

Facultad de Arquitectura, UNAM

**“De cualquier modo el arquitecto tiene una tarea obvia: estamos aquí para humanizar la naturaleza mecánica de los materiales.”**

Alvar Aalto

# Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios en primer plano, por todo lo que me ha dado en la vida, esto sin duda ha sido una enorme oportunidad, pues a través del fascinante mundo del conocimiento me ha puesto en el camino correcto donde me he rodeado de personas increíbles y valiosas.

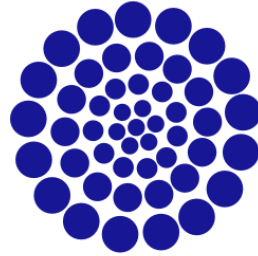
A mi abuelita Tola, una de las personas más importantes de mi vida y quien procuro mucho en mi calidad humana y en la de mis hermanos, una mujer que, a través de sus consejos y su manera de transmitir su sabiduría, fue encausando el entusiasmo de seguir superándome y crecer en el camino del conocimiento, Se que hoy estas en un lugar muy especial, a pesar de extrañarte tanto, quiero decirte que no me alcanzarán jamás las palabras para externarte mi gratitud por todo lo que hiciste por nosotros en casa.

A mis padres Juan Ricardo y Virginia, ustedes saben que para mí son todo lo mejor y el tesoro más valioso en mi vida, los mejores padres que Dios me pudo dar, día a día han sido mi impulso a través de su trabajo y dedicación, un gran ejemplo que he tenido solo de ustedes, por todo su sacrificio y el esfuerzo.

A mis hermanos Luis y Ricardo, que son un soporte único en mi vida, recordarles que trataré de apoyarlos siempre, mientras la vida me permita y sobre todo a mis sobrinos, Regina, Emiliano, Camila y al pequeño Jesús. A mis cuñadas Sandy y Esmeralda gracias. A mí bella Adriana que llegó en el momento más oportuno para continuar adelante con esto. A todos ustedes, Gracias.

Al Dr. Muciño, por dirigir esta investigación, al Dr. Herwin Zeth, Mtra. Perla, Dra. Gemma y Dra. Nora. Por sus aportaciones para la realización y conclusión de este trabajo.

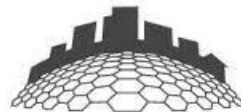
# Agradecimientos



**CONACYT**

*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico brindado para el desarrollo de esta investigación.



LABORATORIO NACIONAL DE VIVIENDA  
Y COMUNIDADES SUSTENTABLES

Gracias al Laboratorio Nacional de Vivienda y Comunidades Sustentables, V sede UNAM, por el apoyo brindado para proceso de la investigación.



Al Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales, de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, por el apoyo brindado al facilitar sus instalaciones en el desarrollo de la investigación.





Mi agradecimiento a las siguientes instituciones, programas académicos y personas:

Al proyecto PAPIIT IN 404218, a cargo del Dr. Alberto Muciño Vélez del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales de la Facultad de Arquitectura de la UNAM.

Al Fondo Sectorial Conacyt SENER No. 26015 Laboratorio para la Enseñanza de la Edificación Sustentable.

Al programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, por su apoyo en la realización de dicha investigación, así como el apoyo colaborativo con la Facultad de Arquitectura 5 de Mayo, de la Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca.

A los Doctores Alberto Muciño y Herwing Z. López por aceptar dirigir esta investigación, a la Dra. Gemma Verduzco Chirino, a la Mtra. Perla Santa Ana Losada, y a la Dra. Nora Pérez, por sus aportaciones para la realización y conclusión de este trabajo.

Agradecimiento al Técnico del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales, el Mtro. Antonio Tahuiton Mora, por el apoyo para la elaboración de pruebas físico-mecánicas en dicho espacio.

A personas que considero grandes amigos y que compartieron su tiempo y espacio; el Dr. Cesar Guillen, Mtro. Antonio Tahuiton, Mtro. Manuel García y el Arq. Francisco Farrera por su gran amistad y el apoyo brindado en el desarrollo de esta investigación.



Esta investigación se realizó en el marco del proyecto PAPIIT IN404218, título **“Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de morteros para junteo elaborados con tres tipos de arena provenientes del centro de México”** y el proyecto PAPIIME PE403618 “Prácticas de Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales de la Facultad de Arquitectura”, bajo la dirección del doctor en arquitectura Alberto Muciño Vélez.



## RESUMEN

El presente documento de investigación se enfoca en determinar el efecto mecánico que tiene el agregado fino (arena triturada, arena de río y arena azul), mezclados con cinco tipos de cementos portland tipo II 30 R y RS para la elaboración de morteros de junteo que se emplean en la Ciudad México y área conurbada a fin de contrastar sus resultados. Para ello, el objetivo de este estudio es evaluar los rangos de encogimiento por retracción iniciadores de fisuramiento, que nos permitan obtener conclusiones y recomendaciones para su uso en la arquitectura. El trabajo se conforma de cuatro capítulos donde se evalúa la caracterización y el análisis granulométrico de los agregados con respecto a las normas aplicables existentes. El plan consistió en obtener los parámetros físicos de las arenas utilizadas, las propiedades físicas de los morteros en estado plástico hasta su endurecimiento (Tiempo de fraguado); así como en estado endurecido (Índice de retracción y Compresión). Como prueba principal se midió el cambio de volumen por retracción durante 30 días en un ambiente de humedad y temperatura controlada.

## ABSTRACT

*This research paper focuses on determining the mechanical effect of fine aggregate (crushed sand, river sand and blue sand), mixed with five types of portland cements type II 30 R and RS for the preparation of grout mortars used in Mexico City and its suburbs, in order to compare their results. For this purpose, the objective of this study is to evaluate the shrinkage shrinkage rates that initiate cracking, which will allow us to obtain conclusions and recommendations for their use in architecture. The work consists of four chapters where the characterization and granulometric analysis of the aggregates is evaluated with respect to the existing applicable standards. The plan consisted of obtaining the physical parameters of the sands used, the physical properties of the mortars in the plastic state until hardening (setting time); as well as in the hardened state (shrinkage and compression index). As the main test, the change in volume due to shrinkage was measured during 30 days in an environment of controlled humidity and temperature.*



***EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-MECÁNICAS DE MORTEROS PARA JUNTEO ELABORADOS CON TRES TIPOS DE ARENA PROVENIENTES DEL CENTRO DE MÉXICO***



## INTRODUCCIÓN

### Estado del arte

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| <b>Origen del proyecto</b> .....   | 12 |
| <b>Justificación</b> .....         | 18 |
| <b>Hipótesis</b> .....             | 19 |
| <b>Objetivo general</b> .....      | 20 |
| <b>Objetivos específicos</b> ..... | 20 |

|   |    |
|---|----|
| <b>PRIMER CAPÍTULO El mortero y sus componentes</b> ..... | 21 |
|---|----|

#### 1.1. Morteros

- 2.1.1. Características del mortero
- 2.1.2. Clasificación
- 2.1.3. Relación Agua – Cemento – Agregado

#### 1.2. Cementos

- 2.2.1. Clasificación

#### 1.3. Las arenas como agregado fino

- 2.3.1. Clasificación
- 2.3.2. Curva Granulométrica
- 2.3.3. Módulo de Finura
- 2.3.4. Composición de las arenas
- 2.3.5. Su importancia en la resistencia de las mezclas de mortero

#### **1.4. Los aditivos**

##### 2.4.1. Clasificación de los aditivos

SEGUNDO CAPÍTULO *Influencia mecánica del agregado fino en las mezclas de mortero* . . . . . 51

#### **1.1. Características**

#### **1.2. Causas físicas del deterioro del mortero**

#### **1.3. La fisuración**

#### **1.4. Formación de productos expansivos**

TERCER CAPÍTULO *Diseño experimental* . . . . . 55

#### **3.1. Diseño experimental**

##### 3.1.1. Materiales Utilizados

##### 3.1.1.1. Cemento

##### 3.1.1.2. Arena

##### 3.1.1.3. Agua

#### **3.2. Diseño de la Experimentación**

##### 3.2.1. Diseño de Mezcla

##### 3.2.2. Numero de Probetas

##### 3.2.3. Moldes

##### 3.2.4. Técnicas de caracterización

##### 3.2.5. Análisis de retracción

##### 3.2.6. Prueba de compresión mecánica

CUARTO CAPÍTULO *Análisis y Discusión de Resultados* . . . . . 79

**5.1 Granulometría**

**5.2 Análisis de retracción plástica**

**5.3 Pruebas de Compresión mecánica**

5.3.1. Gráfica Esfuerzo Deformación (Neville & Brooks, 2001)

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| CONCLUSIONES.....       | 102 |
| RECOMENDACIONES.....    | 103 |
| ÍNDICE DE IMÁGENES..... | 104 |
| ÍNDICE DE GRAFICAS..... | 105 |
| ÍNDICE DE TABLAS.....   | 106 |
| GLOSARIO.....           | 107 |
| ABREVIATURAS.....       | 108 |
| REFERENCIAS.....        | 109 |



El mortero es un material elaborado a través de la mezcla de arena, cemento portland de tipo II y agua.<sup>1</sup> Este es uno de los materiales en la construcción considerados económicos por los ingredientes que lo conforman y sus sencillas prácticas al elaborarlo. Su uso está presente en el pegado de tabiques, enjarres, repellados, aplanados y trabajos decorativos, por su fácil aplicación. Sin embargo hoy en día su fabricación y los desechos que genera al final de su tiempo de vida útil han generado daños al medio ambiente, debido a que su ingrediente principal es el cemento portland y para producir una tonelada de este material, se está produciendo también una tonelada de CO<sub>2</sub>.<sup>2</sup>

Una característica que destaca al mortero es su versatilidad, manejabilidad y adaptabilidad a las formas que busca el constructor. Sin embargo, como muchos materiales que se emplean en edificación estos presentan fallas. Es por lo que la presente investigación busca identificar la interacción mecánica entre los cementos y los agregados finos, que contribuya en una mayor durabilidad, por considerar al agregado por algunos autores como “material inerte”, no costoso y disperso en la pasta de cemento que al cabo de unas cuantas horas se endurece paulatinamente para dar lugar a una roca dura.

Desde años atrás cuando se inició el uso del mortero elaborado con cemento Portland en las edificaciones del mundo y principalmente en México, se ha presentado quiebres o aperturas en juntas como en acabados con la presencia de fisuras, las cuales han surgido de manera sistemática a corto o largo plazo, por ello mediante la disciplina se buscó contribuir mediante el análisis de agregados.

---

<sup>1</sup> Adam M. Neville, *“Tecnología del concreto”* (México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2013)

<sup>2</sup> Ibidem

México por su diversidad mineral requiere mayor investigación en la evaluación de sus minerales de construcción, por ello que la presente investigación tiene como propósito desarrollar un estudio físico y mecánico que permita conjuntar múltiples enfoques normativos y tecnológicos aplicando distintas técnicas de análisis.<sup>3</sup>

Por su parte (Chan, 2003) menciona que los fenómenos de acortamiento de los morteros para muchos autores presuponen varias causas como son: mala calidad, tensiones por aplicaciones de carga y malos procesos de elaboración de las mezclas. Sin embargo, otros han determinado ataque de sulfatos, reacción álcalis de los agregados, el congelamiento, la contracción por volumen y los cambios de volumen por temperatura de la propia naturaleza.<sup>4</sup>

En el año 2003, investigadores de la Universidad Autónoma de Yucatán, México estudiaron la influencia que tenían los agregados pétreos del Sureste en las características del concreto, mediante la caracterización de agregados gruesos en las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido.

En 2012 Christine Courtel constato la existencia de problemas en la calidad de los agregados, dosificaciones y en la tecnología de colocación de concretos y morteros. Donde propuso mecanismos para disipar los problemas mencionados mediante técnicas de curado.

---

<sup>3</sup> Vargas López, S. (2017), "Modificación de las propiedades mecánicas del mortero", Maestría en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, México. Pag.15-20

<sup>4</sup> Yam Chan J.L., Solís Carcaño R. y Moreno E.I. (2003). "Influencias de los agregados en las características del concreto". Boletín de Construcción, Ingeniería 7-2, FIUADY, Mérida, México. Pag: 2 – 9

Monteagudo, S. (2014) Propone la necesidad de tener mejores edificaciones, durables en el tiempo que catapulte al hombre a buscar soluciones con mejoras en los materiales y sistemas constructivos, que cumplan con límites superiores a través de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales buscando establecer relaciones de validez entre las propiedades microscópicas y macroscópicas a fin de predecir y mejorar el comportamiento de los materiales como parte esencial de sus objetivos, para una correcta adecuación en la zona de aplicación.

En 2015 se realizaron estudios de canteras suministradoras de Ciego Ávila, Cuba, donde se determinó que los agregados no cumplían con las especificaciones de la norma NC 251:2013 “Áridos para concretos hidráulicos” referida con la norma (ASTM-C-33), donde se buscaba disminuir la fisuración por retracción ajustando las cantidades de cemento en la mezcla al ajustar una curva granulométrica.

A continuación, abordaremos la problemática que originó esta investigación, sobre los distintos tipos de agregados en combinación con diferentes marcas de cemento portland tipo II comercializados en México, para determinar las variables mecánicas que influyen en las mezclas y como dotar de mejores recomendaciones al momento de elegir materiales para la elaboración de mezclas de mortero según su uso.

Con el propósito de dar una respuesta convincente sobre el comportamiento de los agregados finos dentro de la mezcla de mortero se analizó el material bajo métodos experimentales establecidos por organismos internacionales y nacionales acreditados. Intrínsecamente en la arquitectura y sus distintas aplicaciones constructivas, bajo las condiciones mecánicas. Centrándonos en la disciplina y bajo la óptica de Arquitecto, se ejecutaron muestreos con diferentes técnicas descritas en las normas ASTM y las NMX-ONNCCE, para establecer un diseño de mezclas con excelentes prestaciones, que posteriormente se evaluaron mecánicamente para determinar su resistencia máxima a la compresión.

El 100% de los morteros que se elaboran en México requieren para su fabricación agregados que se obtienen mediante dos fuentes: La primera mediante bancos de origen natural (Ríos, playas) y el segundo por productos de trituración de roca en zonas de cantera, conformando el 70% del cuerpo de la mezcla en combinación con cementos portland tipo II. Sin embargo el 30% de sus fallas son inducidas por una inadecuada selección de agregados durante los procesos de diseños en la mezcla.<sup>5</sup>

La industria no ha logrado evaluar la amplia gama de agregados utilizados en las diferentes regiones del país. Los agregados finos son un componente dinámico dentro de las mezclas, por sus variaciones morfológicas que son consecuencia del proceso de explotación, manejo y transporte. Pues de acuerdo con autores, se les considera un componente crítico en el comportamiento de la estructura del mortero.<sup>6</sup>

Desde su tamaño los agregados se dividen en dos grupos: los agregados finos y los agregados gruesos. Los primeros consisten en arenas naturales o manufacturadas que van de los 5mm hasta 60  $\mu\text{m}$ ; los segundos son aquellos que sus partículas son mayores a 5 mm – 125 mm.<sup>7</sup>

Otras características importantes en los agregados tienen que ver con su forma y textura, partícula, porosidad, absorción, densidad, adherencia y resistencia de acuerdo con (Chan, 2003). Pero lo más importante radica en la granulometría de los agregados en su módulo de finura, tanto en el comportamiento del estado fresco y hasta el estado de fraguado del mortero.

---

<sup>5</sup> Castro, M.A. Sanjuán y P. (2001) "Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto".

<sup>6</sup> Ibidem

<sup>7</sup> Adam M. Neville, "Tecnología del concreto" (México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto", A.C., 2013)

Los cambios volumétricos en las mezclas de mortero de acuerdo con Olague C. (2003), aparecen en la superficie del material a las pocas horas del colado en su estado fresco, a veces muy pronto, después del enrase y frecuentemente antes del allanado. Este fenómeno muchas veces provoca la falta de adherencia que se interpreta como un proceso defectuoso en la ejecución del revestimiento, impidiendo la debida penetración de la pasta o del mortero en estado plástico antes del fraguado por la red capilar del soporte.<sup>8</sup>

La tensión de retracción aumenta proporcionalmente con el aumento de la tensión de contracción de los agregados finos, por lo que la superficie específica y el volumen de los poros de 6-30 nm de diámetro en los agregados, implica que la importante influencia de las características de los agregados en el desarrollo de la retracción por disecación en el mortero.<sup>9</sup>

El mortero al ser un material compuesto está sometido a un cambio en el volumen desde el momento en que el cemento y los agregados entran en contacto con el agua, (reacción exotérmica), causando grietas por una tasa en la velocidad de evaporación de humedad superficial acelerada, misma que es remplazada por el agua de exudación o sangrado, la cual puede variar durante minutos, horas, meses y años. Este fenómeno es denominado para algunos autores como; “RETRACCIÓN PLÁSTICA” y se expresa a través de aperturas longitudinales que afectan las superficies del MORTERO en su exterior y en algunos casos en el interior.

En una explicación más clara podemos decir; que el agua se localiza por debajo de la superficie del mortero, formando meniscos entre las partículas finas del cemento y agregados que están generando fuerzas de tensión en la capa superficial.

---

<sup>8</sup> Olague C. (2003) Agregados para Concreto. “*Caracterización Físicoquímica de agregados para concretos hidráulicos*”. 1ª Edición. Colección Textos Universitarios. Universidad Autónoma de Chihuahua

<sup>9</sup> Zhang W., Zakaria M. y Hama Y. (2013) “*Influencia de las características de los materiales agregados en la contracción por secado en las propiedades del mortero y concreto*”. El Sevier Ltd. Pag: 2 – 11

Al combinarse con materiales porosos, con alto coeficiente de absorción y variación morfológica, teniendo mayores probabilidades de presentar fenómenos por fisuramiento, razón principal para analizar la influencia de los agregados finos en esta investigación.<sup>10</sup>

Los intentos por eliminar el agrietamiento por contracción plástica a través de la modificación de la composición han resultado poco efectivos para reducir el potencial por agrietamiento. Sin embargo, si podemos tener las precauciones necesarias para minimizar la posibilidad de que esto ocurra.

Las mezclas de mortero son utilizadas para generalmente en elementos de mampostería, de menor densidad volumétrica, las cuales soportan cargas mínimas de 100 kg/cm<sup>2</sup>, un uso importante dentro de la construcción de vivienda en México con un 60% de su utilización en muros de carga y cimentaciones, el resto se requiere para los revestimientos.<sup>11</sup>

Para efectos de esta investigación utilizaremos métodos de prueba que actualmente son empleados para evaluar el cambio volumétrico o índice de retracción, mediante la comparación de probetas prismáticas y una mezcla de control, para efectos de contraste y desviación estándar.

---

<sup>10</sup> Fernández Cánovas (1994). M ACI 224. 1R-93 *Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón*., "Patología y terapéutica del hormigón armado", Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>11</sup> L. Arnal Simón, *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal: reglamento, normas técnicas, Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, Reglamento de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, ilustraciones y comentarios, gráficas, planos y lineamientos* (México: Trillas s.a. de c.v., 2005).

## JUSTIFICACIÓN

En México no se tiene conocimiento al cien por ciento de los efectos que tienen las arenas del centro del país, en cuanto a las propiedades del mortero en estado fresco como endurecido; razón importante, para que este tipo de investigaciones se encaminen al conocimiento detallado de estos materiales.

De acuerdo con el American Concrete Institute (ACI), los cambios de volumen generadores de fisuras y agrietamientos deben evitarse, controlarse y minimizarse por que deterioran la durabilidad y la integridad estructural, y son al mismo tiempo estéticamente indeseables.

## HIPÓTESIS

Mediante un control granulométrico y análisis del origen del agregado fino, es posible reducir el consumo de cemento hasta en un 20% al identificar las características físicas y morfológicas del agregado y su relación mecánica con el cemento portland tipo II.





# OBJETIVOS

## GENERAL

Analizar la influencia que tienen las arenas en la elaboración de morteros y evaluar su comportamiento mecánico al combinarse con diferentes cementos de tipo II, que se comercializan en la zona centro de México.


## PARTICULARES

- Caracterizar el agregado fino de mayor uso en la zona centro de México.
- Analizar la influencia mecánica de los cementos en las mezclas de mortero.
- Identificar los cambios de volumen que experimenta el mortero con los tipos de agregados a fin de contrastar las variaciones longitudinales con un agregado de referencia.
- Mitigar la retracción por secado como causa del deterioro a través de un diseño granulométrico de los agregados a evaluar.
- Exponer recomendaciones a investigadores y público en general ante el uso óptimo de los agregados finos en sus mezclas de mortero.



# CAPÍTULO | 1

En este capítulo abordaremos los elementos que interviene en la elaboración de las mezclas de mortero, los agregados finos (arenas), el cemento como material aglutinante y el agua que se utiliza para hidratar al cemento. Indicando las características de cada uno de los elementos y como pueden llegar a modificar las propiedades físicas y mecánicas del mortero por su composición, su volumen y el lugar de extracción en donde se obtienen.





Es una mezcla plástica aglomerante, resultado de combinar cemento como material aglutinante, arena como agregado fino y agua.<sup>12</sup>

En sí podemos referir que el mortero es una pasta plástica, constituida por un material conglomerante y un aglomerante, dentro de la matriz cerámica aglomerante podemos tener cemento, cal o yeso y en la aglomerante encontramos los agregados pétreos finos. Para que estos se unan es necesario una reacción de hidratación en el material cementante; generada por el contacto del agua con el cemento.

Dentro de los usos más comunes del mortero encontramos desde el pegado de mampuestos hasta los acabados arquitectónicos, según el uso que se le quiera dar será la reacción del material cementante con el agregado fino. Es decir, para cada tipo de uso es necesario un diseño de mezcla diferente; que pueda cumplir con los requerimientos o condiciones a donde será aplicado.<sup>13</sup>

## CLASIFICACIÓN DEL MORTERO

Los morteros se clasificarán por su resistencia de diseño a compresión,  $f_j'$ , en los siguientes tipos:

- **Tipo I** con resistencia a compresión mayor o igual que **12.5 MPa** (125kg/cm<sup>2</sup>)
- **Tipo II** con resistencia a compresión menor que la del Tipo I y mayor o igual que **7.5 MPa** (75 kg/cm<sup>2</sup>)

---

<sup>12</sup> Metha, K. y P. Monteiro. (1998), Concreto: estructuras, propiedades y materiales. México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

<sup>13</sup> Arnal Simón, L. (2005), Reglamento de construcciones para el Distrito Federal: reglamento, normas técnicas, Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, Reglamento de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, ilustraciones y comentarios, graficas, planos y lineamientos. México, Trillas S.A. de C.V.

Para el control de la resistencia en obra se utilizará la resistencia media de acuerdo con lo indicado en la **NMX-C-486-ONNCCE**<sup>14</sup>

### **Mortero tipo M**

Es el mortero de mayor resistencia, mínimo 17.2 MPa (2500 psi). Se utiliza para trabajos de albañilería exterior y en aplicaciones de bajo grado o en lugares donde se ejercen cargas importantes de gravedad o laterales. los muros de carga, los pies, los muros de contención son ejemplos de aplicaciones de bajo grado.

### **Mortero Tipo S**

Es un mortero de resistencia media mínimo de 12.4 MPa (1800 psi) con alta capacidad de unión. Se utiliza para aplicaciones de grado con carga normal a moderada.

El mortero tipo S tiene una gran durabilidad, por lo que es muy adecuado para lugares donde la mampostería está en contacto con el suelo, como pavimentos o muros de contención poco profundos.

### **Tipo N Mortero**

Es de resistencia media con un mínimo de 5.2 MPa (750 psi) y el tipo más común de mortero. El mortero tipo N se utiliza para muros de carga reforzados en interiores y exteriores sobre los cuales se imponen cargas normales.

---

<sup>14</sup> Industria de la construcción – cementos hidráulicos– especificaciones y métodos de ensayo”, Norma Mexicana. NMX-C-414-ONNCCE-2017

## Tipo O Mortero

Es un mortero de baja resistencia con un mínimo de 2.5 MPa (350 psi). Mortero tipo O empleado para aplicaciones interiores sin carga con uso exterior muy limitado. Sumado a eso, se usó para volver a imprimir donde la integridad estructural de la pared está intacta.

### Características mecánicas y dosificación de los materiales.

| Tipo de mortero | Resistencia de compresión |                       |          | Cemento Portland | Cemento Albañilería | Cal         | Agregado fino suelto                                    |
|-----------------|---------------------------|-----------------------|----------|------------------|---------------------|-------------|---|
|                 | (MPa)                     | (Kg/cm <sup>2</sup> ) | (P.S.I.) |                  |                     |             |   |
| <b>M</b>        | 17.2                      | 175                   | 2500     | 1<br>1           | 1<br>-              | 0.25        | Entre 2.25 y 3 veces la suma de cemento y cal utilizado |
| <b>S</b>        | 12.4                      | 126                   | 1800     | 0.5<br>1         | 1<br>-              | 0.25 a 0.50 |   |
| <b>N</b>        | 5.2                       | 53                    | 750      | -<br>1           | 1<br>-              | 0.50 a 1.25 |   |
| <b>O</b>        | 2.4                       | 25                    | 350      | -<br>1           | 1<br>-              | 1.25 a 2.50 |   |

Tabla 1. Clasificación de morteros, Norma ASTM -C-270

Según la Norma Mexicana NMX-C-486-ONNCCE-2014 <sup>15</sup>(Mortero para uso estructural).

Los morteros se pueden clasificar de 3 diferentes formas:

- Por su fabricación
- Por su uso
- Por su resistencia a la compresión.

Se puede clasificar también de acuerdo con el material cementante empleado para su fabricación.

Mortero de cal: mezcla de cal, agua y arena. La cal puede ser hidráulica si se necesita que fragüe en el agua o aérea para fraguar al contacto con el aire.

---

<sup>15</sup> "Industria de la construcción – mampostería – mortero para uso estructural – especificaciones y métodos de ensayo", Norma Mexicana NMX-C-486-ONNCCE-2014.

Mortero de cemento: mezcla de cemento, agua y arena. Dependiendo del uso que se le dé, se le puede adicionar arena fina y mayor o menor cantidad de cemento.

Mortero de cemento-cal: también es llamado mortero bastardo, ya que intervienen dos materiales cementantes.

En otra clasificación literaria los podemos encontrar como:

- Morteros hechos «in situ»

Estos morteros están compuestos por los componentes primarios, dosificados, mezclados y amasados con agua en la obra.

- Morteros industriales semiterminados

Dentro de este grupo existen los morteros predosificados y los morteros premezclados de cal y arena. Morteros predosificados son aquellos cuyos componentes básicos (conglomerante o conglomerantes y áridos) dosificados independientemente en una fábrica, se suministran al lugar de su utilización, donde se mezclan en las proporciones y condiciones especificadas por el fabricante y se amasan con el agua precisa hasta obtener una mezcla homogénea para su utilización. Estos morteros pueden tener aditivos y/o adiciones en sus correspondientes compartimentos.<sup>16</sup>

Los componentes básicos de estos morteros se presentan -por regla general- en un silo que tiene un compartimento para cada material (conglomerante o conglomerantes, por una parte, y áridos, por otra); de aquí que estos morteros también se conozcan como «morteros de dos componentes».

---

<sup>16</sup> CEMEX Concretos, (2013). "Manual del constructor". México, CEMEX S.A. de C.V.

## **Morteros industriales**

Son aquellos que se han dosificado, mezclado y, en su caso, amasado con agua en una fábrica y suministrado al lugar de construcción. Estos morteros pueden ser «morteros secos» o «morteros húmedos».<sup>17</sup>

Morteros húmedos: son mezclas ponderales de sus componentes primarios (conglomerantes o conglomerantes, áridos y aditivos). Además, pueden tener adiciones en proporciones adecuadas. Se amasan en una fábrica con el agua necesaria hasta conseguir una mezcla homogénea para su utilización. Los morteros húmedos precisan añadir retardadores para prolongar su trabajabilidad.

Morteros secos: son mezclas ponderales de sus componentes primarios (conglomerante o conglomerantes y áridos secos). Además, pueden tener aditivos y/o adiciones en proporciones adecuadas preparadas en una fábrica. Se suministran en silos o en sacos y se amasan en la obra, con el agua precisa, hasta obtener una mezcla homogénea para su utilización.

Actualmente los morteros secos industriales han desarrollado una alta tecnología que permite satisfacer las exigencias del proyectista y constructor tanto en puesta en obra como en sus requerimientos constructivos bajo una alta fiabilidad. Son los morteros con mayor carga tecnológica, enfocada a lograr la garantía de calidad que requiere su utilización. Por su importancia veamos en detalle esta última tipología.

## **Morteros secos**

Una ventaja significativa de los morteros secos consiste en que por su forma de suministrarse – silos o sacos– se protege perfectamente el contenido a mezclar. El

---

<sup>17</sup> Metha, K. y P. Monteiro. (1998), Concreto: estructuras, propiedades y materiales. México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.



mortero que se fabrica es el que realmente va a ser consumido, de modo que no se desaprovecha ninguna cantidad. El mortero no precisa, por tanto, retardantes que demoren el fraguado hasta que vaya a ser utilizado evitando su sobre aditivación.

### Mortero seco en silos

El sistema de morteros secos en silos o a granel ha cobrado un auge exponencial desde su desarrollo industrial en nuestro país la década pasada. La excelente respuesta del producto, la estructura de servicio añadida y la garantía de un elevado estándar de calidad, no alcanzable desde un proceso de fabricación en obra o por otros sistemas, son algunos de los factores claves que han catapultado a la primera línea de consumo a los morteros secos.<sup>18</sup>

El procedimiento seguido por este sistema es altamente sencillo, limpio y racional en los consumos. El fabricante aporta uno o más silos con su logística de aplicación y el tipo exacto de mortero definido por el prescriptor, de acuerdo con unos exhaustivos procesos y controles diseñados en la planta de fabricación. El contenido de los silos puede reponerse mediante el suministro de mortero seco transportado en camiones cisterna



Imagen 1 Tanque cisterna de transporte de cemento

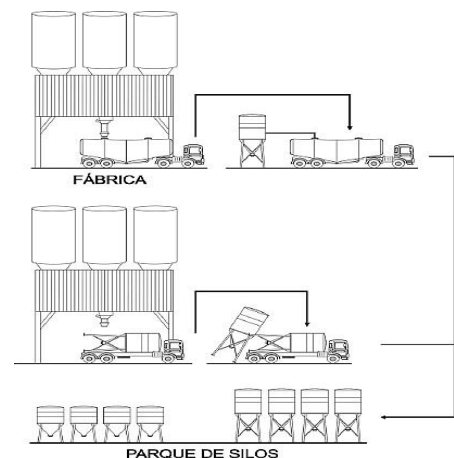


Imagen 2. Proceso de envasado de mortero en silos.

<sup>18</sup> Askeland, D. (2016) Ciencia e Ingeniería de los materiales

Los silos de mortero seco actualmente disponibles en el mercado son de gravedad y de presión. Los primeros son los más convencionales y dispensan el mortero a pie de máquina. Los silos de presión utilizan unas mangueras por donde se bombea el mortero hasta cualquier parte de la obra, sin necesidad de grúas, aportando una extraordinaria comodidad en el tajo. Por tamaño encontramos silos desde 1,6 toneladas (mini silos) hasta 30.

### **Mortero seco ensacado**

El otro canal de distribución de morteros secos es vía ensacado. Podemos encontrar desde los morteros más convencionales para albañilería, normalmente clasificados en función de su resistencia y color (blanco, gris, pigmentados), hasta morteros especiales para aplicaciones.

Se diversifican aquí, desde morteros para proyectar como revestimientos, morteros cola, morteros de restauración, morteros de impermeabilización, morteros de reparación estructural (tixotrópicos), morteros autonivelantes, morteros monocapa, etc.

La alta gama de soluciones existente responde al elevado grado de investigación y experiencia del sector, permitiendo encontrar siempre la solución más idónea para el proyectista. Además, como morteros preparados en factorías gozan de la garantía y control de calidad alcanzables solamente mediante un proceso industrial.

Su puesta en obra es muy sencilla al evitar cualquier dosificación o selección de componentes en obra. Basta con su amasado manual o mecánico con amasadoras siguiendo las instrucciones del suministrador.

Sin embargo, en México los podemos clasificar según el uso como:

- Mortero para asentar mampostería

- Mortero para pegar acabados
- Mortero para revoco grueso
- Mortero para revoco fino
- Mortero impermeabilizante
- Mortero de reparo

## **MATERIAL Y COMPONENTES DEL MORTERO**

### **El cemento portland**

En la investigación documentada por S. Vargas (2017) menciona que –“Es el ingrediente primordial en la elaboración de morteros, debido a sus propiedades de adhesión y cohesión, que le permite unir elementos pétreos para formar otro elemento rígido.”<sup>19</sup> De acuerdo con la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM-C-219-03) es producido a través de la pulverización de Clinker de cemento portland y sulfato de calcio en su contenido.<sup>20</sup>

La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posibles. Desde que el ser humano superó la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con determinadas características para cubrir requerimientos específicos.<sup>21</sup>

Templos, palacios, mausoleos, y caminos entre muchos otros tipos de construcción, son resultado de todos esos esfuerzos que a la vez han constituido una de las más sólidas bases sobre las que se finca el progreso de la humanidad.

---

<sup>19</sup> Adam M. Neville, “Tecnología del concreto” (México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto”, A.C., 2013)

<sup>20</sup> ASTM-C-219 *Standard Terminology Relating to Hydraulic Cement*. (2003) pag. 1-3

<sup>21</sup> Askeland, D. (2016) *Ciencia e Ingeniería de los materiales*

El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero -mezcla de arena con material cementoso para unir bloques y losas al erigir sus asombrosas construcciones. Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena, producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua dulce o salada.

Un material volcánico muy apropiado para estas aplicaciones lo encontraron los romanos en un lugar llamado Pozzoli, de donde se tomó este material el nombre con el que actualmente se le conoce: puzolana.

### **Fabricación y propiedades**

Investigaciones y descubrimiento a lo largo de miles de años nos conducen a principios del siglo pasado, cuando en Inglaterra fue patentada una mezcla de caliza dura, molida y calcinada con arcilla, la cual, al agregársele agua, producía una pasta que de nuevo se calcinaba, molía y batía hasta producir un polvo fino que es el antecedente directo del cemento de nuestro tiempo.

El nombre de Cemento Portland le fue dado por la similitud que el cemento tenía con la piedra de la isla de Portland en el canal inglés. La aparición del Cemento Portland y de su producto resultante, el concreto, han sido un factor determinante para que el mundo adquiriera una fisonomía diferente.

Edificios, calles, avenidas y carreteras, presas y canales, fábricas, talleres y casas, dentro del más amplio rango de tamaños y variedad de características, nos dan un mundo nuevo de comodidad, de protección y belleza donde realizar nuestros más variados anhelos: un mundo nuevo para trabajar, para crecer, para progresar, para vivir.

### **Cemento portland y coeficientes de fricción**

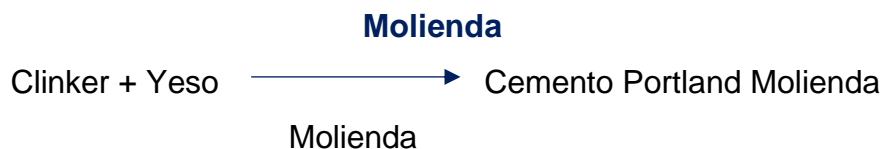
A. Usos generales de toda la variedad de materiales cementantes que existen en la actualidad, el Cemento Portland, es el más usado debido a su bajo costo, su versatilidad

para ser empleado en diferentes tipos de estructuras y su habilidad, cuando sus propiedades son racionalmente aprovechadas, para soportar diferentes condiciones ambientales.

Siendo el ingrediente básico el concreto, el Cemento Portland se usa para construir elementos y estructuras tales como:

- Tuberías de drenaje
- Plantas de tratamiento de aguas negras
- Obras subterráneas
- Muelles, plataformas marinas, etc.
- Pavimentos y líneas de desfogue
- Cortinas y vertedores de presas
- Viviendas de interés social, edificios altos, etc.
- Elementos prefabricados (preforzados)
- Plantas nucleares etc.

Una vez enfriado, al clinker se le añade de un 3% a 5% de yeso para controlar la velocidad del proceso de hidratación cuando el concreto se pone en contacto con agua, finalmente, la mezcla de clinker y yeso pasa a:



Es importante hacer notar que los compuestos del cemento derivados de la presencia de fierro y aluminio (Fe y Al), en poco a nada contribuyen a la resistencia del cemento, y en cambio pueden ser responsables de severos problemas de la durabilidad del concreto. ¿Por qué entonces se les mantiene formando parte de los compuestos del cemento? Si no estuvieran presentes.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> durante el proceso de calcinación, la temperatura de fusión de la mezcla sería de aproximadamente de 2000 °C, estos tres compuestos actúan como catalizadores, disminuyendo la temperatura de fusión al rango de 1400 a 1600 °C.

### Composición química

La composición química del Cemento Portland resultante se determina rutinariamente mediante métodos estándar, por ejemplo, los óxidos componentes de un Cemento Portland ordinario se indican en la siguiente tabla:

| ÓXIDO                          | % Peso      | Nombre              |
|--------------------------------|-------------|---------------------|
| CaO                            | 63          | Oxido de Calcio     |
| SiO <sub>2</sub>               | 22 93.5%    | Oxido de Silicio    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6           | Oxido de Aluminio   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.5         | Oxido Férrico       |
| MgO                            | 2.6         | Oxido de Magnesio   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.6 Álkalis | Óxido de Potasio    |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.3         | Óxido de Sodio      |
| SO <sub>3</sub>                | 2.0         | Anhídrido Sulfúrico |

Tabla 2. Componentes químicos del cemento, Tecnología del concreto, A. M. Neville 1998

### AGREGADOS

México cuenta con una variedad de arenas que son empleadas en la industria de la construcción para la elaboración de mezclas de cemento, Estos materiales constituyen el 70% de la mezcla respecto al volumen seco, las fuentes donde son obtenidas son: de bancos de origen natural y en casos específicos de tipo industrial.

## Rocas

Las rocas donde es obtenido el agregado natural pasan por un proceso químico al combinarse los minerales por efectos de la presión geológica dentro de la corteza terrestre, algunas pueden tener ser susceptibles a la deformación y otras demasiado duras, con variables capacidades mecánicas. <sup>22</sup>

De acuerdo con la norma ASTM-C294, los agregados deben cumplir con la siguiente clasificación:

- Rocas Ígneas
- Rocas sedimentarias
- Rocas Metamórficas

### Rocas Ígneas

Las rocas ígneas o magmáticas son todas aquellas que se forman por solidificación de un de material rocoso, caliente; este proceso, llamado cristalización, resulta del enfriamiento de los minerales y del entrelazamiento de sus partículas. Este tipo de rocas también son formadas por la acumulación y consolidación de lava, palabra que se utiliza para un magma que se enfría en la superficie al ser expulsado por los volcanes.

---

<sup>22</sup> <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Rocas/Rocas-igneas.html>










| <b>ROCAS ÍGNEAS</b> |                                    |   |  |  |
|---------------------|------------------------------------|---|--|--|
| <b>TIPO DE ROCA</b> | <b>NOMBRE</b>                      | <b>COMPONENTES MINERALES</b>  |  | <b>OBSERVACIONES</b>   |
| <b>PLUTONICAS</b>   | <b>Granito</b>                     | -Cuarzo,<br>feldespatos,<br>micas y<br>plagioclase                      |    | Intemperizable en<br>clima tropical                                  |
|                     | <b>Diorita</b>                     | -Plagioclase y<br>micas   |    |  |
|                     | <b>Grabo</b>                       | -Plagioclase ,<br>mica augita,<br>hiperstena,<br>olivino,<br>hornblenda |    | Alto peso<br>especifico  |
|                     | <b>Sienita<br/>feldespatóidica</b> | Feldespatoides,<br>máficos  |    |  |
|                     | <b>Peridotitas (dunita)</b>        | -Olivino,<br>piroxeno,<br>hornblenda,<br>magnetita,<br>ilmenita         |   |  |
| <b>VOLCANICAS</b>   | <b>Riolita</b>                     | -Cuarzo,<br>feldespatos,<br>micas, vidrio y<br>plagioclase              |  | Reactiva con<br>álcalis de cemento.                                  |
|                     | <b>Andesita</b>                    | -Plagioclase,<br>mica y vidrio  |  |  |
|                     | <b>Basalto</b>                     | -augita,<br>hiperstena,<br>olivino,<br><br>hornblenda                   |  | Alta resistencia a la<br>compresión y<br>resistente a la<br>abrasión |
|                     | <b>Tobas</b>                       | -Variables,   |  | Probabilidad de ser<br>reactiva o<br>desfavorable.                   |

Tabla 3. Rocas ígneas, retomado del Servicio Geológico Mexicano, Museo Virtual, 2020



## Rocas sedimentarias

Rocas sedimentarias, son un tipo de roca que se forma por la sedimentación de un material de origen animal y/o vegetal a través de rocas duras, mantenidos juntos por uniones químicas o entrelazados unos dentro de otros. Los materiales disueltos, son trasladados y concentrados formando minerales que se almacenan en agregados y posteriormente son litificados como en las rocas detríticas, para formar una roca. Casi todas estas rocas se originan por precipitación química en extensiones de agua superficial, ya sea por procesos químicos inorgánicos o por la actividad química de los organismos. A las rocas formadas por la actividad de los organismos se les conoce como rocas sedimentarias bioquímicas, por lo regular su estructura es cristalina.<sup>7</sup>

Una roca preexistente expuesta en la superficie de la tierra pasa por un Proceso Sedimentario (erosión o intemperismo, transporte, depósito, compactación y diagénesis) con el que llega a convertirse en una roca sedimentaria; a esta transformación se le conoce como litificación.

Usualmente son acumulaciones mecánicas de partículas o sedimentos de rocas preexistentes denominadas “detritus” o “clastos” formados por los materiales producto de la intemperie y la erosión en la superficie; éstos son transportados y finalmente depositados, por lo que presentan una textura denominada clástica.

---

<sup>7</sup> *Wicander Reed y Monroe James, “Fundamentos de Geología”, 2000.*  
*Turner Francis J y Verhoogen John, “Petrología Ígnea y Metamórfica”, 1963.*









| ROCAS SEDIMENTARIAS |                     |                             |  |  |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|--|--|
| TIPO DE ROCA        | NOMBRE              | COMPONENTES MINERALES       |  | OBSERVACIONES  |
| CLÁSICAS            | <b>Conglomerado</b> | -Fragmento de roca y matriz |    |  |
|                     | <b>Arenisca</b>     | -Arena de cuarzo            |    | Probabilidad de contener ementante silico que reacciona con álcalis de cemento   |
|                     | <b>Lutita</b>       | -Material arcilloso         |    | Baja resistencia a la compresión y puede hidratarse mediante material arcilloso. |
| NO CLÁSICAS         | <b>Caliza</b>       | -Calcita                    |   | Varía su morfología  |
|                     | <b>Marga</b>        | -Calzita y minerales        |  | Textura cristalina   |
|                     | <b>Dolomita</b>     | -Calcita y dolmita          |  | Provoca reacción álcali-carbonato con el cemento                                 |
|                     | <b>Yeso</b>         | -Anhidrita                  |  | Muy ligero, con baja resistencia a la abrasión.                                  |
|                     | <b>Carbón</b>       | -Carbón                     |  | Es frágil y genera problemas durante la combinación con el cemento.              |

Tabla 4. Rocas Sedimentarias recabado del Servicio geológico Mexicano, Museo Virtual, 2020

## Rocas Metamórficas

Resultan de la transformación de rocas preexistentes que han sufrido ajustes estructurales y mineralógicos bajo ciertas condiciones físicas o químicas, o una combinación de ambas, como son la temperatura, La roca generada depende de la composición y textura de la roca original, de los agentes del metamorfismo, así como del tiempo en que la roca original estuvo sometida a los efectos del llamado proceso metamórfico.





| ROCAS METAMÓRFICAS |                  |   |   |  |
|--------------------|------------------|---|---|--|
| TIPO DE ROCA       | NOMBRE           | COMPONENTES MINERALES                       |   | OBSERVACIONES  |
| FOLIADAS           | <b>Pizarra</b>   | -O <sub>2</sub> , Micas, Clorita y Serecita |    | Poco favorable en construcción                             |
|                    | <b>Esquisto</b>  | -Micas, Cloritas, Calcitas y Feldespatos.   |   | Puede ser muy desfavorable su uso.                         |
|                    | <b>Gneiss</b>    | - Feldespatos, ferromagnesianos             |  | Uso desfavorable   |
| NO FOLIADAS        | <b>Hornfelos</b> | -Mica, granate, Px Cuarzo, Feldespato.      |   | Puede contener sílice reactiva con los álcalis del cemento |
|                    | <b>Cuarcita</b>  | -O <sub>2</sub> . Feldespatos sillimanita   |  | Reactivo con álcalis de cemento                            |
|                    | <b>Mármol</b>    | -Calcita, PX y AN                           |  |  |

Tabla 5. Rocas sedimentarias, servicio geológico Mexicano, Museo Virtual, 2020

En la construcción las rocas son utilizadas como elementos de carga, algunas veces decorativos y materias primas para la elaboración de materiales compuestos en el desarrollo de concretos y morteros.

Características que deben cubrir para ser integradas en los procesos de edificación;

- No deben tener grietas ni cavidades
- Deben ser homogéneas
- No deben tener alteración alguna
- Evitar el congelamiento o intemperismo

De acuerdo con S. Vargas (2017). Los agregados que se utilizan en las mezclas de cemento son denominados comúnmente áridos. Provenientes de una roca que después de un proceso de clasificación por granulometría se ocupan en la producción de morteros, concretos y aglomerantes. El tamaño puede ser variable pues va desde las 60 micras hasta varios metros.

Las arenas pueden clasificarse de la siguiente forma:

- ✓ **Naturales:** que proviene de bancos minerales que son extraídos por procesos mecánicos que se dividen en; rodados o granulares. Estas pueden ser utilizadas después de un proceso de lavado o depurado, otras después de un proceso de triturado en canteras que son clasificados posteriormente en el yacimiento.
- ✓ **Artificiales:** Se constituye por un proceso industrial a través de la combinación de escorias siderúrgicas.
- ✓ **Ligeros:** Estos son de origen natural y en algunos casos artificiales con una densidad aparente por debajo de los 1000 kg/cm<sup>2</sup>.

- ✓ **Reciclados:** Actualmente se obtienen de la recuperación de materiales procedentes de la demolición de estructuras de matriz cerámica.

## Composición de las arenas

Los agregados se dividen en dos grupos a la norma ASTM-C-33:

### Los agregados gruesos

Son aquellos cuyas partículas son mayores a 5mm y hasta 125mm. A su vez los agregados finos se consideran como arenas de manufactura o naturales con partículas que rondan los 5 mm a los 60  $\mu\text{m}$ .

- Las arenas gruesas comprenden entre los 2 y 5 mm
- Arenas medianas comprendidas entre los 0,5 y 2 mm
- Arenas finas: comprendidas en el rango de 0.08 y 0.5 mm
- Polvos de arena: su diámetro es inferior a 0.08 mm

La arena es el componente encargado de determinar las diferencias mecánicas de las mezclas de cemento Portland. Por su morfología las arenas de río son más resistentes a los esfuerzos de compresión, por su alto contenido de sílice. Las arenas trituradas mejoran la adherencia en superficies por su estructura amorfa, siempre y cuando no se degraden por efectos de descomposición. Algunas que se denominan “azules”, se consideran más calizas, por lo que su calidad resulta ser muy variable y con ajustes mayores en la relación con el agua/cemento. Otras más que son extraídas de la costa, deberán tener proceso de lavado con agua dulce.

De acuerdo con Neville. A.M. & Brooks J.J Estas arenas deben tener cualidades específicas que les permitan ser utilizadas en la industria de construcción como son:

- Densidad de masa: característica utilizada para determinar una clasificación de áridos con una densidad menor a  $2400 \text{ kg/cm}^3$ , normales con densidades entre  $2400$  y  $2800 \text{ kg/cm}^3$ , pesados con una superior densidad a  $2800 \text{ kg/m}$ .
- Porosidad y absorción: tiene una gran relación con su adherencia y con la pasta de cemento, y por consecuencia en una relación directa con la resistencia mecánica.
- Humedad: el identificar la humedad que poseen los agregados, es necesario para poder conocer los ajustes que deberá tener con la relación (Agua/Cemento) al diseñar las mezclas.
- Entumecimiento: es un incremento en el volumen que experimentan los áridos cuando se humedecen. Esta condición provoca que los límites de los granos se vean saturados.
- Forma y textura superficial: Es una condición externa en el agregado, en particular por su morfología y la textura de sus partículas. Mismas que inciden en comportamiento de las mezclas en estado fresco y endurecido.
- Adherencia del árido a la pasta del cemento; una textura áspera y dura con mayor superficie y de morfología angulosa, poseen una mayor adherencia entre los áridos y las pastas cementantes. Pero debemos tener especial cuidado cuando estos áridos, por su dureza, impidan la penetración de la partícula por el aglomerante (pasta de cemento).

Es por ello por lo que en los agregados finos debemos tener el debido cuidado en la granulometría, específicamente en el “Modulo de finura”, donde los tamaños de partículas pueden detonar una baja trabajabilidad y pérdida de cohesión. Incluso una

arena demasiado fina presentaría una mezcla sumamente fluida aumentando riesgos de agrietamiento superficial, lo que podría resumirse en una modificación en la cantidad de cemento portland, para ajustar los requerimientos en las resistencias. Estas afectaciones generalmente suceden en la zona interfacial, entre el grano de arena y la cantidad de pasta que la envuelve. <sup>8</sup>

Retomando la investigación de S. Vargas (2017). “Diferentes arenas producirán diferentes mezclas de mortero, cada una con diferentes requerimientos de agua y cantidades de cemento y material”. Los agregados provenientes de bancos de piedras calizas presentaran características y calidades muy variables en cuanto a su porosidad y consumo de agua, aumentando su fragilidad y resistencia; a diferencia de materiales de rocas ígneas.

## La curva granulométrica

Es un mecanismo grafico que nos permite identificar la distribución de los tamaños granulares de los agregados, en mínimos y máximos. Estableciendo una zona de referencia aceptable para los diseños de mezcla.

La norma ASTM-C-33; establece a la curva granulométrica como las medidas de los diámetros para la clasificación de agregados gruesos y finos que se clasifican con mallas (tamices) de diferentes aberturas.

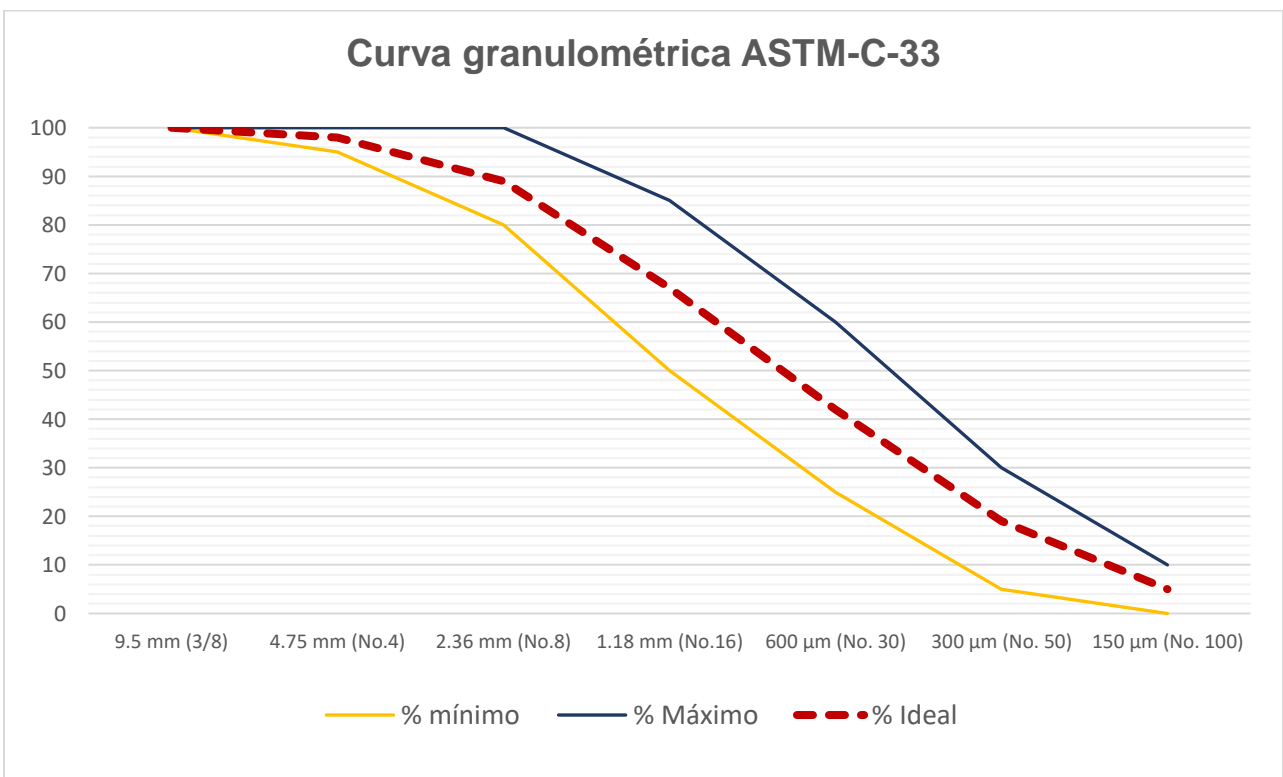
---

<sup>8</sup> Uribe. R, *El control de la calidad en los agregados para concreto 3ª parte.* (1991) *Construcción y Tecnología.* (México)

| Requerimiento de granulometría para agregados finos |          |          |         |
|---|----------|----------|---------|
| Malla o tamiz                                       | % mínimo | % Máximo | % Ideal |
| 9.5 mm (3/8)  | 100      | 100      | 2.5     |
| 4.75 mm (No.4)                                      | 95       | 100      | 7.5     |
| 2.36 mm (No.8)                                      | 80       | 100      | 22.5    |
| 1.18 mm (No.16)                                     | 50       | 85       | 25      |
| 600 µm (No. 30)                                     | 25       | 60       | 25      |
| 300 µm (No. 50)                                     | 5        | 30       | 12.5    |
| 150 µm (No. 100)                                    | 0        | 10       | 5       |

Tabla 6. Datos granulométricos norma ASTM-C-33

Los datos graficados en la tabla anterior nos muestran la curva ideal para los agregados finos entre el porcentaje mínimo y máximo, para establecer un análisis comparativo. Al efectuar las pruebas no deberán retenerse más del 45% del volumen de los tamices entre dos mallas consecutivas.



Gráfica 1. Curva granulométrica para agregados finos Fuente: ASTM-C-33



Se establece como un índice de finura que presentan los agregados al pasar por el proceso de tamizado, el cual mediante cálculos matemáticos según la norma ASTM -C-125, se obtiene de sumar los porcentajes del material acumulado y retenido en cada tamiz, mismo que se suma y se divide entre 100. Para efectos de la norma ASTM-C-33, el módulo de finura (MF), deberá ser mayor a 2.3 y menos a 3.1. Mientras menor sea el número del módulo de finura podremos identificar que se trata de una arena gruesa, mientras que un módulo de finura (MF) sea mayor, determinaremos que se trata de una arena fina.

Por lo tanto, la característica de un agregado fino respecto a su estructura granulométrica, principalmente en su módulo de finura (MF), la forma y textura de sus partículas junto con la cantidad de residuos orgánicos, son un factor determinante en el origen de fallas mecánicas de las mezclas, de acuerdo con Sanjuán, M.A. y P. Castro (2001). Tomando como porcentaje el 16.2% del deterioro en estructuras. Sin embargo, en estudios más actuales como lo refleja en su informe de investigación A. Tahuiton (2018), este número ha llegado hasta el 30%, remarcando la importancia de una adecuada selección de los agregados durante los procesos de diseño de mezclas. Considerando que las mismas condicionan las cercanías a obra dentro de las regiones.

El agua es un ingrediente necesario e importante para la elaboración de las pastas, de morteros y concretos, pues las fases del cemento portland tiene que reaccionar químicamente con el agua para accionar la resistencia. La cantidad de agua adicionada a la mezcla también controla la durabilidad, es un elemento de especial cuidado debido al papel tan importante en el proceso de mezclado y curado.<sup>23</sup>

Al ajustar la relación A/C (Agua / Cemento) la resistencia y la porosidad de las mezclas disminuye. Pero el ajustar correctamente la proporción controlará la durabilidad y la resistencia.

El agua de mezclado cumple con dos funciones vitales, una es la hidratación del cemento y la segunda es la de proporcionar a la mezcla la trabajabilidad necesaria. La cantidad de agua del mezclado es limitada al mínimo estrictamente necesario para conferirle a la pasta trabajabilidad requerida, ya que el agua en exceso se evapora y durante el proceso de secado va generando poros capilares que disminuyen su resistencia.

Posteriormente se considera el agua de curado, de suma importancia para el proceso de secado o denominado “primer endurecimiento”. Su función principal es evitar la pérdida prematura de humedad o desecación. Consecuentemente limitar la aparición de los efectos de retracción prematura.

---

<sup>23</sup> Adam M. Neville, “Tecnología del concreto” (México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2013)

Como se puede identificar el agua pasa por fases al combinarse con el cemento, que a continuación se explican:

- A) Un agua que no reacciona a la mezcla es considerada como “Agua libre”.
- B) Un agua se considera como “retenida”, cuando las superficies solidas se mantienen adheridas a las superficies del agregado, durante la combinación química.

Para considerar un adecuado uso del agua en las mezclas, se debe considerar un porcentaje del 40% aproximado con respecto a la dosificación de cemento portland. Traducido en el lenguaje técnico sería considerado como; Relación agua-cemento 0.40, de acuerdo con los requerimientos del diseño de mezcla, las relaciones pueden variar entre: 0.40, 0.45, 0.485, 0.50 hasta 0.60. Si estas relaciones son inferiores a 0.40, las mezclas enfrentarían un estado anhidro, lo que significa que no completarían el proceso de hidratación.

### **Requerimientos de calidad en el agua**

El agua utilizada en el proceso de mezclado y curado deberá ser potable, considerada como parte del consumo humano. Considerablemente limpia y libre de residuos orgánicos que alteren las mezclas. De acuerdo con los requerimientos de las normas aplicables para México a través de la norma NMX-C-122 “Agua para Concreto”. esta agua deberá tener un límite máximo de turbidez de 2000 ppm, para uso exclusivo de mezclas.

En la siguiente tabla se muestran los requerimientos necesarios:

| IMPUREZAS  | TIPOS DE CEMENTO       |                               |
|--|------------------------|-------------------------------|
|  | Cemento rico en calcio | Cemento resistente a sulfatos |
| <i>Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas), máximo.</i>  | 2000                   | 2000                          |
| <i>Sólidos en suspensión en aguas recicladas, (finos de cemento y agregados), máximo</i>   | 50000                  | 35000                         |
| <i>Cloruros con Cl para concreto con acero de presfuerzo y piezas de puentes, máximo.</i>  | 400                    | 600                           |
| <i>Cloruros como Cl para concretos reforzados que estén en ambiente húmedo o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares, máximo.</i> | 700                    | 1000                          |
| <i>Sulfatos como SO<sub>4</sub>, máximo</i>  | 3000                   | 3500                          |
| <i>Magnesio como Mg<sup>++</sup>, máximo</i>   | 100                    | 150                           |
| <i>Carbonatos como CO<sub>3</sub>, máximo</i>  | 5                      | 3                             |
| <i>Bióxido de carbono disueltos como CO<sub>2</sub>, máximo</i>  | 600                    | 600                           |
| <i>Álcalis totales como Na<sup>+</sup>, máximo.</i>  | 300                    | 450                           |
| <i>Total de impurezas en solución, máximo.</i>   | 3500                   | 4000                          |
| <i>Grasa o aceites</i>   | 0                      | 0                             |
| <i>Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido), máximo</i>   | 150                    | 150                           |
| <i>Potencia de hidrógeno (PH), mínimo.</i>   | 6                      | 6.5                           |

Tabla 7. Obtenida de la Norma Mexicana NMX-C-122. S. Vargas pp. 37 (2017)

Si el agua de mezclado resulta estar contaminada por impurezas y residuos, es muy posible que el tiempo de fraguado como la estabilidad y sobre todo su resistencia se vean afectados con la aparición de eflorescencias a temprana edad.

## **ADITIVOS**

Son materiales diferentes del agua, de los agregados y del cemento

Los aditivos, a diferencia del cemento, los agregados y el agua, no son componentes esenciales de la mezcla de concreto, son importantes y su uso se extiende cada vez más, por la aportación que hacen a la economía de la mezcla; por la necesidad de modificar las características del concreto de tal forma que éstas se adapten a las condiciones de la obra y a los requerimientos del constructor.

Las razones principales para el uso de aditivos son:

- Reducción del costo de la construcción de concreto / mortero
- Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que por otros medios
- Asegurar la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado.
- Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado.

La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca y cantidad del material cementante; contenido de agua; forma, granulometría y proporción de los agregados; tiempo de mezclado y temperatura del concreto.

Tipos de aditivos a través de la Norma: **ASTM-C-494**

Clasificación de los aditivos:

- Tipo A Reductor de agua
- Tipo B Retardante
- Tipo C Acelerante de fraguado inicial
- Tipo C2 Acelerante de resistencia
- Tipo D Reductor de agua y retardante
- Tipo E Reductor de agua y acelerante
- Tipo F Reductor de agua de alto rango
- Tipo G Reductor de agua de alto rango y retardante
- Tipo F2 Superplastificante
- Tipo G2 Superplastificante y retardante
- Tipo AA Inclusor de aire NMX-C-255-ONNCCE-2005

**Tabla de efectos del aditivo en las mezclas.**

| ADITIVO  | ESTADO PLÁSTICO  | ESTADO ENDURECIDO   |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Reductor de agua</b></li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce el contenido de agua de mezcla por lo menos en 5 %.</li> <li>• Mejora la trabajabilidad.</li> <li>• Mejora la cohesión.</li> <li>• Reduce la tendencia a la segregación y al sangrado.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la resistencia a la compresión axial y a la flexión.</li> <li>• Mejora la adherencia al acero de refuerzo.</li> <li>• Reduce la tendencia al agrietamiento</li> </ul>  |
| <p style="text-align: center;"><b>Tipo B</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Retardante de fraguado</b></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Actúa en el concreto como agente de fraguado extendido de forma controlada. Se dosifica para lograr un fraguado extendido, de hasta 30 horas.</li> </ul>  |   |
| <p style="text-align: center;"><b>Tipo C</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Acelerante de fraguado</b></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce el tiempo de fraguado inicial una hora Aproximadamente.</li> <li>• Mejora la trabajabilidad y produce un concreto más denso.</li> <li>• Minimiza el sangrado y la segregación.</li> <li>• Mejora el desarrollo de resistencia a la compresión a edades tempranas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• El aditivo actúa mediante una reacción química con el cemento, acelerando el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión axial a temprana edad. Estos aditivos son compatibles con agentes inclusores de aire, ciertos aditivos superplastificantes y ciertos aditivos reductores de agua convencionales.</li> </ul> |


*Tabla 8. Aplicaciones de los aditivos en las mezclas de concreto y mortero. CEMEX, (2012)*



## CAPÍTULO | 2

En el siguiente capítulo son expuestas las características generales que ofrecen los morteros, física y mecánicamente. Las aplicaciones que estas mezclas han tenido dentro del campo de la arquitectura y la ingeniería mexicana. Exponiendo sus limitaciones del material a través del sistema constructivo.

La búsqueda por llevarlos a nuevos límites y las soluciones que se han descubierto para generar materiales más duraderos y convencionales de bajo costo. En esta búsqueda se han incluido el uso de fibras de origen sintético para reducir el proceso de fisuramiento y en casos más drásticos el agrietamiento. Sin embargo, dentro de los materiales el mortero juega un papel sumamente importante para el análisis de comportamientos del concreto que su uso es el de mayor importancia en la industria de la construcción.





| Série    | Material | Quantidade | Observações |
|----------|----------|------------|-------------|
| Série A1 |          |            |             |
| Série A2 |          |            |             |
| Série A3 |          |            |             |
| Série A4 |          |            |             |

| Série    | Material | Quantidade | Observações |
|----------|----------|------------|-------------|
| Série A1 |          |            |             |
| Série A2 |          |            |             |
| Série A3 |          |            |             |
| Série A4 |          |            |             |



## Características en agregados

Las características del agregado en su forma, textura y partícula influyen en las propiedades del mortero tanto en estado fresco como endurecido. Aunque la forma tridimensional es difícil de describir por sus características geométricas. De acuerdo con A. M. Neville; estas pueden ser redondas en las que su forma es consecuencia de los desgastes por abrasión en su origen. Por otro lado, los agregados triturados, por ejemplo; dependerán de la naturaleza del material de origen y el tipo de triturador en base a su proporción de reducción. (la relación del tamaño inicial con respecto al producto triturado).

Clasificación Norteamericana:

- **Totalmente redonda:** Ninguna cara original.
- **Redondeada:** caras casi desaparecidas.
- **Semirredondeada:** desgaste considerable, área reducida de las caras.
- **Semirregular:** con algún desgaste, pero conserva intactas las caras.
- **Angular:** con poca evidencia de desgaste.

El grado de compactación de las partículas dependerá del tamaño de su forma, angulosidad del agregado, esta incluso se puede estimar a partir de la cantidad de vacíos.

Una de las principales características del diseño de mezclas es la de satisfacer requerimientos técnicos especificados (tanto en estado fresco como endurecido), buscando al mismo tiempo competitividad en costo.

“El proporcionamiento (dosificación) de la mezcla es un proceso de determinación de las cantidades de los ingredientes del concreto, usando materiales locales, para que logren las características especificadas”.

Parte de las características más importantes es que una mezcla en su estado fresco muestre trabajabilidad y cohesión. Mientras que en su estado endurecido ofrezca características de resistencia, durabilidad y apariencia.

El diseño de mezcla se inicia desde la concepción de un proyecto tomando en cuenta los criterios siguientes:

| CRITERIO             | CARACTERISTICAS                           | OBSERVACIONES  |
|----------------------|---|--|
| Resistencia mecánica | Solicitud estructural                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a la compresión.</li> <li>• Módulo de ruptura</li> <li>• Módulo de elasticidad</li> <li>• Expansión/Retracción</li> </ul> |
| Durabilidad          | Reactividad<br>Ataque químico<br>Abrasión | Álcali – agregado<br>Sulfatos, cloruros<br>Mecánica e hidráulica   |
| Densidad             | Ligero<br>Peso normal<br>Pesado           |  |

Tabla 9. Criterios para el diseño de Mezcla, Neville, (2001)

## Aplicaciones en la construcción

El mortero es utilizado en trabajos de albañilería como los siguientes:

- a) Junteo de piezas de mampostería como: ladrillos, tabiques, tabicones, bloques de concreto.
- b) Aplanado o repello de muros
- c) Pegado de piedra braza en cimentaciones y muros de contención

- d) Entortados para dar pendientes y renivelaciones
- e) Plantillas para desplante
- f) Firmes con mezclas mejoradas con gravilla
- g) Base para empedrados

## La mampostería

Los morteros que se empleen en elementos estructurales de mampostería deben cumplir con los requisitos siguientes:

- a) Su resistencia a compresión será por lo menos de 4 MPa (40 kg/cm<sup>2</sup>).
- b) Siempre deberán contener cemento en la cantidad mínima indicada en la tabla 2.2.
- c) La relación volumétrica entre la arena y la suma de cementantes se encontrará entre 2.25 y 3. El volumen de arena se medirá en estado suelto.
- d) Se empleará la mínima cantidad de agua que dé como resultado un mortero fácilmente trabajable.

La densidad que presentan las piezas de mampostería utilizadas en la construcción llega a límites de 290 kg/cm<sup>2</sup>, con una resistencia a compresión de 60 kg/cm<sup>2</sup>.<sup>24</sup>

---

<sup>24</sup> Norma Mexicana NMX-C-441-ONNCCE-2013, Para elementos de mampostería no estructurales

| Sistema estructural             | Región sísmica |          | Total % |
|---------------------------------|----------------|----------|---------|
|                                 | A              | B, C y D |         |
| Mampostería confinada           | 21%            | 44%      | 65%     |
| Mampostería reforzada           | 8%             | 12%      | 20%     |
| Mampostería y muros de concreto | 0%             | 14%      | 14%     |
| Muros de concreto               | 0%             | 1%       | 1%      |

*Tabla 10. Sistemas Estructurales en regiones sísmicas. A. Tahuiton. pág. 12 (2018).*

## DISEÑO EXPERIMENTAL

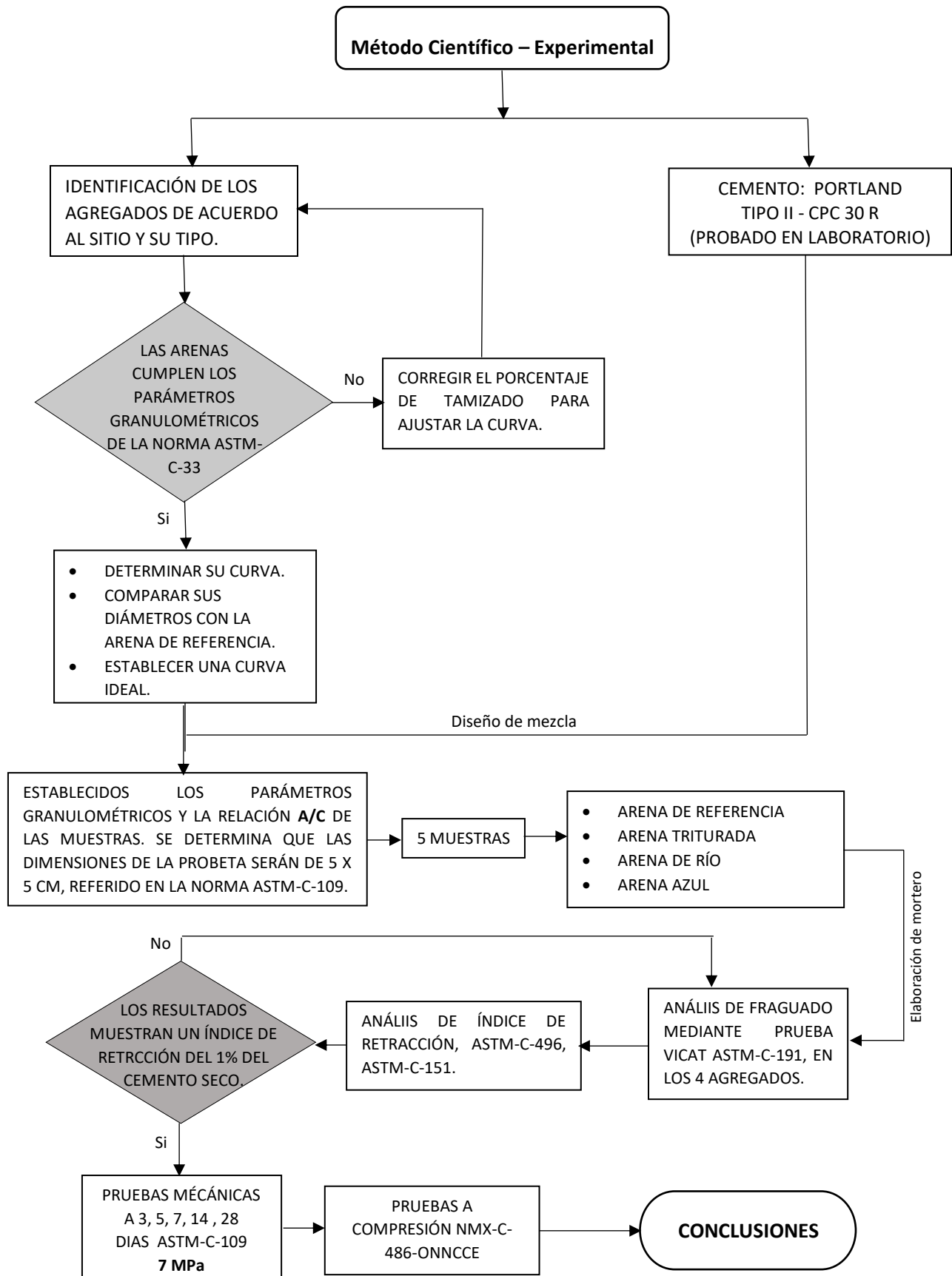
En este capítulo se agrupan los procesos realizados para la experimentación. Una vez concentradas las características de los diferentes morteros se pretende seleccionar los mejores resultados para concentrar sus valores y destacar el uso que podrá tener en la aplicación de los procesos constructivos. Para que esta experimentación tenga validez, se llevará a cabo los procesos experimentales para los muestreos que se establecen en los organismos reguladores vigentes. Para las pruebas de los materiales, nos apegaremos a la norma ASTM de carácter internacional y los lineamientos de la ACI (American Institute Concrete), para ser replicados en futuras investigaciones sin complicaciones posteriores. La norma en el diseño será basada fundamentalmente bajo la norma mexicana NMX, para pruebas locales.

Los materiales utilizados serán cementos y agregados locales (arenas), cuyas características serán evaluadas durante el proceso experimental, con lo cual se obtendrá un material con menor retracción y susceptibilidad a la fisura, contrastado con el agregado de referencia que emiten las normas reguladoras. La búsqueda por cumplir con los objetivos se enfoca principalmente en prolongar la durabilidad reduciendo el índice de retracción de las mezclas. Así como mejorar su resistencia a los esfuerzos de compresión. Por lo cual se confrontará una mezcla de referencia en contraste con las de estudio, para establecer parámetros de comparación.



## Método experimental

Se describe a continuación el proceso experimental empleado para el desarrollo de la investigación; a partir de estos resultados se extraen las conclusiones que arroja la investigación hecha en agregados y cementos en el Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales, UNAM. Para esto se emplearán las técnicas de Análisis Granulométrico, Determinación del índice de retracción, Prueba de fluidez y Análisis mecánico de compresión. En el diagrama 1 se describe el proceso a efectuar para la caracterización de los morteros con diferentes agregados.



Fuente: Elaboración propia.



Con el objeto de brindar fiabilidad a esta investigación, los datos recabados en la experimentación están sustentados bajo las consideraciones necesarias que aprueban el proceso. Para esto los procesos experimentales realizados cumplieron con la normativa establecida. Las pruebas mecánicas realizadas se apegaron a los criterios de las normas ASTM, en cuyos parámetros se encuentran regulados internacionalmente.

Uno de los principales requisitos para la validez de resultados, considera contar con equipos e instrumentos de medición avalados por la norma, previamente calibrados según la especificación. Para certificar la certeza de los datos.

## **Materiales Utilizados**

Los materiales empleados para la elaboración del muestreo y las probetas en esta investigación son los siguientes:

### **Arenas**

En este primer paso evaluaremos 4 tipos de arenas empleadas en la construcción en la región centro de México y zona conurbada de la Ciudad de México, extraídas de minas de arena de la zona oriente. La arena azul empleada con mayor uso en la ciudad de Toluca, capital del Estado de México.



Imagen 3. Arena azul, arena sílica, arena de río y arena triturada. (2019)

Como agregados finos se seleccionaron; Arena triturada, arena de río, arena azul de Toluca y como agregado de referencia la arena sílica de Ottawa (Illinois). Para cumplir con lo establecido por la norma ASTM C-33 “Standard Specification for Concrete Aggregates”, se llevó a cabo la prueba de tamizado a la arena azul, junto a la arena triturada, arena de río y la de referencia “Ottawa”.<sup>25</sup> Estos tipos de arena empleadas en la construcción y comercializadas en el centro de México y área metropolitana. Para obtener su curva granulométrica y el módulo de finura.

| Número de la criba |                 |                    |
|--------------------|-----------------|--------------------|
| Que pasa (mm)      | Que lo retiene  | Por ciento en masa |
| 4,75 (No. 4)       | 2,36 (No. 8)    | 10                 |
| 2,36 (No. 8)       | 1,18 (No. 16)   | 25                 |
| 1,18 (No. 16)      | 0,600 (No. 30)  | 25                 |
| 0,600 (No. 30)     | 0,300 (No.50)   | 25                 |
| 0,300 (No.50)      | 0,150 (No. 100) | 15                 |

Tabla 11. Requisitos granulométricos. ASTM-C-33

<sup>25</sup> ASTM C – 33, (2001) Standard Specification for Concrete Aggregates

En la imagen se obtuvieron las separaciones de los tipos de arenas evaluadas; para concentrar su peso y el porcentaje de ocupación en las mallas: 4,8,16,30,50, 100 y fondo. Considerados en la escalada de mayor diámetro considerado como grano grueso hasta los más finos de tipo limoso.

Los agregados en los que no existen cantidades suficientes de tamaños específicos en la Tabla\*, deben molerse o triturarse hasta que el material requerido se haya obtenido. En el caso de los agregados finos que no contienen suficientes de uno o más tamaños grandes indicados en la tabla y si no se cuenta con el material de tamaño mayor para molerse, el primer tamaño inmediato inferior del cual se tenga material suficiente debe ponerse en cantidad tal, que cumpla con el porcentaje acumulado hasta esa criba.

## Cemento

### **Cemento Portland tipo II CPC 30 R**



Imagen 4. Cemento Portland tipo II CPC 30 R

Por ser un cemento de uso comercial y de los más utilizados en los sitios de obras en el país, de acuerdo con la investigación de mercado que efectuó, Muciño Vélez A. (2010).<sup>26</sup>

Cemento evaluado con resultados favorables en investigaciones que antecedieron a esta investigación, a cargo de Vargas López S. (2017) y Salgado Cruz, E. (2016).<sup>27</sup>

<sup>26</sup> Muciño Vélez, A. (2015), "Endurecimiento de cementos tipo portland inducido por fosfatos y/o silicatos", Doctorado en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México

<sup>27</sup> Salgado Cruz, E. (2016), "Siembra de partículas submicrométricas de minerales de fósforo en morteros hidráulicos de cemento para mejorar su desempeño mecánico", Maestría en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

El cemento que se va a emplear en esta prueba debe cumplir con los requisitos que fija la norma NMX-C-414-ONNCCE de bajo contenido álcalis, aquellos que no contenga más del 0.60%.<sup>28</sup> Se sugiere que cada agregado, sujeto a este método de prueba se use con cementos Portland combinados, tanto de alto como de bajo contenido de álcali; otras combinaciones con contenido de puzolanas, puede usarse si así lo requiere la especificación.

En pruebas mecánicas a compresión, se decide comparar 5 marcas de cementos que se comercializan en el centro de México tanto por profesionales de la construcción como por la autoconstrucción, ambos Cemento Portland Tipo II CPC 30 RS. De los que elegiremos el que tenga el mejor comportamiento mecánico, para desarrollar la prueba de retracción.

## Agua

El agua utilizada para la elaboración de las mezclas fue agua potable de la red que ingresa en el Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales, Facultad de Arquitectura, UNAM que cumple con la normatividad correspondiente por la norma de consumo humano y por los procesos de purificación para la eliminación de bacterias, virus, minerales y productos tóxicos, partículas suspendidas, radiactividad y sustancias orgánicas que desarrolla la Universidad Nacional Autónoma de México.<sup>29</sup>

---

28

<sup>29</sup> Vargas López, S. (2017), "Modificación de las propiedades mecánicas del mortero", Maestría en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

## Diseño de mezcla

Para evaluar la resistencia a la compresión de los diferentes tipos de agregados empleados en construcción en la zona centro de México, se realizó el diseño en base a los parámetros establecidos en la norma ASTM C-109, donde establecimos una relación cemento-agregado de 2.75 (1:2.75) en peso de cemento y arena estándar granulada y relación agua-cemento de 0.485 para todas las probetas.<sup>30</sup> El diseño de la mezcla se concentra en la Tabla \*, donde se utilizó la misma relación para contrastar los valores con el mismo peso para elaborar las 5 probetas de cubos de 5 x 5 x 5 cm y 2.5 x 2.5 x 24 cm, para las probetas prismáticas.

| <b>TIPO</b>       | <b>CEMENTO (Kg)</b> | <b>ARENA (Kg)</b> | <b>AGUA (Kg)</b> |
|-------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| Mezcla de control | 1                   | 2.75              | 0.485            |
|                   | 0.230               | 0.6325            | 0.1035           |

Tabla 12. Proporciones de diseño de mezcla, ASTM-C-109

---

<sup>30</sup> ASTM C – 109, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)

Los agregados fueron probados sin ser manipulados, a fin de obtener datos libres de ajuste. Las arenas fueron debidamente cuidadas, libres de material orgánico y de humedad.<sup>31</sup> Verificando que su contenido alterara el proceso de hidratación. Para esto se realizaron cinco probetas con cada tipo de arena a través del mismo diseño de mezcla. Los agregados fueron debidamente evaluados conforme a lo estipulado en la norma ASTM-C-33, para identificar los porcentajes de gruesos y el porcentaje de finos contenidos en los agregados.<sup>32</sup> Se utilizó el mismo tipo de cemento Portland tipo II CPC 30 R, con el contenido de agua de acuerdo con la relación  $a/c= 0.485$ .

La cantidad de mezclado debe ser la suficiente para producir una fluidez del 100% a 115%, determinada de acuerdo con lo especificado en la norma NMX-C-061-ONNCCE. (Véase Imagen 5).



*Imagen 5. Proceso de mezclado de mortero, LMSE, UNAM (2019)*

---

<sup>31</sup> ASTM C – 33, (2003) Standard Specification for Concrete Aggregates

<sup>32</sup> Ibidem

### Pruebas mecánicas de retracción

El proporcionamiento de las mezclas de mortero se elaboró con una parte de cemento y 2.75 partes de arena y una relación de agua / cemento de 0.485; se utilizaron moldes para barras de 25 x 25 x 240 mm.<sup>33</sup> Los especímenes se curaron durante las primeras 24 hrs y los 28 días, tanto en los cubos de 50 x 50 mm para pruebas a compresión como en las pruebas de expansiones en las barras.

Para las pruebas mecánicas de retracción se implementaron probetas en barra realizadas en moldes de madera y anclas con tornillo y tuerca milimétrica de 1/8", con las medidas especificadas en la norma ASTM-C-151 debido a la cantidad de muestras que se requieren para evaluar esta parte experimenta. Los moldes prismáticos de madera fueron colocados sobre una superficie no absorbente (cristal) para evitar la pérdida de humedad. Las muestras fueron desmoldadas a las 24 hrs después de ser coladas. Se compararon las longitudes para realizar los cálculos del secado inicial y posteriormente las dimensiones subsecuentes de 24 hrs, 3, 5, 7, 14 y 28 días.<sup>34</sup>

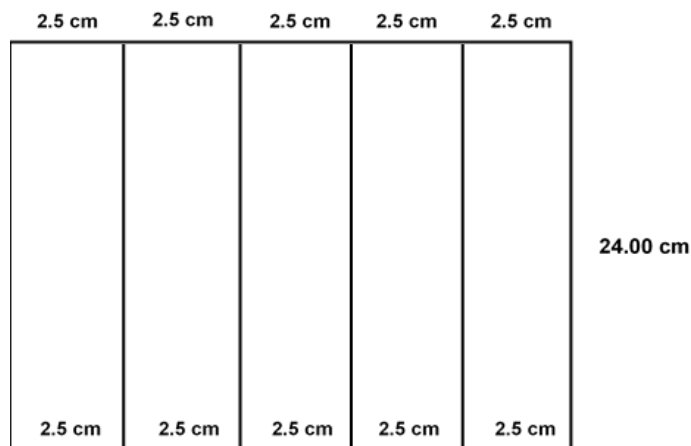


Imagen 6. Medidas de Molde requeridos por la norma ASTM-C-151 Método de expansión de mezclas de cemento

<sup>33</sup> ASTM C – 109, (2012) Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)

<sup>34</sup> ASTM - C – 151, Método de prueba estándar para expansión en autoclave de cementos Portland



*Imagen 7.. Proceso de elaboración de moldes, norma ASTM-C-151 LMSE, UNAM (2019)*



*Imagen 8. Molde de madera para probeta prismática, ASTM-C-151 LMSE, UNAM (2019)*



La norma ASTM C-151 indica que se deben hacer tres probetas por cada combinación cemento-agregado por cada día de prueba. Sin embargo, para reducir la desviación estándar de los resultados, se colaron cinco muestras por cada día de prueba. Para descartar el valor más bajo y el más alto, si es que estos se encontraran muy dispares del promedio. Por cada día de prueba se realizaron 5 muestras, las cuales fueron probados a los 24 h, 7 días y 28 días, en intervalos hasta que la probeta cumpla 52 semanas.

La prueba se considera satisfactoria si el porcentaje de expansión de cada probeta hecha de la misma combinación cemento-agregado difiere como máximo 0,003 con respecto a la medida, a excepción de los casos en que la expansión promedio es superior a 0,020% en este caso se puede considerar satisfactoria si la expansión en cada probeta moldeada con la misma combinación cemento-agregado, difiere como máximo 15% del promedio.

### Calibrado del reloj comparador longitudinal



*Imagen 9. Colocación de varilla para calibración del comparador longitudinal, marca Mitutoyo, LMSE (2019)*



*Imagen 10. Calibración del comparador longitudinal, Mitutoyo, LMSE (2019)*

### **Almacenamiento inicial**

Después de que se ha llenado el molde con el mortero, se coloca inmediatamente en el cuarto húmedo; en donde debe permanecer por  $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$ . (Para este proceso, se construyó una cámara de humedad que logró mantener una humedad constante a través de un ambiente húmedo artificial)



*Imagen 11. Cámara prefabricada de húmeda para curado. C. Carbajal (2019)*



*Imagen 12. Sistema generador de humedad interior. C. Carbajal, LMSE (2019)*

## Almacenamiento posterior y mediciones

A las  $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$  de haberse moldeado las probetas se descimbran y se colocan en inmediatamente en los recipientes que se describen en ASTM-C-151, insertando los pernos en los orificios de los separadores superiores.

Después de esto las probetas se enfrían en un desecador hasta  $296 \text{ K} \pm 2 \text{ K}$  ( $23^\circ \text{ C} \pm 2^\circ \text{ C}$ ) manteniendo esta temperatura durante  $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$  y se determina su longitud. Posteriormente se regresan las probetas a sus respectivos moldes. Durante este tiempo de acuerdo con el procedimiento indicado con anterioridad, se determina la longitud de las probetas luego de que se han secado en los siguientes intervalos.

- 24 h
- 7 días
- 28 días
- Intervalos de 28 días hasta que la probeta cumpla 52 semanas de edad.

## Prueba de fraguado

Es un método de prueba estándar establecido por la norma ASTM-C-191, para determinar el tiempo de fraguado del cemento. Al llevar a cabo este procedimiento obtenemos el tiempo de fijación del cemento, por medio de un Presomatico automático que mide los rangos de penetración.



Imagen 13. Elaboración de muestras prismáticas, de acuerdo con la norma ASTM-C-151

**Proceso:**

Para efectuar la prueba del método B (Automático) su duración no debe exceder de 30 minutos.



*Imagen 14. Pesaje de cemento Portland tipo II CPC 30 R LMSE, UNAM (2019)*



*Imagen 15. Anillo cónico anticorrosivo (2019) LMSE, UNAM (2019)*



*Imagen 16. Proceso de penetración en la mezcla de mortero LMSE, UNAM (2019)*



*Imagen 17. Presomático Automático 63-L2700/EZ marca Vicamatic. Laboratorio de Materiales y sistemas Estructurales, UNAM (2019)*

## Condiciones ambientales

### Temperatura

Debe mantenerse una temperatura para los moldes y los materiales secos a  $296\text{ K} \pm 2\text{ K}$  ( $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ).

La temperatura para el agua de la mezcla, del gabinete y la del cuarto de elaboración y de donde se efectúan las mediciones debe mantenerse en  $296\text{ K} \pm 2\text{ K}$  ( $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ).

El cuarto de almacenamiento en el cual se guardan las probetas en sus recipientes debe mantenerse a una temperatura de  $311\text{ K} \pm 2\text{ K}$  ( $38^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ).



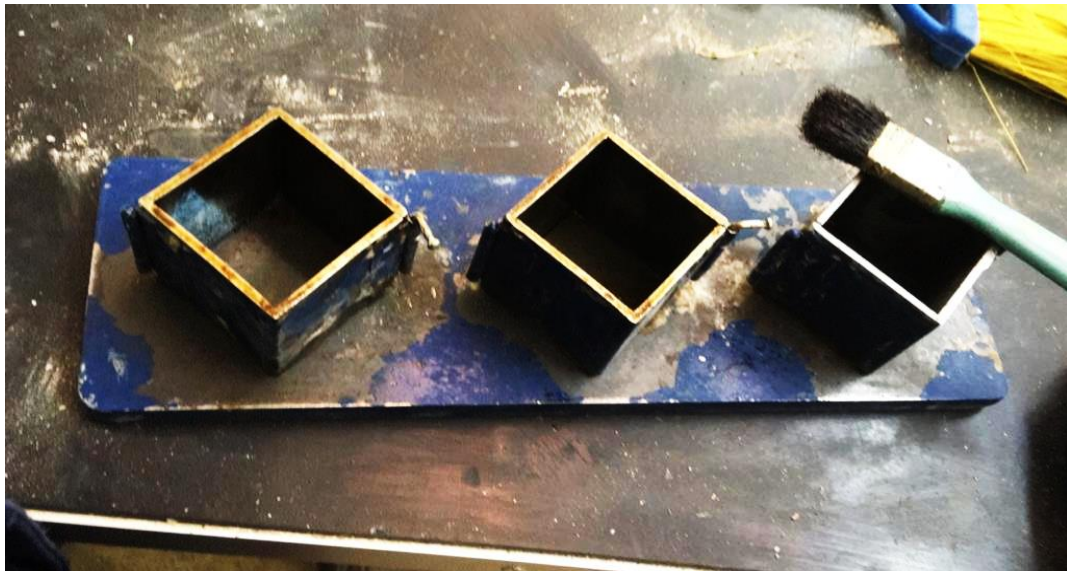
Imagen 18. Medición de Parámetro de temperatura y humedad en Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales, UNAM. (2019)

### Humedad

La humedad relativa del espacio debe mantenerse a su rango no mayor al 95%.

## Pruebas mecánicas a compresión.

Para la prueba mecánica de compresión se implementaron probetas de 2" de forma cubica en moldes de acero avalados por la norma ASTM-C-109, por ser un material que no reacciona y que su diseño garantiza la geometría además de un tratamiento a base de aceite quemado para un desmolde adecuado, sin dañar la probeta.



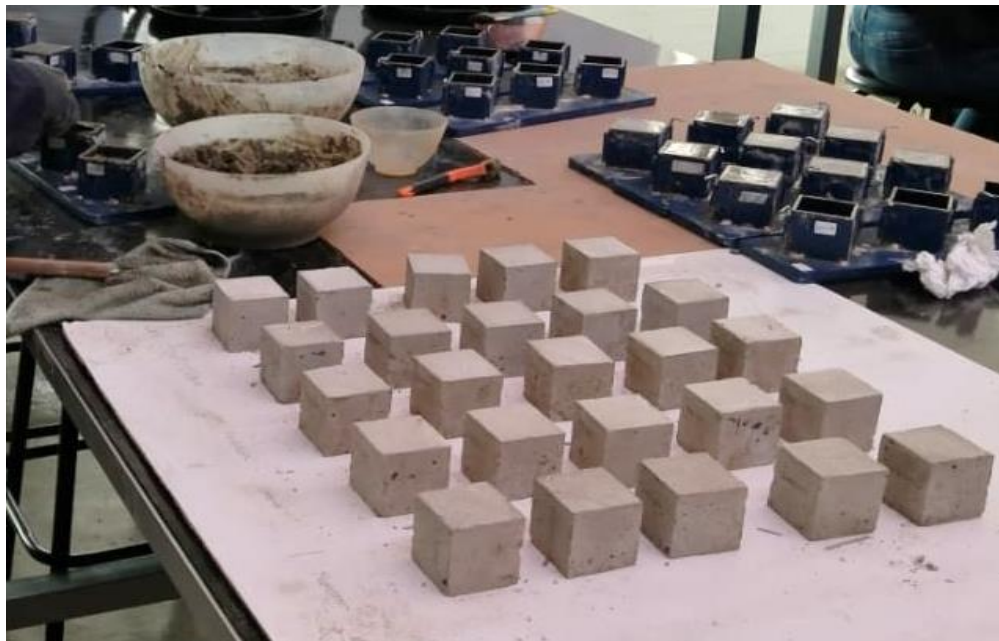
*Imagen 19. Moldes cúbicos de 5 cm x 5 cm x 5 cm, establecidos por la norma ASTM-C-109 LMSE (2019)*

La norma ASTM-C-109 especifica que 3 especímenes es el número mínimo para cada día de prueba. Sin embargo, para reducir la desviación estándar de los resultados, se realizaron cinco muestras por cada día de prueba con las 5 marcas de cementos. Con esto se garantiza poder descartar el valor más bajo y el más alto, para poder mantener un promedio con precisión. Las pruebas se realizaron a los 3, 5, 7, 14 y 28 días. Dando como resultado que cada diseño de mezcla nos diera 25 muestras por día. **Imagen \***





*Imagen 20. Elaboración de cubos de 5 x 5 cm de acuerdo con la norma ASTM-C-109, para prueba de compresión. (2019)*



*Imagen 21. Probetas previamente fraguadas para efectuar prueba de compresión, LMSE (2019)*

La mezcla fue vertida dentro de los moldes en estado fresco y vibrada con un taladro posicionado en la selección de “rotomartillo”, durante 5 segundos para disminuir la cantidad de aire en las muestras, se dejaron secar a temperatura ambiente durante 24 horas, posteriormente se llevó a cabo el desmolde para su respectiva clasificación, continuando el proceso de secado hasta el día asignado de la prueba mecánica.



*Imagen 22. Técnico de Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales Calibrando equipo Instron para evaluar las pruebas a compresión, UNAM (2020)*

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos en la experimentación.

Tanto el análisis de longitud como las pruebas de fraguado que se realizaron bajo la norma ASTM-C- 151, como el de ASTM-C-191, se analizaron las cuatro arenas con el cemento que obtuvo las mejores prestaciones. Lo anterior para poder determinar el comportamiento que tienen los agregados ante el índice de retracción, su tiempo de fraguado y posteriormente el sometimiento al ensayo mecánico de compresión, ASTM-C-109, para determinar si cumple con los requerimientos que exige la norma NMX-C-486-ONNCE (Prueba de compresión en mortero de pega para mamposterías).

# ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS



En esta etapa se le realizaron las pruebas para conocer sus características granulométricas a los diferentes agregados que son empleados para la fabricación de morteros, a través del método granulométrico de la norma ASTM-C-33. La primera arena en ser evaluada fue la arena sílica, al ser el agregado de referencia por la norma internacional. Posteriormente sus resultados fueron procesados para ser contrastada con las demás arenas. Se pudo establecer la curva granulométrica con los valores máximos y mínimos para ubicar los agregados en la región de la gráfica, para saber si los agregados se encuentran en los parámetros permitidos.



*Imagen 23. Proceso de tamizado en los cuatro tipos de agregados evaluados; Arena sílica, arena azul, arena triturada y arena de río. LMSE (2019).*



Imagen 24. Vaciado del agregado en los tamices LMSE, UNAM (2019)



Imagen 25. Tamizadora Retsch, Mod AS200, LMSE UNAM (2019)

A continuación, se obtuvo la información necesaria para establecer la curva granulométrica, descrita en la norma ASTM C-33, donde se indicaron los porcentajes máximos y mínimos del tamaño de grano (*Imagen 25*), con los resultados obtenidos fue posible determinar si las arenas analizadas se encuentran dentro de estos parámetros permitidos.

**Granulometrías y porcentajes, obtenidos de acuerdo con la norma ASTM-C-33.**

| ARENA SÍLICA (OTTAWA) |       |                       |                     |                      |        |
|-----------------------|-------|-----------------------|---------------------|----------------------|--------|
| Mallas                |       | Peso retenido en (g)  | % del peso retenido | % del peso acumulado | % Pasa |
| No.                   | mm    |                       |                     |                      |        |
| #4                    | 4.75  | 0                     | 0.00                | 0.00                 | 100.00 |
| #8                    | 2.36  | 0                     | 0.00                | 0.00                 | 100.00 |
| #16                   | 1.18  | 2.2                   | 0.45                | 0.45                 | 99.55  |
| #30                   | 0.600 | 378                   | 76.52               | 76.96                | 23.04  |
| #50                   | 0.300 | 98.9                  | 20.02               | 96.98                | 3.02   |
| #100                  | 0.150 | 13.9                  | 2.81                | 99.80                | 0.20   |
| FONDO                 | 0.075 | 1.00                  | 0.20                | 100.00               | 0.00   |
| TOTAL                 |       | 494.00                | 100                 |                      |        |
|                       |       | <b>100*(Ret/ΣRet)</b> |                     | %Ret + % Acum        |        |

Tabla 13. Resultados de tamizado, Arena sílica (Ottawa), C. Carbajal, LMSE (2019)

| ARENA TRITURADA (LMSE) |       |                       |                     |                      |        |
|------------------------|-------|-----------------------|---------------------|----------------------|--------|
| Mallas                 |       | Peso retenido en (g)  | % del peso retenido | % del peso acumulado | % Pasa |
| No.                    | mm    |                       |                     |                      |        |
| #4                     | 4.75  | 15.4                  | 3.11                | 3.11                 | 96.89  |
| #8                     | 2.36  | 147.2                 | 29.68               | 32.79                | 67.21  |
| #16                    | 1.18  | 113.14                | 22.81               | 55.60                | 44.40  |
| #30                    | 0.600 | 75.8                  | 15.28               | 70.89                | 29.12  |
| #50                    | 0.300 | 42.5                  | 8.57                | 79.46                | 20.55  |
| #100                   | 0.150 | 36.8                  | 7.42                | 86.88                | 13.13  |
| FONDO                  | 0.075 | 65.1                  | 13.13               | 100.00               | 0.00   |
| TOTAL                  |       | 495.94                | 100                 |                      |        |
|                        |       | <b>100*(Ret/ΣRet)</b> |                     | %Ret + % Acum        |        |

Tabla 14. Resultados de tamizado, Arena Triturada, C. Carbajal, LMSE (2019)

| ARENA DE RÍO (LMSE) |       |                      |                      |                      |                    |
|---------------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| Mallas              |       | Peso retenido en (g) | % del peso retenido  | % del peso acumulado | % Pasa             |
| No.                 | mm    |                      |                      |                      |                    |
| #4                  | 4.75  | 5.3                  | 1.07                 | 1.07                 | 98.93              |
| #8                  | 2.36  | 26.2                 | 5.29                 | 6.36                 | 93.64              |
| #16                 | 1.18  | 57.3                 | 11.56                | 17.92                | 82.08              |
| #30                 | 0.600 | 128                  | 25.83                | 43.74                | 56.26              |
| #50                 | 0.300 | 133.1                | 26.86                | 70.60                | 29.40              |
| #100                | 0.150 | 102.9                | 20.76                | 91.36                | 8.64               |
| FONDO               | 0.075 | 42.8                 | 8.64                 | 100.00               | 0.00               |
| TOTAL               |       | 495.60               | 100                  |                      |                    |
|                     |       |                      | $100*(Ret/\sum Ret)$ | %Ret +% Acum         |                    |
|                     |       |                      |                      |                      | 100%- % P. Ret. Ac |

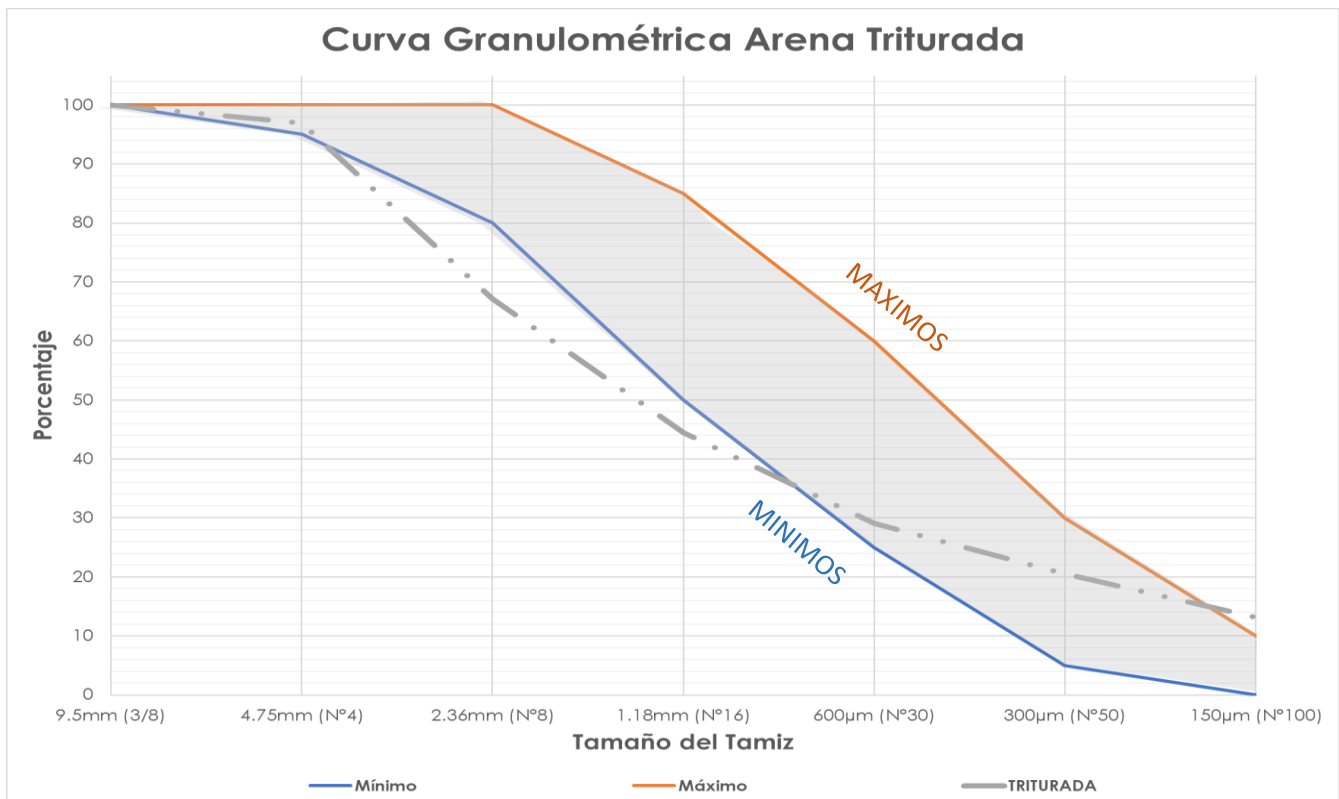
Tabla 15. Resultados de tamizado, Arena de Rio, C. Carbajal, LMSE (2019)

| ARENA AZUL (TOLUCA) |       |                      |                      |                      |                    |
|---------------------|-------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| Mallas              |       | Peso retenido en (g) | % del peso retenido  | % del peso acumulado | % Pasa             |
| No.                 | mm    |                      |                      |                      |                    |
| #4                  | 4.75  | 2.2                  | 0.44                 | 0.44                 | 99.56              |
| #8                  | 2.36  | 92.4                 | 18.66                | 19.11                | 80.89              |
| #16                 | 1.18  | 100.7                | 20.34                | 39.45                | 60.55              |
| #30                 | 0.600 | 85                   | 17.17                | 56.61                | 43.39              |
| #50                 | 0.300 | 58.8                 | 11.88                | 68.49                | 31.51              |
| #100                | 0.150 | 59                   | 11.92                | 80.41                | 19.59              |
| FONDO               | 0.075 | 97                   | 19.59                | 100.00               | 0.00               |
| TOTAL               |       | 495.10               | 100                  |                      |                    |
|                     |       |                      | $100*(Ret/\sum Ret)$ | %Ret +% Acum         |                    |
|                     |       |                      |                      |                      | 100%- % P. Ret. Ac |

Tabla 16. Resultados de tamizado, Arena Azul, C. Carbajal, LMSE (2019)

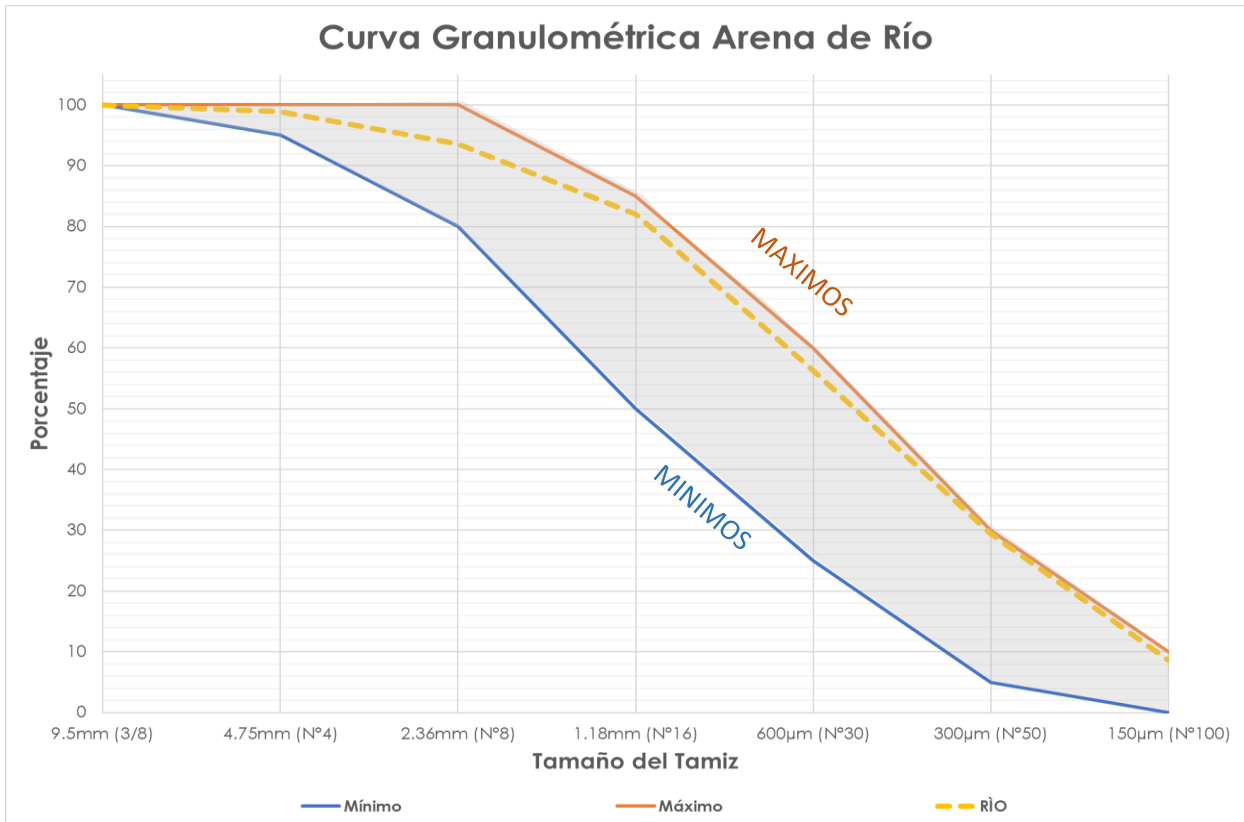
La grafica nos indica los limites mínimos y máximos donde podemos establecer que la arena de rio es la que mantiene mayor porcentaje dentro de los parámetros establecidos en seguida de la arena azul, en contraste con la arena de referencia (Sílica), sin embargo, el resto de los agregados pasa por al menos una sección de la región, como se aprecia en la gráfica, porque lo que podemos establecer que siguen siendo útiles en la industria de la construcción.





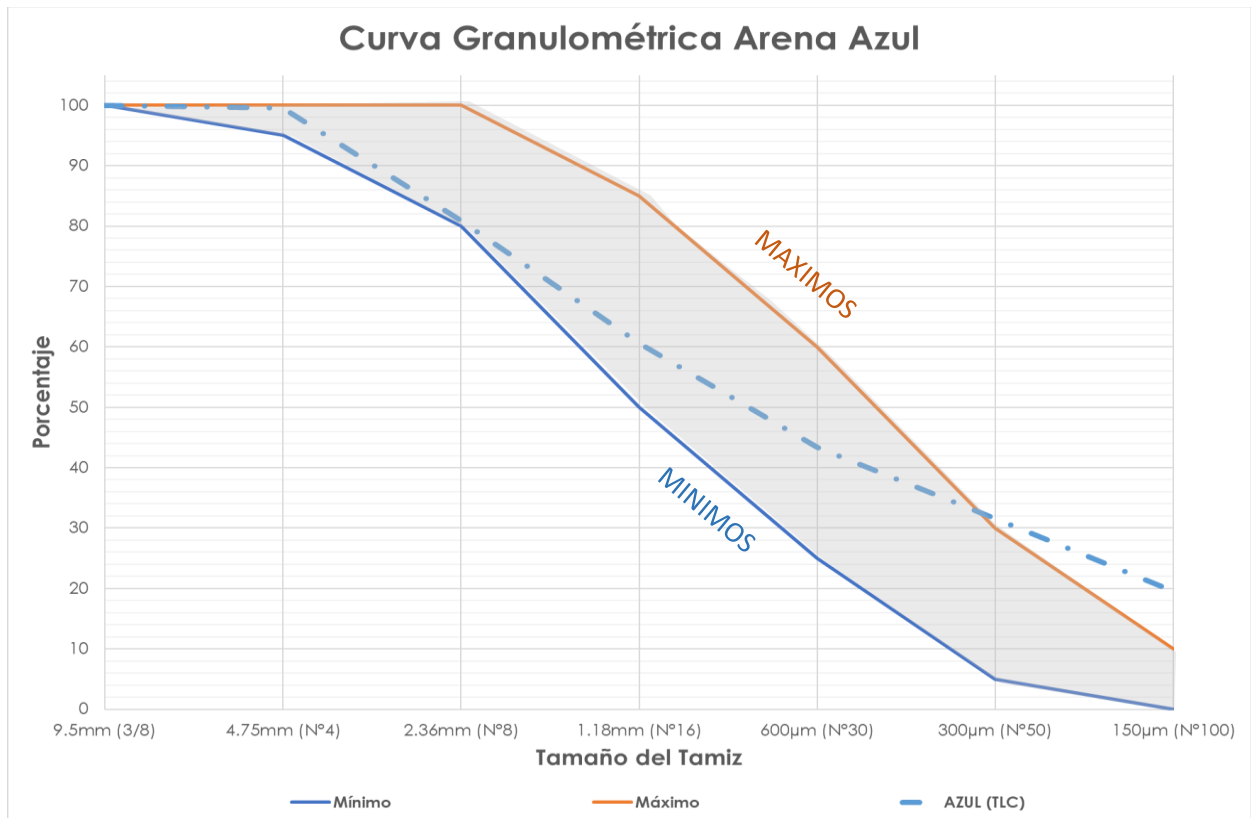
Gráfica 2. Curva granulométrica de la Arena Triturada, C. Carbajal. LMSE, UNAM (2020)

El análisis granulométrico de la arena triturada (véase Gráfica 3) tiene una cantidad adecuada de partículas que se retienen en el tamiz No. 4, pero se sale de los límites mínimos de los tamices número 8 y 16, ajustándose a las proporciones aceptadas para los tamices 30 y 50 saliéndose del límite máximo para el tamiz número 100. Al ser una arena resultante de un proceso de trituración, se podría corregir al triturar las partículas con tamaño entre 2.36 y 1.18 mm, y retirando una mayor cantidad de partículas con diámetro menor de 0.15mm.



Gráfica 3. Curva granulométrica de la Arena de Ría, C. Carbajal. LMSE, UNAM (2020)

La arena de río (véase Gráfica 4) es la que se encuentra dentro de los parámetros establecidos por la norma ASTM-C-33, apenas por debajo de los límites máximos, indicando que los tamaños de partícula la vuelven una arena considerablemente fina.



Gráfica 4. Curva granulométrica de la Arena Azul de Calimaya, C. Carbajal. LMSE, UNAM (2020)

La curva granulométrica de la arena azul cumple con la cantidad de partículas retenidas en los tamices No. 4, 8, 16 y 30, excediendo únicamente los límites máximos de los tamices No.50 y 100 (véase Gráfica 5), es decir, que es una arena que cuenta con un porcentaje mucho mayor en los finos, pero con una cantidad adecuada de gruesos y medios; estas dos arenas fueron extraídas de bancos de materiales.

Los resultados del módulo de finura **MF**, que se obtuvieron en las pruebas de las arenas indicaron la siguiente información:

| Arena            | Arena Río   | Arena Triturada | Arena Azul  | Arena Sílica |
|------------------|-------------|-----------------|-------------|--------------|
| Módulo de Finura | <b>2.31</b> | <b>3.18</b>     | <b>2.64</b> | <b>2.74</b>  |

*Tabla 17. Módulo de finura de las arenas C. Carbajal, LMSE (2020)*

De acuerdo con la norma ASTM-C-125, se indica que el MF no debe ser menor a 2.3 ni mayor a 3.1; Por lo que podemos considerar que las arenas evaluadas se localizan en el parámetro establecido, a excepción de la arena triturada, sin embargo, para este análisis no vamos a realizar correcciones en la curva, por lo que solo evaluaremos su comportamiento de acuerdo con las características naturales de su banco de extracción.

Este parámetro consistió en sumar los porcentajes del material acumulado y retenido en cada uno de los tamices (véase Imagen 26) y dividiendo la suma entre 100. Una vez establecidos estos rangos, sin embargo para este análisis podemos constatar que es la arena triturada la que sale de estos rangos, por lo anterior debiera ser la única en tener un ajuste al momento de su utilización.



Imagen 26. Muestras de arena analizadas en laboratorio, C. Carbajal (2019)

Los diseños de mezcla quedaron establecidos con los agregados sin tamizar, quedando de la siguiente forma  $A/C=0.485$  y cemento / agregado de 1:2.75 para conocer el comportamiento que sufren las mezclas en condiciones normales de obra.

| <b>CEMENTO (Kg)</b> | <b>ARENA (Kg)</b> | <b>AGUA (Kg)</b> |
|---------------------|-------------------|------------------|
| 1                   | 2.75              | 0.485            |
| 0.230               | 0.6325            | 0.11155          |

Tabla 18. Diseño de mezcla establecido para la elaboración de prismas, prueba de retracción, ASTM-C151

## Tiempo de fraguado

Es esta prueba analizaremos el tiempo de secado que sufren los agregados con la combinación de cemento, es importante comentar que el análisis se realiza bajo el procedimiento que establece la norma ASTM-C-191, donde evaluaremos en tiempo en el que la mezcla pierde plasticidad, con el objeto de conocer sus efectos con cada uno de los cementos evaluados.

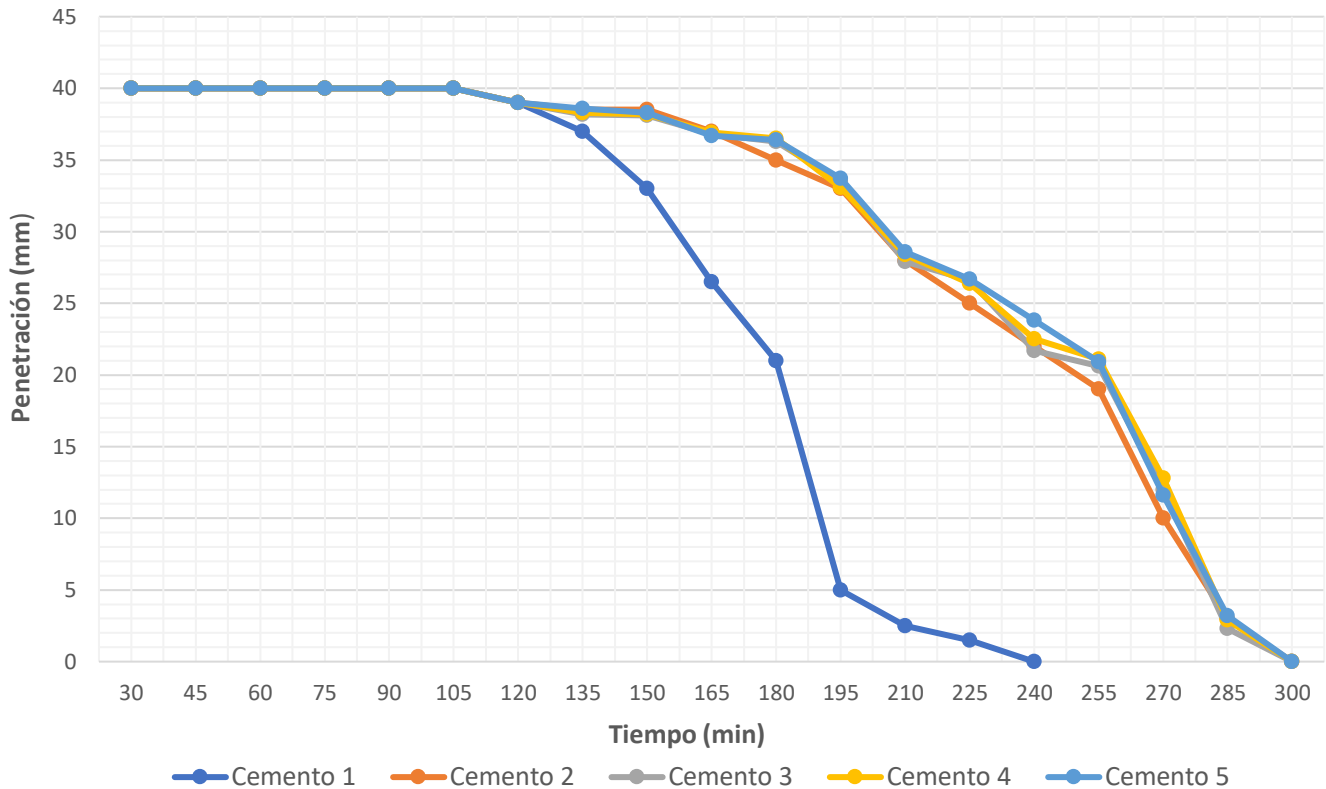
A continuación se muestran en la siguiente tabla los resultados:

**Tabla.** Tiempo de fraguado mediante aparato Vicat.

| Tiempo (min) | Penetración (mm) |           |           |           |           |
|--------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|              | Cemento 1        | Cemento 2 | Cemento 3 | Cemento 4 | Cemento 5 |
| 30           | 40               | 40        | 40        | 40        | 40        |
| 45           | 40               | 40        | 40        | 40        | 40        |
| 60           | 40               | 40        | 40        | 40        | 40        |
| 75           | 40               | 40        | 40        | 40        | 40        |
| 90           | 40               | 40        | 40        | 40        | 40        |
| 105          | 40               | 40        | 40        | 40        | 40        |
| 120          | 39               | 39        | 39        | 39        | 39        |
| 135          | 37               | 38.5      | 38.2      | 38.3      | 38.6      |
| 150          | 33               | 38.5      | 38.1      | 38.2      | 38.3      |
| 165          | 26.5             | 37        | 36.8      | 36.9      | 36.7      |
| 180          | 21               | 35        | 36.3      | 36.5      | 36.4      |
| 195          | 5                | 33        | 33.5      | 33.1      | 33.7      |
| 210          | 2.5              | 28        | 27.9      | 28.4      | 28.6      |
| 225          | 1.5              | 25        | 26.6      | 26.4      | 26.7      |
| 240          | 0                | 22        | 21.7      | 22.5      | 23.8      |
| 255          |                  | 19        | 20.6      | 21.1      | 20.9      |
| 270          |                  | 10        | 12        | 12.8      | 11.6      |
| 285          |                  | 3         | 2.3       | 2.9       | 3.2       |
| 300          |                  | 0         | 0         | 0         | 0         |

Tabla 19. Resultados de prueba Vicat, C. Carbajal, LMSE UNAM (2020)

### Tiempo de fraguado prueba Vicat



Gráfica 5. Evaluación en tiempo de fraguado, prueba Vicat C. Carbajal LMSE UNAM (2020)

La primera fase de endurecimiento del mortero se le conoce como endurecimiento inicial, es cuando la mezcla ha empezado a fraguar, pero únicamente a nivel superficial. Este endurecimiento inicial depende de la humedad, temperatura y viento. Sin embargo en esta prueba logramos demostrar que también el agregado y su nivel de absorción lograron acelerar su tiempo de fraguado.

Para el caso de las arenas es importante señalar que algunas lograron un comportamiento plástico más controlado como en el caso de la arena triturada y la arena azul. En el caso de la arena de río su demanda de agua fue mucho mayor. Sin embargo fue el cemento 1 (véase en Grafica 6) el que tuvo un tiempo de fraguado más temprano que el resto del cemento 2,3,4 y 5.

## Prueba de retracción

Por medio de la experimentación en laboratorio, se realizaron 5 ensayos por cada arena, en la primera fase se midió el periodo de retracción y/o agrietamiento presentado en las primeras 24 horas de fraguado, en las 4 muestras. Luego de la primera medición, se colocaron las probetas en la cámara de humedad adaptada para continuar las mediciones durante los días posteriores, 3, 5, 7, 14 y 28 días, conforme a lo establecido en la norma ASTM-C-151.<sup>35</sup>

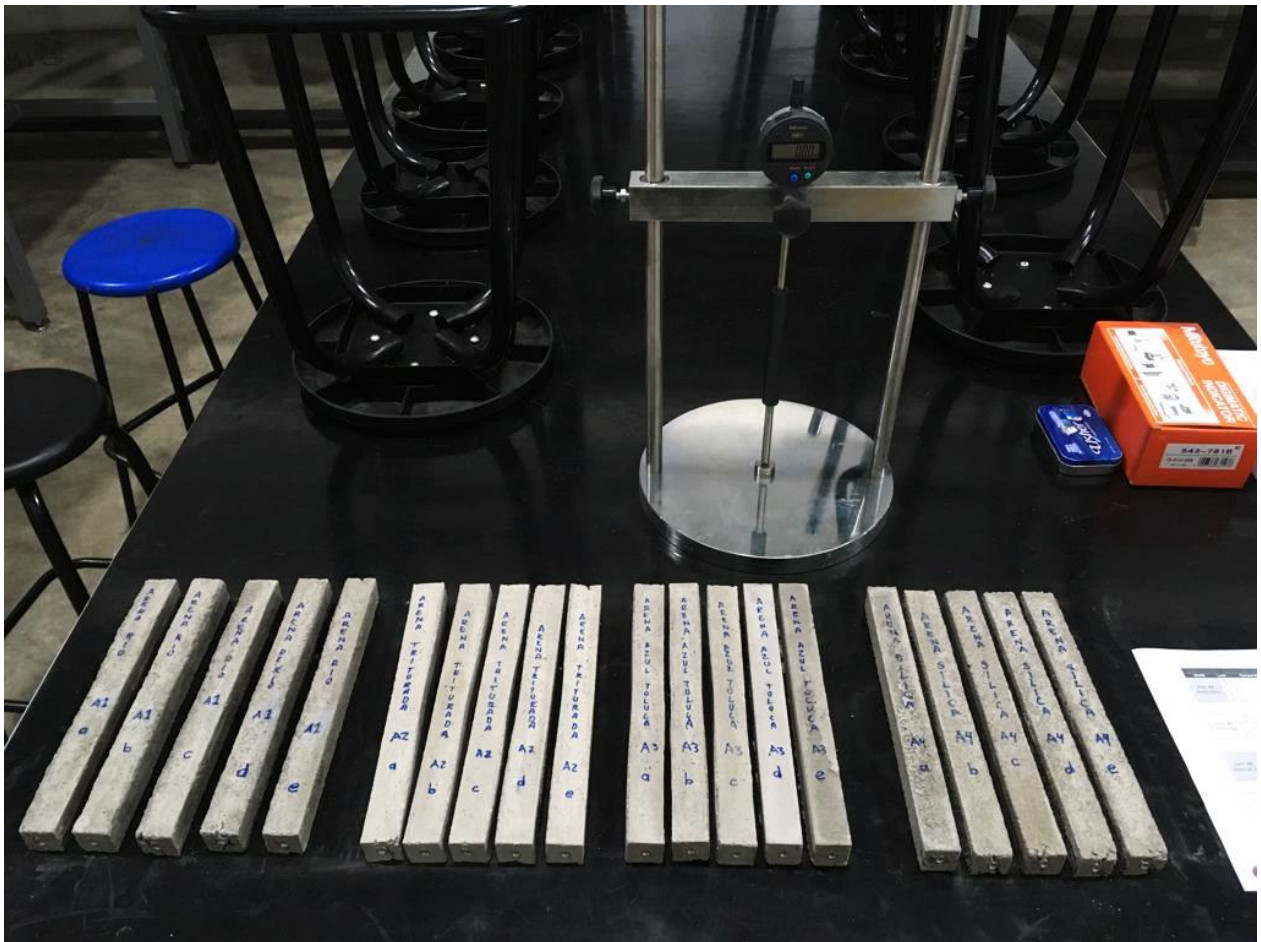


Imagen 27. Medición de probetas prismáticas, para prueba de retracción, C. Carbajal, LMSE (2019)

<sup>35</sup> ASTM C – 151, Método de prueba estándar para expansión en autoclave de cementos Portland.



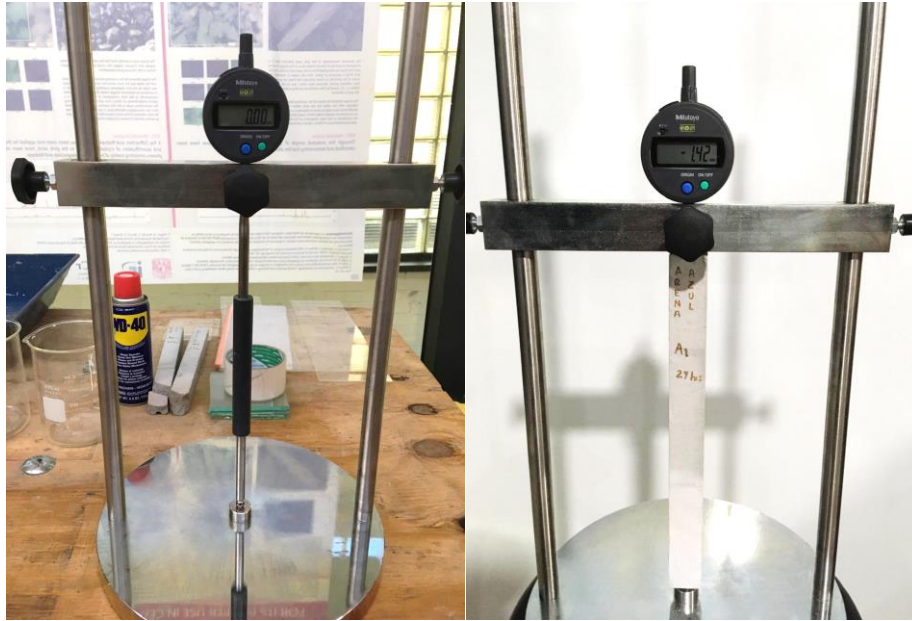


Imagen 28. Prueba de medición longitudinal en probetas de mortero. ASTM-C-151, LMSE (2019)

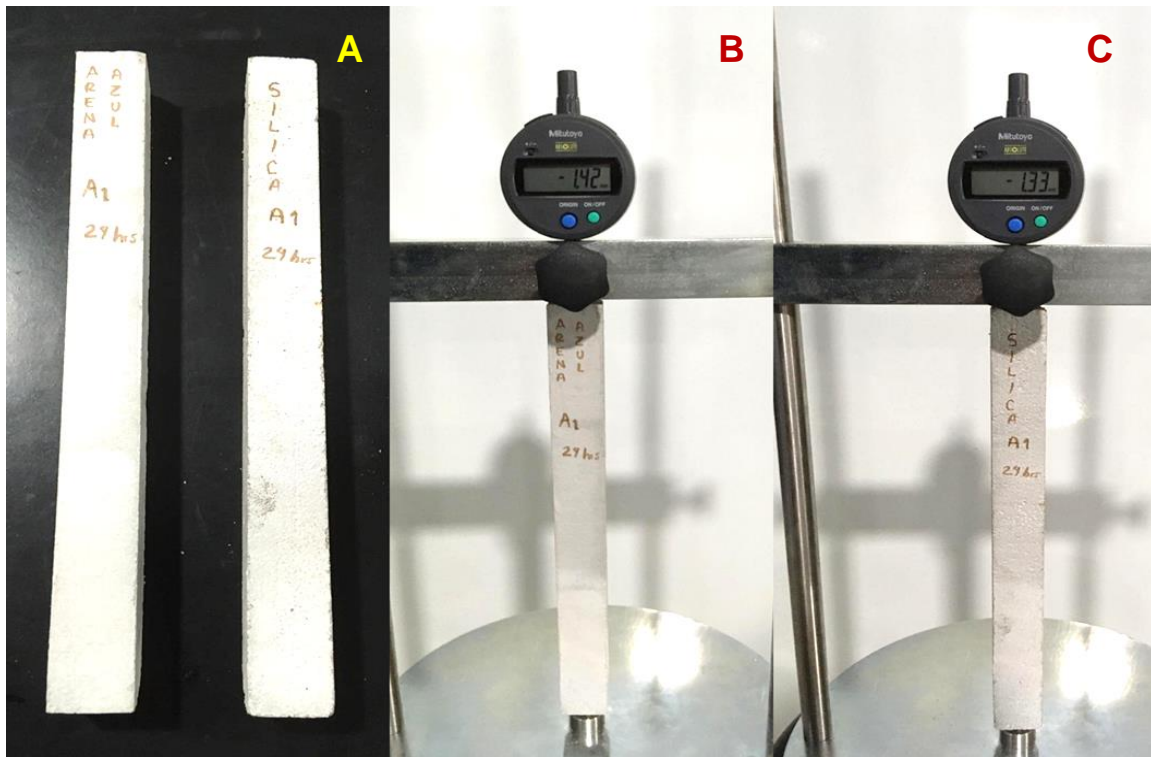


Imagen 29. Medición de probetas de mortero en comparador de longitud. LMSE (2019)

### Resultados en prueba experimental de retracción

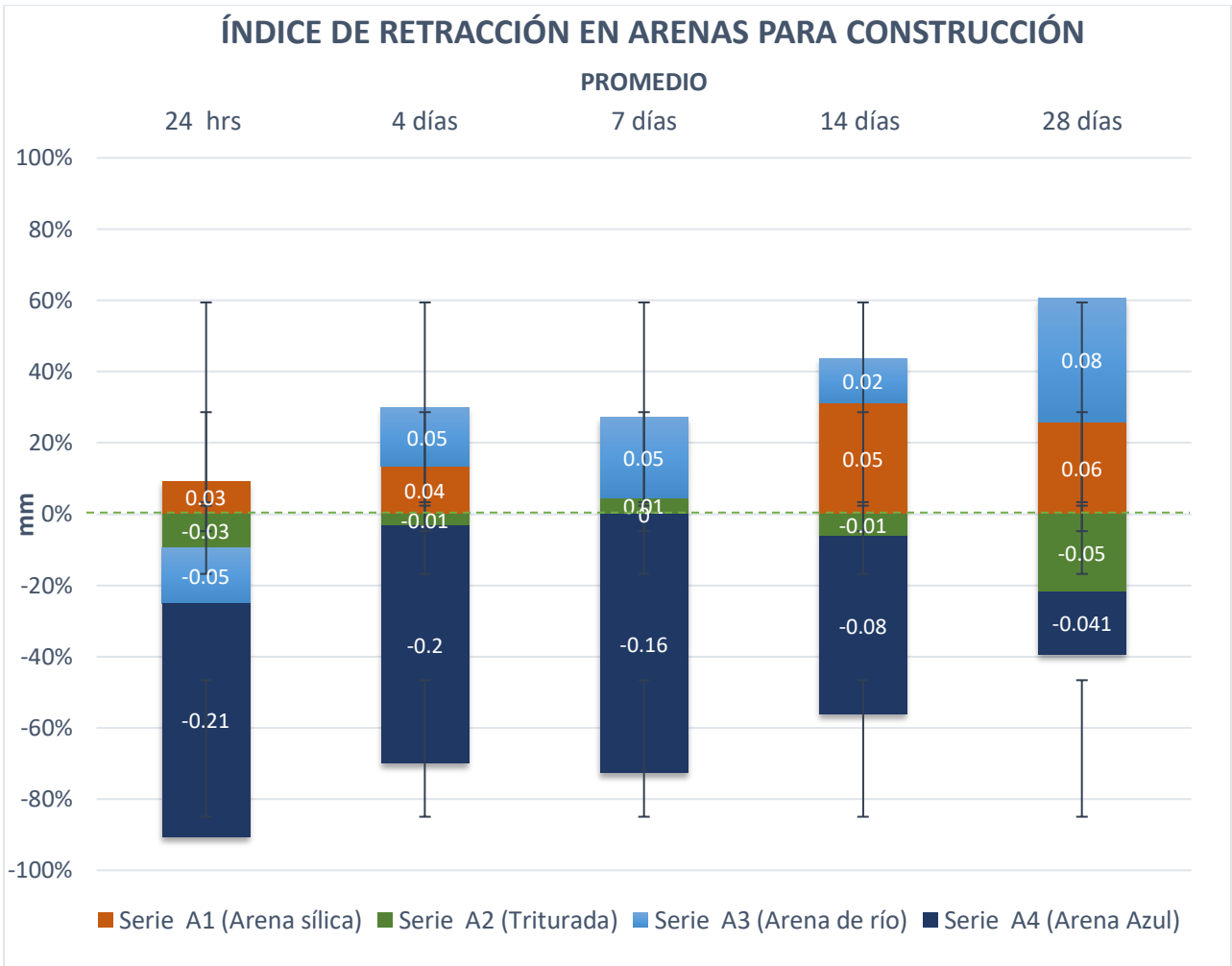
| EDAD                       | Lote | Temperatura       | L0     | L1     | L2     | L3      | L4      |
|----------------------------|------|-------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
|                            |      |                   | 24 hrs | 4 días | 7 días | 14 días | 28 días |
| Serie A1<br>(Arena sílica) | a    | 20 ± 5 °C Inicial | -1.39  | -1.36  | -1.33  | -1.28   | -1.25   |
|                            | b    | 20 ± 5 °C Final   | -1.37  | -1.34  | -1.30  | -1.28   | -1.26   |
|                            | c    | 50 °C             | -1.33  | -1.32  | -1.26  | -1.24   | -1.22   |
|                            | d    | 100 °C            | -1.27  | -1.25  | -1.22  | -1.21   | -1.19   |
|                            | e    | 150 °C            | -1.18  | -1.17  | -1.15  | -1.12   | -1.10   |
| <b>Promedio</b>            |      |                   | 0.03   | 0.04   | 0      | 0.05    | 0.06    |

| EDAD                    | Lote | Temperatura       | L0     | L1     | L2     | L3      | L4      |
|-------------------------|------|-------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
|                         |      |                   | 24 hrs | 4 días | 7 días | 14 días | 28 días |
| Serie A2<br>(Triturada) | a    | 20 ± 5 °C Inicial | -1.33  | -1.32  | -1.28  | -1.26   | -1.25   |
|                         | b    | 20 ± 5 °C Final   | -1.36  | -1.34  | -1.32  | -1.30   | -1.22   |
|                         | c    | 50 °C             | -1.31  | -1.29  | -1.26  | -1.24   | -1.19   |
|                         | d    | 100 °C            | -1.29  | -1.25  | -1.21  | -1.21   | -1.17   |
|                         | e    | 150 °C            | -1.30  | -1.23  | -1.18  | -1.20   | -1.16   |
| <b>Promedio</b>         |      |                   | -0.03  | -0.01  | 0.01   | -0.01   | -0.05   |

| EDAD                       | Lote | Temperatura       | L0     | L1     | L2     | L3      | L4      |
|----------------------------|------|-------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
|                            |      |                   | 24 hrs | 4 días | 7 días | 14 días | 28 días |
| Serie A3<br>(Arena de río) | a    | 20 ± 5 °C Inicial | -1.34  | -1.3   | -1.28  | -1.26   | -1.24   |
|                            | b    | 20 ± 5 °C Final   | -1.38  | -1.36  | -1.34  | -1.31   | -1.28   |
|                            | c    | 50 °C             | -1.30  | -1.29  | -1.26  | -1.25   | -1.22   |
|                            | d    | 100 °C            | -1.32  | -1.24  | -1.23  | -1.18   | -1.21   |
|                            | e    | 150 °C            | -1.33  | -1.18  | -1.16  | -1.15   | -1.11   |
| <b>Promedio</b>            |      |                   | -0.05  | 0.05   | 0.05   | 0.02    | 0.08    |

| EDAD                     | Lote | Temperatura       | L0     | L1     | L2     | L3      | L4      |
|--------------------------|------|-------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
|                          |      |                   | 24 hrs | 4 días | 7 días | 14 días | 28 días |
| Serie A4<br>(Arena Azul) | a    | 20 ± 5 °C Inicial | -1.31  | -1.3   | -1.28  | -1.24   | -1.16   |
|                          | b    | 20 ± 5 °C Final   | -1.12  | -1.08  | -1.07  | -1.06   | -1.04   |
|                          | c    | 50 °C             | -1.19  | -1.17  | -1.15  | -1.12   | -1.05   |
|                          | d    | 100 °C            | -1.33  | -1.29  | -1.25  | -1.22   | -1.18   |
|                          | e    | 150 °C            | -1.42  | -1.36  | -1.28  | -1.18   | -1.11   |
| <b>Promedio</b>          |      |                   | -0.21  | -0.2   | -0.16  | -0.08   | -0.041  |

Tablas 20. Datos obtenidos en la prueba de retracción con equipo Vicat, C. Carbajal, LMSE (2020)



Gráfica 6. Evaluación del índice de retracción en morteros de pega, C. Carbajal LMSE (2020)

De los resultados obtenidos en las pruebas por cambio volumétrico (retracción) a los 28 días, se observó una diferencia entre las diferentes marcas de cemento con respecto a los agregados. Para el caso de la arena azul con el cemento tipo 1, 2, 4 y 5 el cambio de volumen fue un 34% mayor durante los primeros 14 días del fraguado, en contraste con las demás áreas, por lo que este agregado mostro un mayor acortamiento durante su fase de secado con el cemento 3, donde se pudo tener un porcentaje menor al cambio de volumen hasta el día 28.

En el caso de la arena triturada durante la prueba se pudo observar que es un agregado con un comportamiento más controlado al cambio volumétrico, pues sus índices de retracción se condujeron con menor proporción al resto de los agregados, utilizando las cinco marcas de cemento que se comercializan en el centro de México.

La arena de río arrojó un comportamiento moderado a la retracción. Pero en la fase de expansión, a los 28 días fue evidente el resultado (véase Gráfica 7) debido a que muestra un mayor índice de cambio volumétrico de 29.35% durante la etapa final de secado.

## Prueba mecánica a compresión

En esta fase las pruebas a compresión se ensayaron a los 3, 5, 7, 14 y 28 días, cada probeta, (véase en *Imagen 30*), con el diseño de mezcla establecido, señalando que solo se reportaron los resultados de los 28 días, por ser este el dato de mayor importancia para las pruebas de resistencia, según la norma ASTM-C-109 “Standard Test Método for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars” midiendo los esfuerzos máximos a la ruptura.<sup>36</sup>



*Imagen 30. Probetas de mortero cubicas de 5 cm clasificadas previamente a ser ensayadas. LMSE UNAM (2019)*

---

<sup>36</sup> ASTM C – 109, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)

La norma ASTM-C-109 indica tres probetas como mínimo para efectuar la prueba a compresión; sin embargo para disminuir la desviación estándar y la incertidumbre de los resultados, se elaboraron cinco probetas por cada corrida a fin de evaluar las muestras a compresión. Las cuales fueron dejadas a temperatura ambiente dentro de las instalaciones del Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales, de la Facultad de Arquitectura de la UNAM.

Se opto por elegir probetas cubicas de 5 x 5 cm en lugar de cilindros, ya que no requieren proceso de cabeceo, para garantizar una uniformidad en las caras de contacto. (Véase en Imagen 31).



*Imagen 31. Prueba de compresión en cubos de mortero, ASTM-C-109. LMSE. (2019)*

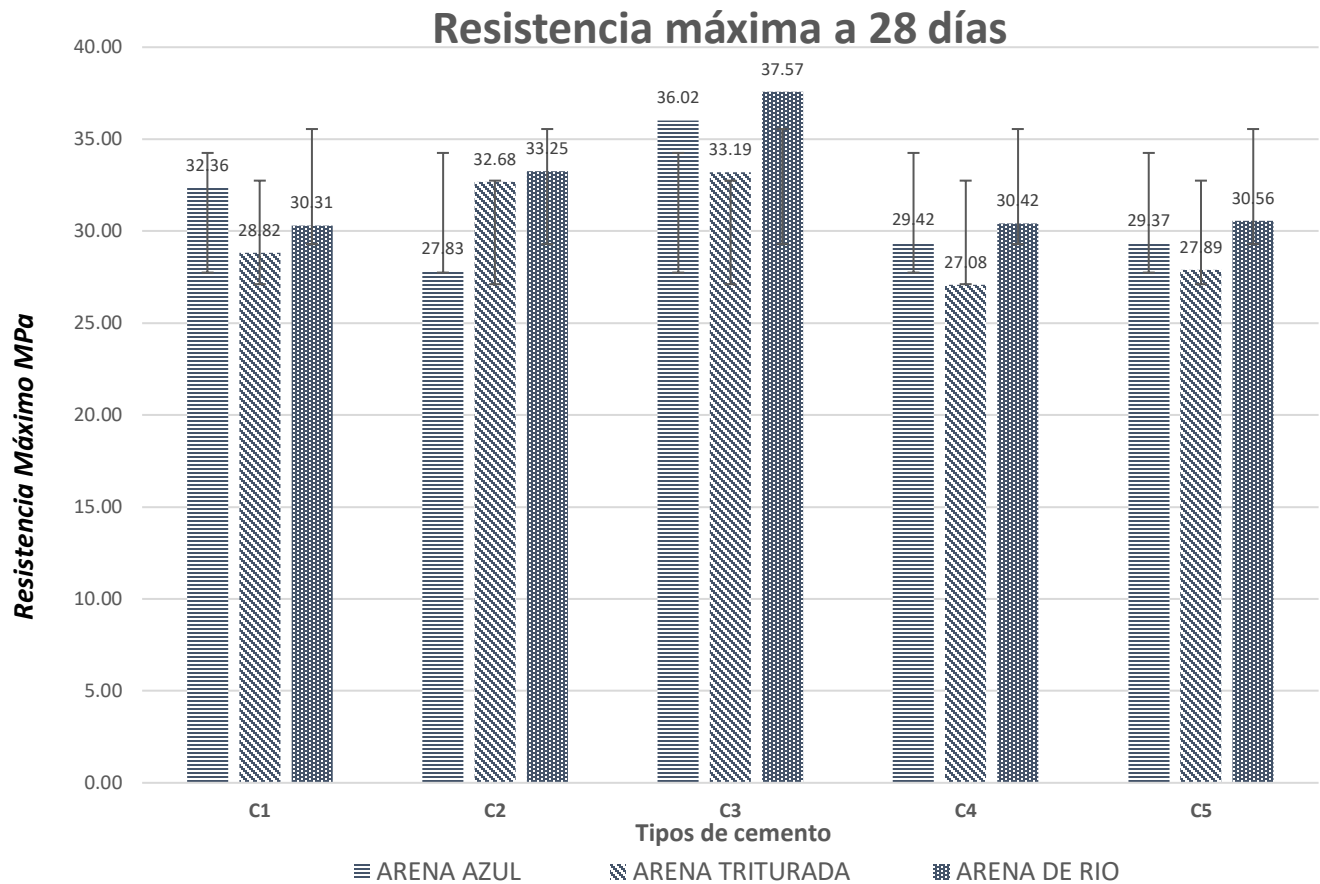


*Imagen 32. Muestras destructivas en cubos de mortero de 5 cm x 5 cm, C. Carbajal, LMSE (2019)*

Los resultados de las pruebas de compresión realizadas en el laboratorio de Materiales y sistemas Estructurales de la Facultad de Arquitectura de la UNAM, muestra lo siguiente:<sup>37</sup>

---

<sup>37</sup> Industria de la construcción – cementos hidráulicos– especificaciones y métodos de ensayo”, Norma Mexicana NMX C-414-ONNCE-2017



Gráfica 7. Prueba de compresión a 28 días, C. Carbajal, Laboratorio de Materiales y Sistemas Estructurales, UNAM (2020)

De los resultados arrojados en las pruebas a compresión simple a los 28 días en los cubos de mortero, se observó diferencia en las resistencias, entre las distintas marcas de cemento y una misma arena. Para el caso de la **arena de río**, la resistencia del mortero con el cemento uno portland tipo II, fue de 30.31 MPa, para el cemento 2 fue de 33.25 MPa, para el cemento tres fue de 37.57 MPa, para el cemento cuatro fue de 30.42 MPa y para el cemento cinco, la resistencia obtenida fue de 30.56 MPa (véase Gráfica 5). Por lo que implica que existe una diferencia entre el valor mínimo del cemento uno y el máximo obtenido con el cemento tres, en un 23.95%. Esto nos indica que al utilizar la arena de río en el diseño de una mezcla de mortero, este cemento denominado tres en la investigación, otorga una mayor resistencia a la compresión, por encima de los cementos uno, cuatro y cinco, por tener esos los resultados más bajos. Para el caso del cemento dos su comportamiento se considera intermedio.



Para la **arena azul**, la resistencia del mortero utilizado en el cemento uno fue de 32.36 Mpa, mientras que para el cemento dos fue de 27.83 MPa, para el cemento tres fue de 29.37 MPa (Véase Gráfica 5). Se obtuvo una diferencia entre el valor mínimo del cemento dos y el máximo obtenido con el cemento tres de un 29.43%. Determinando que, al utilizar arena azul, el cemento tres obtiene mayor resistencia a la compresión, con la arena azul, el cemento uno obtuvo una resistencia media, mientras que los cementos dos, cuatro y cinco obtuvieron los resultados más bajos en la resistencia.

Mientras tanto en el caso de la **arena triturada**, la resistencia del mortero utilizando el cemento uno fue de 28.82 MPa, para el cemento dos fue de 32.68 MPa, para el cemento tres fue de 33.19 MPa, para el cemento cuatro fue de 27.08 MPa, y para el cemento cinco la resistencia obtenida fue de 27.89 MPa (Véase en la Gráfica 5). Se obtuvo una diferencia entre el valor mínimo del cemento cuatro y el máximo obtenido con el cemento tres, de un 22.56%. Al igual que sucedió con la arena de río y la arena azul, el cemento tres es el que tiene una mayor resistencia al implementar la arena triturada, seguida de los cementos dos; el cemento cuatro y cinco presentaron los valores más bajos.

Al comparar los valores de las quince mezclas (véase en Gráfica 5), podemos determinar que el cemento uno tendrá mejor desempeño si se utiliza en conjunto con la arena azul, el cemento dos tendrá una mayor resistencia si se emplea en conjunto con la arena de río, al igual que el cemento tres, cuatro y cinco. Lo anterior tiene una relación directa con la granulometría de las arenas, al determinar que la arena de río es la que cumple con los parámetros establecidos en la norma ASTM – C—033<sup>38</sup>, por lo que podemos destacar que la granulometría de las arenas favorece o perjudica la resistencia mecánica de las mezclas.

---

<sup>38</sup> ASTM C – 33, Standard Specification for Concrete Aggregates

## **CONCLUSIONES PRELIMINARES**

De acuerdo con los datos obtenidos durante el experimento y siguiendo los lineamientos de las normas ASTM-C-109, ASTM-C-33, Y LA NMX-282-ONNCCE, podemos mencionar lo siguiente:

- 1.** De las arenas analizadas que se evaluaron en la zona centro del país no cumplen con los parámetros establecidos por la norma ASTM-C-33. Dos de ellas salen de la región de mínimos y máximos.
- 2.** Los cementos evaluados tienen un comportamiento distinto con cada agregado, algunos aumentan su resistencia a compresión y en otras se ve severamente afectada en cuanto a su retracción según la marca.
- 3.** La arena ayuda a prevenir la contracción del mortero. También evita el agrietamiento del mortero durante el fraguado, siempre y cuando se desarrolle un correcto diseño de mezcla.
- 4.** El cemento número 3 fue el mejor evaluado en cada una de las pruebas, debido a que sus valores fueron los más representativos en combinación con los agregados.
- 5.** Mediante los datos de esta investigación se buscará abrir ramas de especialización en el control de la retracción plástica, en materiales de concreto y derivados del cemento, que logren estructuras más durables y que aseguren un mayor ciclo de servicio, con menores costos de mantenimiento.

## RECOMENDACIONES

1. Es necesario tener un manejo adecuado del tipo de agregado al efectuar los procesos de mezclado, pues en las arenas de río los tiempos de fraguado son aún más rápidos que en el resto de los demás agregados.
2. Las temperaturas durante los procesos de aplicación deben considerarse dentro de los rangos de  $296\text{ K} \pm 2\text{ K}$  ( $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ). Considerando que se puede ajustar la temperatura del agua, para lograr un equilibrio en el proceso exotérmico, para reducir los choques térmicos y la evaporación temprana del agua en la mezcla.
3. Evitar retemplar la mezcla con agua adicional a la de mezclado, solo preparar la cantidad de mezcla que vaya a utilizar en un tiempo no mayor a 1 hora 30 minutos.
4. Mantener una revisión en los cementos, para que no excedan su uso a periodo de 30 días de su fabricación y embazado. De superar este periodo, será necesario pasar los cementos por un proceso de cribado para la eliminación de terrones producidos por la hidratación de la humedad.
5. Los agregados deberán estar siempre libres de materia orgánica, para evitar que las mezclas sufran un deterioro prematuro. Por lo que se recomienda efectuar un lavado previo, de acuerdo con la norma ASTM-C-33 y la NMX-C-111-ONNCCE.
6. No exceder el periodo de colocación del material de 2.5 h, una vez que el material cemento – agregado entra contacto con el agua.
7. Una correcta selección de materiales optimiza las propiedades mecánicas de los morteros, disminuyendo los cambios de volumen sin modificar la resistencia del material.

## ÍNDICE DE IMÁGENES

|  |    |
|--|----|
| IMAGEN 1 TANQUE CISTERNA DE TRANSPORTE DE CEMENTO .....  | 29 |
| IMAGEN 2. PROCESO DE ENVASADO DE MORTERO EN SILOS. ....  | 29 |
| IMAGEN 3. ARENA AZUL, ARENA SÍLICA, ARENA DE RÍO Y ARENA TRITURADA. (2019).....  | 62 |
| IMAGEN 4. CEMENTO PORTLAND TIPO II CPC 30 R.....   | 63 |
| IMAGEN 5. PROCESO DE MEZCLADO DE MORTERO, LMSE, UNAM (2019) .....  | 66 |
| IMAGEN 6. MEDIDAS DE MOLDE REQUERIDOS POR LA NORMA ASTM-C-151 MÉTODO DE EXPANSIÓN<br>DE MEZCLAS DE CEMENTO .....                       | 67 |
| IMAGEN 7.. PROCESO DE ELABORACIÓN DE MOLDES, NORMA ASTM-C-151 LMSE, UNAM (2019) ..   | 68 |
| IMAGEN 8. MOLDE DE MADERA PARA PROBETA PRISMÁTICA, ASTM-C-151 LMSE, UNAM (2019) ...  | 68 |
| IMAGEN 9. COLOCACIÓN DE VARILLA PARA CALIBRACIÓN DEL COMPARADOR LONGITUDINAL, .....  | 69 |
| IMAGEN 10. CALIBRACIÓN DEL COMPARADOR LONGITUDINAL, MITUTOYO, LMSE (2019) .....  | 70 |
| IMAGEN 11. CÁMARA PREFABRICADA DE HÚMEDA PARA CURADO. C. CARBAJAL (2019) .....   | 71 |
| IMAGEN 12. SISTEMA GENERADOR DE HUMEDAD INTERIOR. C. CARBAJAL, LMSE (2019).....  | 71 |
| IMAGEN 13. ELABORACIÓN DE MUESTRAS PRISMÁTICAS, DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM-C-151 73  |    |
| IMAGEN 14. PESAJE DE CEMENTO PORTLAND TIPO II CPC 30 R LMSE, UNAM (2019) .....   | 74 |
| IMAGEN 15. ANILLO CÓNICO ANTICORROSIVO (2019) LMSE, UNAM (2019) .....  | 74 |
| IMAGEN 16. PROCESO DE PENETRACIÓN EN LA MEZCLA DE MORTERO LMSE, UNAM (2019) .....  | 74 |
| IMAGEN 17. PRESOMATICO AUTOMÁTICO 63-L2700/EZ MARCA VICAMATIC. LABORATORIO DE<br>MATERIALES Y SISTEMAS ESTRUCTURALES, UNAM (2019)..... | 74 |
| IMAGEN 18. MEDICIÓN DE PARÁMETRO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LABORATORIO DE<br>MATERIALES Y SISTEMAS ESTRUCTURALES, UNAM. (2019) ..... | 75 |
| IMAGEN 19. MOLDES CÚBICOS DE 5 CM X 5 CM X 5 CM, ESTABLECIDOS POR LA NORMA ASTM-C-109<br>LMSE (2019).....                              | 76 |
| IMAGEN 20. ELABORACIÓN DE CUBOS DE 5 X 5 CM DE ACUERDO CON LA NORMA ASTM-C-109, PARA<br>PRUEBA DE COMPRESIÓN. (2019) .....             | 77 |
| IMAGEN 21. PROBETAS PREVIAMENTE FRAGUADAS PARA EFECTUAR PRUEBA DE COMPRESIÓN, LMSE<br>(2019) .....                                     | 77 |

|   |    |
|---|----|
| IMAGEN 22. TÉCNICO DE LABORATORIO DE MATERIALES Y SISTEMAS ESTRUCTURALES CALIBRANDO EQUIPO INSTRONG PARA EVALUAR LAS PRUEBAS A COMPRESIÓN, UNAM (2020)..... | 78 |
| IMAGEN 23. PROCESO DE TAMIZADO EN LOS CUATRO TIPOS DE AGREGADOS EVALUADOS; ARENA SÍLICA, ARENA AZUL, .....  | 81 |
| IMAGEN 24. VACIADO DEL AGREGADO EN LOS TAMICES LMSE, UNAM (2019) .....  | 82 |
| IMAGEN 25. TAMIZADORA RETSCH, MOD AS200, LMSE UNAM (2019).....  | 82 |
| IMAGEN 26. MUESTRAS DE ARENA ANALIZADAS EN LABORATORIO, C. CARBAJAL (2019) .....  | 89 |
| IMAGEN 27. MEDICIÓN DE PROBETAS PRISMÁTICAS, PARA PRUEBA DE RETRACCIÓN, C. CARBAJAL, LMSE (2019).....   | 92 |
| IMAGEN 28. PRUEBA DE MEDICIÓN LONGITUDINAL EN PROBETAS DE MORTERO. ASTM-C-151, LMSE (2019) .....  | 93 |
| IMAGEN 29. MEDICIÓN DE PROBETAS DE MORTERO EN COMPARADOR DE LONGITUD. LMSE (2019) ..  | 93 |
| IMAGEN 30. PROBETAS DE MORTERO CUBICAS DE 5 CM CLASIFICADAS PREVIAMENTE A SER ENSAYADAS. LMSE UNAM (2019).....  | 97 |
| IMAGEN 31. PRUEBA DE COMPRESIÓN EN CUBOS DE MORTERO, ASTM-C-109. LMSE. (2019) .....   | 98 |
| IMAGEN 32. MUESTRAS DESTRUCTIVAS EN CUBOS DE MORTERO DE 5 CM X 5 CM, C. CARBAJAL, LMSE (2019) .....   | 99 |

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

|  |    |
|--|----|
| GRÁFICA 1. CURVA GRANULOMÉTRICA PARA AGREGADOS FINOS FUENTE: ASTM-C-33 .....                       | 44 |
| GRÁFICA 2. CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA TRITURADA, C. CARBAJAL. LMSE, UNAM (2020) .....        | 85 |
| GRÁFICA 3. CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA DE RÍA, C. CARBAJAL. LMSE, UNAM (2020)...              | 86 |
| GRÁFICA 4. CURVA GRANULOMÉTRICA DE LA ARENA AZUL DE CALIMAYA, C. CARBAJAL. LMSE, UNAM (2020) ..... | 87 |
| GRÁFICA 5. EVALUACIÓN EN TIEMPO DE FRAGUADO, PRUEBA VICAT C. CARBAJAL LMSE (2020) .....            | 91 |
| GRÁFICA 6. EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE RETRACCIÓN EN MORTEROS DE PEGA, C. CARBAJAL LMSE (2020) .....  | 95 |

|   |     |
|---|-----|
| GRÁFICA 7. PRUEBA DE COMPRESIÓN A 28 DÍAS, C. CARBAJAL, LABORATORIO DE MATERIALES Y SISTEMAS ESTRUCTURALES, UNAM (2020) ..... | 100 |
|---|-----|

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE MORTEROS, NORMA ASTM -C-270.....  | 26 |
| TABLA 2. COMPONENTES QUÍMICOS DEL CEMENTO, TECNOLOGÍA DEL CONCRETO, A. M. NEVILLE 1998 .....                | 34 |
| TABLA 3. ROCAS ÍGNEAS, RETOMADO DEL SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO, MUSEO VIRTUAL, 2020 .....                  | 36 |
| TABLA 4. ROCAS SEDIMENTARIAS RECABADO DEL SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO, MUSEO VIRTUAL, 2020 .....            | 38 |
| TABLA 5. ROCAS SEDIMENTARIAS, SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO, MUSEO VIRTUAL, 2020 .....                        | 39 |
| TABLA 6. DATOS GRANULOMÉTRICOS NORMA ASTM-C-33.....   | 44 |
| TABLA 7. OBTENIDA DE LA NORMA MEXICANA NMX-C-122. S. VARGAS PP. 37 (2017) .....                             | 48 |
| TABLA 8. APLICACIONES DE LOS ADITIVOS EN LAS MEZCLAS DE CONCRETO Y MORTERO. CEMEX, (2012) .....             | 51 |
| TABLA 9. CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA, NEVILLE, 1998 .....  | 55 |
| TABLA 10. SISTEMAS ESTRUCTURALES EN REGIONES SÍSMICAS. A. TAHUITON. PÁG. 12 (2018). .....                   | 57 |
| TABLA 11. REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS. ASTM-C-33 .....   | 62 |
| TABLA 12. PROPORCIONES DE DISEÑO DE MEZCLA, ASTM-C-109 .....  | 65 |
| TABLA 13. RESULTADOS DE TAMIZADO, ARENA SÍLICA (OTTAWA), C. CARBAJAL, LMSE (2019) .....                     | 83 |
| TABLA 14. RESULTADOS DE TAMIZADO, ARENA TRITURADA, C. CARBAJAL, LMSE (2019) .....                           | 83 |
| TABLA 15. RESULTADOS DE TAMIZADO, ARENA DE RIO, C. CARBAJAL, LMSE (2019) .....                              | 84 |
| TABLA 16. RESULTADOS DE TAMIZADO, ARENA AZUL, C. CARBAJAL, LMSE (2019) .....                                | 84 |
| TABLA 17. MÓDULO DE FINURA DE LAS ARENAS C. CARBAJAL, LMSE (2020) .....                                     | 88 |
| TABLA 18. DISEÑO DE MEZCLA ESTABLECIDO PARA LA ELABORACIÓN DE PRISMAS, PRUEBA DE RETRACCIÓN, ASTM-C151..... | 89 |
| TABLA 19. RESULTADOS DE PRUEBA VICAT, C. CARBAJAL, LMSE (2020) .....  | 90 |

TABLAS 20. DATOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA DE RETRACCIÓN CON EQUIPO VICAT, C. CARBAJAL,  
LMSE (2020).....94

## GLOSARIO

- I. **Clinker:** Producto que resulta de la cocción de la piedra caliza // principal componente del cemento portland.
- II. **Diseño de mezcla:** Es el proporcionamiento adecuado de los materiales que conforman el mortero. 3(agua, cemento y arena)
- III. **Ferrita:** Ferro aluminato tetracálcico, uno de los principales componentes del cemento portland gris.
- IV. **Mezcla plástica:** Condición de la consistencia que permite al material soportar deformaciones sin romperse.
- V. **Mortero:** Mezcla de cemento portland gris, arena y agua // Utencilio de laboratorio que sirve para moler manualmente diferentes materiales.
- VI. **Mampostería:** Construcción a basa de unidades preformadas o moldeadas, generalmente lo suficientemente pequeñas para ser manejadas por una sola persona, ya que están hechas de tabiques o blocks de cemento arena.
- VII. **Módulo de Finura:** Factor que se obtiene sumando los porcentajes totales de material que son más gruesos que cada una de las mallas siguientes, y dividiendo la suma entre 100.
- VIII. **Plasticidad:** P0ropiedad de la pasta de cemento o mortero recién mezclada que determina su resistencia a la deformación o su facilidad de moldeo.
- IX. **Tamiz:** Tela tejida de alambre con aberturas regularmente espaciada de tamaño uniforme, montada en un marco de latón para usarse en la separación del material granular de acuerdo con el tamaño de sus partículas.

X. **Trabajabilidad:** Propiedad del mortero en estado fresco que determina la facilidad en la cual se pueden mezclar, compactar, colocar y terminar en una condición homogénea.

## ABREVIATURAS

**ASTM:** American Society for Testing and Materials

**NMX:** Norma Mexicana

**ONNCE:** Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.

**IMCyC** Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

**C** Carbono

**C2S** Silicato dicálcico

**C3A** Aluminato tricálcico

**C3S** Silicato tricálcico

**C4AF** Ferroaluminato tetracálcico

**Ca** Calcio

**MF** Modulo de Finura

**MPa** Mega pascal es la unidad de presión del Sistema Internacional de Unidades. Se define como la presión que ejerce una fuerza de 1 newton sobre una superficie de 1 metro cuadrado normal a la misma.



## REFERENCIAS

1. M. Neville y J. J. Brooks, *Tecnología del concreto- México Trillas, (1998)*
2. Arnal Simón, L. (2005), *Reglamento de construcciones para el Distrito Federal: reglamento, normas técnicas, Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, Reglamento de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, ilustraciones y comentarios, graficas, planos y lineamientos. México, Trillas S.A. de C.V.*
3. Kurdowski, W. (2014) *Cement and Concrete Chemistry, 1ª Edición. New York, London: Springer Science\* Bussines Media.*
4. Askeland, D. (2016) *Ciencia e Ingeniería de los materiales.*
5. CEMEX Concretos, *Manual del constructor. México, CEMEX S.A. de C.V.*
6. Montes J., (2014) *Ciencia e Ingeniería de Materiales, Paraninfo, España.*
7. Metha, K. y P. Monteiro. (1998), *Concreto: estructuras, propiedades y materiales. México, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.*
8. Olague C. (2003) *Agregados para Concreto. Caracterización Físicoquímica de agregados para concretos hidráulicos. 1ª Edición. Colección Textos Universitarios. Universidad Autónoma de Chihuahua.*
9. ACI 224. 1R-93 *Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón. Fernández Cánovas M, "Patología y terapéutica del hormigón armado", Universidad Politécnica de Madrid, 1994.*
10. Toirac Corral J., "Patología de la construcción. Grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención", en *Ciencia y Sociedad, Instituto*

Tecnológico de Santo Domingo, República Dominicana, vol. 29. núm. 001, enero-marzo de 2004, pp. 72-114.

11. Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C.; Baptista Lucio, P.; (2006), *Metodología de la Investigación*. México, 4ta Edición, Mc Graw Hill
12. *Drying Shrinkage of Cement and Concrete, Concrete Data, July 2002*. Cement and Concrete Association of Australia.

## ARTICULOS

13. Zhang W., Zakaria M. y Hama Y. (2013) ***Influencia de las características de los materiales agregados en la contracción por secado en las propiedades del mortero y concreto***. El Sevier Ltd. Pp: 2 – 11
14. Grassl P. \*1 y Wong H.S. \*2 (2008) ***Influencia del tamaño del agregado y la fracción de volumen en la micro fisuración inducida por contracción del concreto y el mortero***. Boletín del Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Glasgow, UK. Pp: 2 - 15
14. Yam Chan J.L., Solís Carcaño R. y Moreno E.I. (2003). ***Influencias de los agregados en las características del concreto***. Boletín de Construcción, Ingeniería 7-2, FIUADY, Mérida, México. Pp: 2 – 9
15. Toirac, J. (2004). ***Patología de la Construcción. Grietas y Fisura en obra de concreto. Origen y prevención***. Ciencia y Sociedad, Vol. 29, núm. 1, Instituto Tecnológico de Santo Domingo, República Dominicana.
16. Hincapié, A.M. y Aguja, E.A. (2003) ***Agregado reciclado para morteros***. Revista Universidad EAFIT Vol. 39. No. 132. Pp: 76-89

- 17.** Muciño Vélez, A. (2015), *“Endurecimiento de cementos tipo portland inducido por fosfatos y/o silicatos”*, Doctorado en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- 18.** Salgado Cruz, E. (2016), *“Siembra de partículas submicrométricas de minerales de fósforo en morteros hidráulicos de cemento para mejorar su desempeño mecánico”*, Maestría en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- 19.** Vargas López, S. (2017), *“Modificación de las propiedades mecánicas del mortero”*, Maestría en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- 20.** Tahuiton Mora, A. (2018), *“Evaluación de piezas de mampostería ligera con uso estructural”*, Maestría en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
- 21.** Calle Delgado, M. (2018) *“Influencia de la granulometría y el tipo de cemento en la contracción por secado de morteros estructurales”*, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Piura, Perú.
- 22.** Monteagudo Viera, S. (2014) *“Estudio microestructural y de los procesos de hidratación de cementos con adiciones”*, Doctorado en Ingeniería, Universidad Politécnica de Madrid.
- 23.** Ortega Quiñones, D. (2016) *“Influencia de áridos de Villa Clara y Ciego Ávila en el comportamiento de la fisuración por cambios de volumen en el hormigón”*, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Departamento de Ingeniería Civil.

## NORMAS

- 24.** *ASTM C – 109, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*
- 25.** *ASTM C – 151, Método de prueba estándar para expansión en autoclave de cementos Portland.*
- 26.** *NMX-C-282-ONNCCE “Industria de la construcción – Agregados para concreto – cambio de volumen para combinaciones cemento - agregado - método de prueba”.*
- 27.** *ASTM C – 33, Standard Specification for Concrete Aggregates*
- 28.** *ASTM C – 191, Método de prueba estándar para tiempo de fraguado del cemento hidráulico método Vicat”.*
- 29.** *Norma Mexicana NMX-C-441-ONNCCE-2013, Para elementos de mampostería no estructurales*



## **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura Maestría en Arquitectura

Campo de conocimiento: Tecnologías

Ciudad Universitaria, CD. MX. Diciembre 2021