



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

MEMORIA DE DESEMPEÑO DE SERVICIO SOCIAL EN EL INSTITUTO DE  
INGENIERÍA, UNAM

**“PRUEBAS DE CALIDAD PARA CONCRETOS DE  
USO ESTRUCTURAL”**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A:  
C. ROBLES PÉREZ MARCIAL ALEJANDRO

TUTOR(A):  
DR. JOSÉ PAULO MEJORADA MOTA



Cd. Nezahualcóyotl, Estado de México. 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

# Índice

Introducción .....	4
Objetivo general .....	7
Antecedentes .....	8
<b>Capítulo I.- Características principales del concreto .....</b>	<b>9</b>
1.1. Concreto .....	9
1.2.- Agua .....	9
1.3.- Cemento .....	10
1.4.- Agregados pétreos.....	11
1.5.- Muestreo de agregados.....	13
1.6.- Granulometría .....	16
1.7.- Masa volumétrica seca suelta y compactada.....	18
1.8.- Peso específico y absorción de los agregados .....	19
1.9.- Pérdida por lavado .....	24
<b>Capítulo II.- Diseño de mezcla de concreto .....</b>	<b>26</b>
2.1.- Método ACI .....	26
2.2.- Elaboración de la mezcla de concreto .....	30
<b>Capítulo III.- Ensayes y control de calidad .....</b>	<b>32</b>
3.1.- Pruebas en estado fresco.....	32
3.2.- Revenimiento .....	32
3.3.- Masa unitaria del concreto .....	34
3.4.- Rendimiento.....	36
3.5.- Contenido de aire.....	38
3.5.1.- Método de presión.....	38
3.5.2.- Método gravimétrico.....	40
3.6.- Especímenes de concreto .....	41
3.7.- Pruebas de concreto en estado endurecido .....	43
3.8.- Pruebas no destructivas.....	44
3.8.1.- Prueba de índice de rebote (Esclerómetro) .....	46
3.8.2.- Velocidad de pulso ultrasónico. ....	49
3.9.- Pruebas destructivas del concreto.....	54
3.9.1.- Resistencia a compresión .....	54
3.9.2.- Módulo de elasticidad y relación de Poisson del concreto. ....	60

<b>3.10.- Contracción por secado .....</b>	<b>65</b>
<b>Capitulo IV.- Ataque de iones cloruro .....</b>	<b>68</b>
<b>4.1.- Análisis de penetración y migración de iones cloruro en el concreto. ....</b>	<b>68</b>
<b>4.2.- Penetración de iones cloruro, ASTM C1202.....</b>	<b>70</b>
<b>4.3.- Coeficiente de migración de cloruros, NT BUILD 492.....</b>	<b>71</b>
<b>Capitulo V.- Presentación de resultados. ....</b>	<b>75</b>
<b>5.1.- Proyecto 1.....</b>	<b>77</b>
<b>5.1.1.-Caracterización de fibras para concreto .....</b>	<b>77</b>
<b>5.1.2.- Permanencia de la consistencia .....</b>	<b>78</b>
<b>5.1.3.- Resistencia a compresión. ....</b>	<b>80</b>
<b>5.1.4.- Módulo de elasticidad .....</b>	<b>81</b>
<b>5.1.5.- Contracción por secado. ....</b>	<b>84</b>
<b>5.2.- Proyecto 2.....</b>	<b>89</b>
<b>5.2.1.- Granulometría de los agregados.....</b>	<b>89</b>
<b>5.2.2.- Diseño de mezclas de concreto ACI.....</b>	<b>94</b>
<b>5.2.3.- Pruebas del concreto en estado fresco .....</b>	<b>95</b>
<b>5.2.4.- Pruebas del concreto en estado endurecido.....</b>	<b>96</b>
<b>5.3.- Proyecto 3.....</b>	<b>100</b>
<b>5.3.1.- Resistencia a compresión .....</b>	<b>100</b>
<b>5.3.2.- Módulo de elasticidad .....</b>	<b>102</b>
<b>5.3.3.- Resistencia a la penetración ion cloruro ASTM 1202.....</b>	<b>104</b>
<b>5.3.4- Determinación del coeficiente de migración de cloruros NT BUILD 492. ....</b>	<b>105</b>
<b>4.- Conclusiones .....</b>	<b>108</b>
<b>5.- Bibliografía.....</b>	<b>110</b>

## **Introducción**

En el presente reporte se hace referencia principalmente al tema de las estructuras y los materiales de construcción; pero uno de los materiales más utilizados para la ejecución de cualquier tipo de obra de ingeniería civil, es el concreto, el cual es el material esencial para construir y mejorar la gran parte del hábitat humano; lo que, para toda necesidad, el concreto está presente en edificaciones y grandes obras, pero también hay ciertos factores que harán cambios en el concreto, así como en condiciones que pueden beneficiar o afectar sus propiedades y su calidad. En este reporte se mencionarán distintos proyectos, los cuales se han realizado estudios para verificar su calidad en distintas situaciones.

Las características principales del concreto, es que se pueda manipular en su estado fresco, pero que al estar endurecido soporte cargas a los que será sometido, y que no le afecte ningún tipo de agente químico o natural dañino. Como es el 2 material más utilizado en el mundo después del agua, es de vital importancia para cada obra de ingeniería civil, como material principal para que toda construcción, debe ser resistente y durable. El principal interés del concreto es saber más sobre su comportamiento, sus propiedades físicas y químicas, además de sus aplicaciones en general; esto con el propósito de obtener más conocimientos acerca de su aplicación, o que cambio puede tener para garantizar una resistencia, una durabilidad, un beneficio y seguridad para el ser humano. Para tener un control de calidad del concreto, se ha evaluado cada ingrediente de la mezcla en general y se han realizado ensayos del concreto en estado fresco y endurecido, siguiendo las recomendaciones y parámetros respectivos a la construcción y la tecnología del concreto que se aplican para comprobar la calidad y garantizar su resistencia para la función que se le asigne, aunque durante la investigación, se presentaron resultados que salen de las expectativas esperadas.

La finalidad de este informe es analizar con exactitud en la tecnología del concreto, para su uso en distintas aplicaciones y situaciones, las cuales toman como puntos clave la calidad y el beneficio. También contrastar los resultados, demostrando que el concreto, aunque sea muy resistente, no garantiza una durabilidad mayor, ya que esto perjudica el costo beneficio en una obra de mayor magnitud.

Todo procedimiento que se muestra en este reporte se basa en la normatividad respectiva para cada ensaye relacionado con el concreto, también se han seguido recomendaciones. Todo es parte de la teoría y la investigación, siguiendo un régimen que indica lo que debe ser correcto para elaboración y ensaye.

El concreto de uso estructural requiere de un profundo análisis para cada prueba en sus estados fresco y endurecido, además de prestar atención a su calidad y otros aspectos que intervienen para su aplicación y desempeño, desde las pruebas de laboratorio, hasta la construcción de obra; es por este motivo, por el cual se lleva un control de calidad para cada aplicación. El primer estudio se realizó para caracterizar macrofibras de polipropileno y determinar los cambios y el rol que ocupan estas macrofibras en el concreto a través de pruebas en estado fresco (revenimiento, permanencia de la consistencia) y en estado endurecido (pruebas destructivas y no destructivas, contracción por secado, índice de agrietamiento, etc.).

*“Se pueden agregar fibras al concreto para reducir el potencial de agrietamiento debido a la contracción. La contracción plástica ocurre durante el período temprano cuando la resistencia de la pasta es bastante baja, y la contracción por secado ocurre debido a un cambio de volumen después de que el concreto se endurezca.*

*Si la deformación por contracción es lo suficientemente restringida, los esfuerzos de tracción generados pueden ser lo suficientemente altos como para causar el agrietamiento” (ACI 544.5R-10).*

El segundo estudio demuestra factores del control de calidad del concreto de diferentes diseños, desde el análisis de los materiales componentes, cantidad de ingredientes para mezclado, obteniendo una mejor relación agua/cemento, y la calidad de este para su recomendación y aplicación final. El tercer estudio se probará el ataque de agentes químicos al concreto, en este caso, a la penetración de iones cloruro.

## **Objetivo general**

Analizar a detalle el comportamiento del concreto en su estado fresco y endurecido, demostrando su calidad y los cambios que sufre en distintos casos, todo esto, para evaluar su aplicación y confirmar su buena calidad para su uso estructural. A través de las actividades realizadas en el Instituto de Ingeniería de la UNAM y con el propósito de cumplir con el servicio social, se han puesto a prueba varias mezclas de concreto, sus materiales y propiedades para tres proyectos distintos, en los cuales he participado para llevar a cabo su control de calidad y cuyos objetivos se presentan a continuación:

- Investigar la influencia de las macrofibras de polipropileno en el concreto, en estado fresco y endurecido.
- Realizar ensayos no destructivos en mezclas de concreto y determinar qué relación existe entre ellas y con su resistencia a compresión, con la finalidad de estimar la resistencia del concreto en estructuras puestas en servicio mediante estos ensayos.
- Estimar la durabilidad del concreto cuando este se ve afectado por agentes químicos que puede dañar al acero de refuerzo.

## **Antecedentes**

Este reporte ha sido creado por la investigación y el trabajo del M.en I. Carlos Javier Mendoza Escobedo, investigador del Instituto de Ingeniería de la UNAM, con la supervisión del M. en I. Francisco Hernández Díaz. Cada trabajo fue realizado con base a las investigaciones y recomendaciones del comité del American Concrete Institute (ACI), pero principalmente hay que saber varios aspectos que van relacionados y son importantes en cuestiones para la elaboración de una mezcla de concreto, además de su respectivo ensaye y evaluación, también se ha dado seguimiento recomendaciones de fichas técnicas del Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC); además se ha aplicado las normativas mexicanas del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE), así como de las normas norteamericanas, que aplica el American Society of Testing Materials (Asociación Americana de Ensayo de Materiales, ASTM). De esto se trata cada capítulo, se describirán todos los pasos a seguir y los aspectos para entender más a fondo sobre los materiales y del concreto, sea cual sea el estado en que se encuentre.

Se mencionará cada material del cual se elabora una mezcla de concreto y que ensayes se realizan de acuerdo con su respectiva normativa de calidad, con el fin de hacer la ejecución y obtener una mezcla que cumpla con todas las características esperadas.

## **Capítulo I.- Características principales del concreto**

### **1.1. Concreto**

Es un material compuesto producto de la mezcla de agregados pétreos finos y gruesos, agua y material cementante, lo que da como resultado un producto manipulable y en estado plástico, se moldea y acopla a la forma requerida de acuerdo con un diseño arquitectónico o estructural, de una edificación de cualquier magnitud. Este producto al fraguar se vuelve resistente y durable, capaz de soportar cargas vivas y muertas, inclusive resiste acciones de la naturaleza, como sismo, viento y otros efectos químico-biológicos.

*“El concreto es el resultado de la combinación de material aglutinante y agregados, eso significa que en el concreto se genera una reacción química entre el cemento al contacto con el agua, provocando calor de hidratación y formando material aglutinante o pasta cementante que se vuelve plástica y moldeable; además, en combinación con los agregados pétreos puede alianzar mayor resistencia y aumento de volumen, el rellenar los espacios vacíos que hay entre agregados” (ASTM C125).*

Cada ingrediente del concreto tiene que cumplir con las normas de construcción, en cuanto a la calidad, para poder incluirse en la elaboración de la mezcla; se hará mención a cada ingrediente, su función en el concreto y su proceso para determinar su calidad.

### **1.2.- Agua**

El cemento y el agua al entrar en contacto y después de mezclado, forman un material aglutinante, dotando a la mezcla de una cierta consistencia y trabajabilidad, pero es muy importante no exceder su cantidad en la mezcla, ya que ésta pierde resistencia.

*“Cuando son excesivas las impurezas contenidas en el agua de mezcla, pueden afectar no solamente el tiempo de fraguado, la resistencia del concreto, la consistencia del volumen, sino que pueden hasta producir eflorescencia o corrosión del refuerzo (...) El agua que contenga menos de 2000 ppm*

*(partes por millón) como total de sólidos disueltos puede usarse en general satisfactoriamente para hacer concreto". (Portland, p.23)*

La norma mexicana NMX-C-122-ONNCCE indica cómo actúan algunos agentes que contiene el agua en el concreto al igual que su clasificación. Para realizar un ensaye y verificar que el agua cumpla con los requisitos para su uso en el concreto, se toma la muestra de agua, ya sea en obra o en laboratorio, como lo describe la norma mexicana NMX-C-277-ONNCCE; tomando la muestra en el lugar donde esté depositada, ya sea por tubería, depósitos, vehículos o fuentes naturales. El ensaye se realiza conforme a la norma mexicana NMX-C-283-ONNCCE, al verificar su pH, la presencia de su salinidad y otros agentes químico-biológicos.

### **1.3.- Cemento**

El cemento es el material conglomerante que está compuesto por arcillas crudas y calizas, que al calcinarse y dan como resultado el Clinker; este producto, combinado con yeso, forma el cemento portland; al tener contacto con el agua éste reacciona químicamente y forma la pasta cementante, la cual se endurece y adquiere resistencia.

*"Por la definición de cemento, se puede observar que está compuesto principalmente de materiales calcáreos; tales como caliza, y por alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla o pizarra. (...) El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente la materia prima, mezclarla minuciosamente en ciertas proporciones y calcinarla en un horno rotatorio de gran dimensión a una temperatura de aproximadamente 1400°C, donde el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas conocidas como Clinker. El Clinker se enfría y tritura hasta obtener un polvo fino, después se adiciona un poco de yeso y el producto comercial resultante es el cemento Portland que tanto se usa en todo el mundo". (Neville, tomo I, p.17).*

Este material es clave para el concreto, ya que define su resistencia y durabilidad, al diseñar un concreto se toma como referencia principal la relación agua/cemento, entre más baja sea esta relación, más resistente será el concreto.

De acuerdo con la norma mexicana NMX-C-414-ONNCCE, hay distintos tipos de cemento los cuales tienen una composición distinta:

- CPO - Cemento Portland ordinario
- CPP - Cemento Portland puzolánico
- CPEG - Cemento portland con escoria granulada de alto horno
- CPC - Cemento portland compuesto
- CPS - Cemento portland con humo de sílice
- CEG - Cemento de escoria granulada de alto horno.

Las características que puede tener el cemento son las siguientes:

- RS - Resistente a sulfatos
- BRA - Baja reactividad álcali-agregado
- BCH - Bajo calor de hidratación
- B - Blanco

#### **1.4.- Agregados pétreos**

Los agregados son partículas granulares obtenidos de bancos de materiales cuyo muestreo está estandarizado en la norma mexicana NMX-C-030-ONNCCE, y su calidad en la norma mexicana NMX-C-111-ONNCCE.

*“Todas las partículas de agregado proceden originalmente de una masa mayor. Es posible que dicha masa se haya fragmentado por procesos naturales, como el intemperismo o la abrasión, o que la fragmentación haya sido artificial, mediante trituración. Por lo tanto, muchas de las propiedades de los agregados dependen de las de la roca original, como son sus propiedades químicas, la composición mineral, la descripción petrográfica, la densidad, la dureza, la resistencia, la estabilidad física y química, la estructura del poro, el color, etc.*

*Por otra parte, hay propiedades que posee el agregado, pero que están ausentes en la roca original; la forma y el tamaño de la partícula, la textura superficial y la absorción”. (Neville, tomo I, p. 164)*

En pruebas de calidad, los agregados tienen distintos métodos de ensaye de acuerdo con su clasificación; a los agregados se les contempla el tamaño de sus partículas, su masa volumétrica y pueden tener un contenido de agua no aparente, es decir, que no está completamente seco al obtenerlo del banco, se hace el ensaye para determinar este contenido de humedad y capacidad de absorción. Se mencionará cada uno de los ensayos para los agregados pétreos finos y gruesos los cuales probaran la calidad que tienen para una mezcla de concreto.

*“La ASTM C294-69 (ratificada en 1975) proporciona descripciones de algunos de los minerales más importantes o más comunes en los agregados. Para poder reconocer las propiedades de los agregados es útil su clasificación mineralógica, pero ésta no proporcionará información básica para predecir su comportamiento en el concreto, (...). A continuación, se resume la clasificación de la ASTM:*

- *Minerales silíceos (cuarzo, ópalo, calcedonia, tridimita, cristobalita)*
- *Feldespatos*
- *Minerales de mica*
- *Minerales de carbonato*
- *Minerales de sulfato*
- *Minerales de sulfuro de hierro*
- *Minerales ferromagnésicos*
- *Zeolitas*
- *Óxidos de hierro*
- *Minerales arcillosos.”*

*(Neville, tomo I, p. 165)*

### **1.5.- Muestreo de agregados**

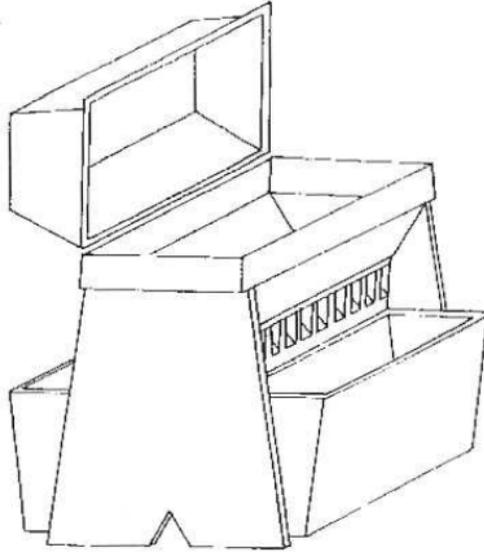
Los agregados pétreos se obtienen para su ensaye, de fuentes de abastecimiento como bancos de materiales, pozo a cielo abierto o producto de trituración, entre otras formas de obtener muestra del material (NMX-C-030-ONNCCE).

Del proceso de reducción se pueden obtener tres tipos de muestras.

- Muestra compuesta: Cantidad de material que comprende todas las muestras simples.
- Muestra parcial: cantidad de material cuya masa no debe ser menor de mil gramos, y que es obtenida de una muestra simple o compuesta.
- Muestra simple: La cantidad de material que se extrae de un solo sondeo o tamaño, de una sola vez de la fuente de abastecimiento.

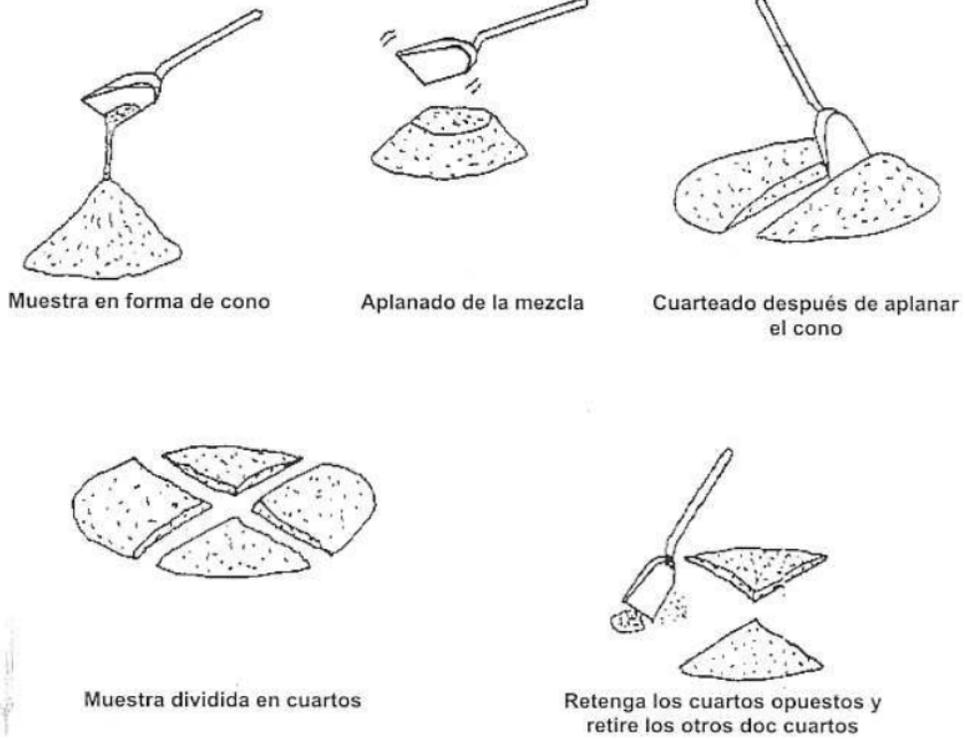
La reducción de una muestra es probada en laboratorio y conocer sus características, tomando la cantidad de un cuarteo para futuras pruebas. Esta reducción se puede realizar de 2 maneras:

Cuarteo mecánico, el cual es sencillo con el apoyo de un cuarteador de tolva, el cual los agregados caen por conductos divididos para realizar cuarteos de acuerdo con el tipo de agregado; es decir, una tolva para agregado grueso debe tener al menos 8 conductos y, la tolva para agregado fino tiene al menos 12 conductos (NMX-C-170-ONNCCE).



**Figura 1.5.1- Cuarteador mecánico. Fuente: NMX-C-170-ONNCCE (1997).**

Cuarteo manual, el cual se requiere de una pala o cucharón, carretilla y escoba; este cuarteo se realiza en una superficie plana y limpia, la cual se riega el material obtenido sin que se contamine, se uniformiza con la ayuda de una pala las veces necesarias para que el material esté bien mezclado con sus mismas partículas, y no de otras. Al finalizar esta uniformización se aplanan en material y se parte en cuartos, dividiendo bien el material y elegir 2 de los cuartos opuestos, los cuales serán retirados de la muestra; la mitad de la muestra principal será uniformizada nuevamente las veces necesarias, se aplanará y se dividirá en cuartos nuevamente, se eligen 2 cuartos opuestos y serán las muestras sobre las cuales se harán pruebas de calidad y condiciones físicas de los agregados, serán colocadas en charolas rectangulares de mayor capacidad y llevadas al horno para secar a una temperatura de 110°C (NMX-C-170-ONNCCE).



**Figura 1.5.2- Cuarteo manual. Fuente: NMX-C-170-ONNCCE (1997).**



**Imagen 1.5.1 y 1.5.2- Cuarteo manual de agregados gruesos y finos (fuente propia).**

## 1.6.- Granulometría

Esta prueba determina la distribución y tamaños de las partículas de los agregados que se pueden diferenciar a través de cribas respectivas de agregados gruesos y finos, la prueba de análisis granulométrico se indica en la norma mexicana NMX-C-077-ONNCCE, hace mención que el análisis debe hacerse armando las cribas y tomando la cantidad de muestra de acuerdo con el tamaño de agregado, agitando hasta que todas las partículas queden atrapadas en las cribas.

Las diferentes características de los agregados se deben de clasificar de acuerdo con su tamaño, si las partículas pasan de la malla n° 4 son considerados arenas, si no pasa de la malla n° 4, se consideran gravas. Para una mezcla de concreto la proporción entre tamaños afecta directamente a la calidad de la mezcla, si contiene material muy fino se vuelve un poco menos resistente, también si tiene material muy grueso se vuelve menos trabajable y más rígido. Se deben de tomar en cuenta para un diseño de mezcla de concreto el módulo de finura y el tamaño máximo de agregado.

*“El tamaño máximo que se usa en la realidad varía, pero en cualquier mezcla se incorporan partículas de diversos tamaños. La distribución de las partículas según su tamaño se llama granulometría”. (Neville, Tomo I, p. 163).*

La normativa indica un análisis granulométrico que se relaciona con el tamaño, marcando límites establecidos para agregado grueso y fino, de acuerdo con estos límites en masa y el porcentaje que pasa, se toma el orden de cribas a utilizar por tamaño del agregado. Para el agregado grueso tiene un listado más complejo de los límites establecidos de acuerdo con sus distintos tamaños de agregado, pero para el agregado fino se ha establecido límites sin importar su finura (NMX-C-111-ONNCCE).

Para la granulometría de ambos agregados se hace la comparación entre límites establecidos y los obtenidos; se sigue el procedimiento:

1. Se toma el peso de cada criba que se va a utilizar para el análisis granulométrico, se arman en orden, de cribas superiores a inferiores.
2. De la muestra obtenida por reducción de muestreo, se toma una cantidad de agregado indicada de acuerdo con su tamaño nominal, ya sea grueso y fino, las cribas se arman de acuerdo con el tamaño del agregado y se usa la agitación manual o mecánica; se hace esto el tiempo suficiente hasta que todas las partículas pasen o queden atrapadas en las cribas.
3. Se desarman las cribas, teniendo precaución de no perder material, se pesa cada criba con el material tomando en cuenta el peso de la criba, restándolo del peso de la criba y el material, el resultado es el peso del material.
4. De acuerdo con los pesos del material solo, la suma de la cantidad de material de las cribas debe ser similar al peso de la muestra original que ha entrado por las cribas antes de agitar.



***Imagen 3 y 4- Proceso de tamizado y pesaje de cada material que pasa por las cribas (fuente propia).***

### **1.7.- Masa volumétrica seca suelta y compactada**

El peso volumétrico es la masa del material por unidad de volumen, siendo el volumen el ocupado por el material en un recipiente especial para masa volumétrica, este material debe ser secado en horno previamente a 110 °C.

El volumen que es ocupado por los agregados pétreos y los vacíos que están entre las partículas y que es usado en un concreto de peso normal puede variar, ya que el contenido de vacíos afecta la demanda de mortero en el diseño de mezclas y la forma de la partícula afecta el contenido de vacíos.

*“Se determinan 2 masas de cada agregado, una masa volumétrica seca suelta, para lo cual se coloca el agregado en 3 capas sin compactación, y otra masa volumétrica compacta, colocando 3 capas compactadas con varillado y vibrado con mazo de goma” (NMX-C-073-ONNCCE).*

El procedimiento es el siguiente:

- **Masa volumétrica seca suelta.**

1. Se necesita un recipiente para masa volumétrica el cual se pesa y se le agregará 3 capas de agregado a una caída de 5 cm, sin compactar o vibrar, hasta llenar el recipiente por completo.
2. Al llenar el recipiente, se enrasa sin dejar huecos sobre la superficie, pesar el recipiente lleno y obtener la masa volumétrica restando el peso de recipiente lleno y el peso del recipiente obtenido al inicio del ensaye.
3. Dividir la masa obtenida entre el volumen del recipiente

- **Masa volumétrica seca compactada.**

1. El recipiente se llena a un tercio de la capacidad del recipiente, esto se hace a 3 capas a una caída del agregado de 5 cm.

2. Cada capa le corresponde 25 compactaciones con varilla, de esta forma sin triturar el agregado, las compactaciones se hacen en forma de espiral, se hace esto hasta llenar el recipiente.
3. Al estar lleno el recipiente, se enrasa el material sin dejar huecos sobre la superficie, cuando se enrasa el agregado fino se hace por corte horizontal, en el agregado grueso se puede hacer el enrase y además manejar el agregado visual y manualmente.



*Imagen 5 y 6- Masa volumétrica seca suela y compactada de agregado grueso y fino (fuente propia).*

### **1.8.- Peso específico y absorción de los agregados**

En este ensaye se determina una relación del peso del agregado absoluto igual de agua por inmersión o peso en SSS aparente, se usa en cálculos del diseño ya que los materiales pueden ser muy porosos y que presentan pesos específicos bajos absorbe agua y aumenta el volumen de este, la absorción se expresa como el % de peso seco y el índice de porosidad del material.

### ***Peso específico y absorción del agregado grueso***

Para determinar estos parámetros, se necesita someter en humedad a 24 horas; el agregado debe secarse de cualquier manera hasta llevarlo a la condición de saturado superficialmente seco, para obtener la medida del peso en SSS aparente con una balanza, un dispositivo para sujeción con agua para una canastilla de malla y calibrada junto con la balanza, la cual se sumergirá en agua sin tocar las paredes internas del dispositivo (NMX-C-164-ONNCCE).

Tomando al menos 4 muestras de cada agregado para obtener con la siguiente operación la densidad de la muestra en SSS.

$$M_{sss} = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sss \text{ aparente}}}$$

Donde:

- $M_{sss}$ : masa específica del agregado grueso en SSS (g/cm<sup>3</sup>)
- $W_{sss}$ : Peso del material en SSS en g
- $W_{sss \text{ aparente}}$ : Peso del material aparente en g.

El material se toma de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado, se seca al horno a una temperatura de 110°C por 24 horas, se obtiene el peso del material seco al igual que su densidad en seco.

$$M_{seco} = \frac{W_{seco}}{W_{sss} - W_{sss \text{ aparente}}}$$

Donde:

- $M_{seco}$ : masa específica seca del agregado grueso (g/cm<sup>3</sup>).
- $W_{seco}$ : peso del material seco en g.

Una vez que el material se ha secado, se determina el porcentaje de absorción del agregado grueso utilizando la siguiente ecuación.

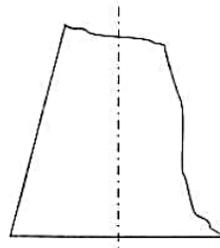
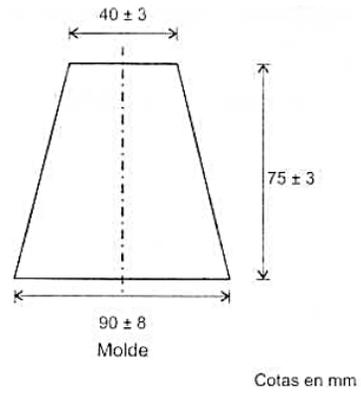
$$\%Absorción = \left( \frac{W_{sss} - W_{seco}}{W_{seco}} \right) \times 100$$

Donde:

- % Absorción: Porcentaje de absorción.
- $W_{sss}$ : Peso del material en SSS en g.
- $W_{seco}$  aparente: Peso del material aparente en g.

### ***Peso específico y absorción del agregado fino.***

Para determinar la densidad del agregado fino, la muestra se satura por 24 horas, el agregado se seca utilizando cualquier método hasta llevarlo al estado de saturado superficialmente seco. Para determinar que el material se encuentra en estado SSS, se necesita un molde especial de forma troncocónica sin fondo hecha de latón y aluminio, el cual cuenta con las dimensiones de 40 mm de diámetro superior, 90 mm de diámetro inferior, con una altura de 75 mm. Este molde se coloca sobre una superficie lisa y no absorbente, esto para rellenar el molde con tres capas de agregado fino en estado SSS. También necesita un pisón metálico para compactar 25 veces el material, serán 10 compactaciones para las dos primeras capas y la última de 3, en el caso de que no complete el molde, se rellena un poco más de material para completar la capa y se realizará las 2 últimas compactaciones; para determinar que el material se encuentra en el estado SSS, el molde se retira levantándolo verticalmente, si el material conserva la forma del molde, aún con cierto impacto, significa que el material aún contiene humedad; se deberá repetir el proceso de secado y el método con el molde hasta que el agregado fino se encuentre en su estado SSS (NMX-C-165-ONNCCE).



Muestra después de remover el molde

**Figura 3- Determinación del estado en SSS del agregado fino. Fuente: NMX-C-165-ONNCCE**

**(2004)**



**Imagen 7- Agregado fino después de retirar el molde para determinar el estado SSS (fuente propia).**

Para determinar la densidad se necesita un picnómetro, o en nuestro caso, un matraz aforado a una capacidad de 1 litro y medio para introducir agua hasta llenarlo en su punto de aforo, se debe considerar el peso del matraz con el agua, después se añade el agregado fino, lo siguiente será agregar el material al matraz con agua a llenarlo, una vez realizado esto, lo siguiente será eliminar cada burbuja de aire presente girando el matraz por al menos 15 minutos y se toma el peso de esta muestra junto con el peso del matraz y peso del agua. La densidad se determina con la siguiente formula:

$$M_{esss} = \frac{W_{sss}}{W_c + W_{sss} - W_e}$$

Donde:

- $W_{sss}$ : masa del agregado saturado superficialmente seco en g.
- $W_c$ : masa del matraz con agua en g.
- $W_e$ : masa del matraz, junto con la muestra y el agua en g.

Para determinar el porcentaje de absorción se toma una cantidad de muestra saturada, como la utilizada para determinar la densidad, se coloca en un recipiente y se pone a secar a una temperatura de 110 °C por 24 horas, se pesa la muestra seca y el recipiente y se determina el porcentaje de absorción.

$$\%Absorción = \left( \frac{W_{sss} - W_{seco}}{W_{seco}} \right) \times 100$$

Donde:

- % Absorción: Porcentaje de absorción.
- Wsss: Peso del material en SSS en g.
- Wsss aparente: Peso del material aparente en g.

### **1.9.- Pérdida por lavado**

Los agregados pueden contener materia orgánica y partículas finas que se pueden observar en un análisis granulométrico y que no forman necesariamente parte de este. La norma mexicana NMX-C-111-ONNCCE define la pérdida por lavado como el material obtenido del proceso de trituración y/o pulverización de rocas exentas de arcillas o pizarras y que pueden afectar en el comportamiento de la mezcla.

Por otra parte, los materiales más finos que pasan por la criba N° 200 y que se pueden identificar por medio de lavado ya que, al sumergir una muestra de agregado fino, los materiales quedan suspendidos y se separan por decantación (NMX-084-ONNCCE).

#### ***Material y equipo.***

- Agua
- Arena de muestra (Arena de río)
- Detergente (si es necesario)
- Criba de 1,18 mm (N° 16) y de 0.075 mm (N° 200)
- Recipientes
- Balanza
- Horno

### ***Procedimiento.***

1. Obtener una muestra de agregado mediante el proceso de cuarteo (NMX-C-077-ONNCCE) y secarla en un horno a  $110 \pm 10$  °C por  $24 \pm 4$  horas.
2. Pesar una parte de la muestra, el dato que se obtendrá es el peso del agregado junto con las partículas más finas que serán sometidas a lavado.
3. Colocar la muestra de agregado en un recipiente y se agrega agua hasta que la muestra este totalmente cubierta, de ser necesario se puede utilizar detergente para reducir el tiempo de lavado (siempre y cuando se reporte), se agita cuidadosamente de modo que las partículas queden suspendidas y sea fácil decantarlas y pasen por las cribas, las cuales se colocan de forma descendente, desde la criba N° 16 hasta la criba N° 200
4. A la muestra se le decanta el agua en la cual quedan suspendidas las partículas y posteriormente, se hace pasar por las cribas ya armadas, teniendo cuidado de que las partículas gruesas del agregado fino no pasen por las cribas.
5. Añadir nuevamente agua y agitando cuidadosamente y repetir este procedimiento varias veces hasta que el agua que pasa por las cribas se vea limpia y clara.
6. La muestra lavada se coloca en un recipiente, evitando la pérdida de partículas y se seca en un horno a una temperatura de  $110$  °C por 24 horas.
7. Pesar la muestra seca y determinar la masa y el porcentaje de material que se ha perdido por lavado (%).

## Capítulo II.- Diseño de mezcla de concreto

### 2.1.- Método ACI

Existen varios métodos para realizar un diseño de mezcla de concreto; uno de ellos es el método del documento ACI-211, el cual, mediante una serie de cálculos, hace un estimado de las cantidades de materiales a usar para la elaboración de una mezcla de concreto y para diferentes resistencias de diseño, respectivamente, para un concreto normal y/o de alta resistencia. Esta proporción puede hacerse de dos formas:

- Peso estimado del concreto por volumen unitario.
- Cálculo del volumen absoluto con los componentes del concreto.

Cabe señalar que este método es solo una recomendación para la determinación de un diseño de mezcla; se deben tener en cuenta las especificaciones propias de cada obra, relación agua/cemento, relación grava/arena; esto influye en el diseño final de una mezcla de concreto, tales como la consistencia y trabajabilidad de la mezcla, que puede derivar en el uso de aditivos, y una buena relación costo-beneficio.

*“Como la calidad depende principalmente de la relación agua/cemento, la calidad del agua debe reducirse al mínimo para reducir la cantidad de cemento necesario. Las etapas del procedimiento para disminuir al mínimo el agua y el cemento necesario incluye el uso de (1) la mezcla menos plástica que sea posible, (2) agregados del tamaño máximo posible, y (3) la relación óptima de agregados fino a agregados gruesos”. (Portland, p. 54)*

Todos los materiales componentes del concreto deben someterse a ensayos de laboratorio para obtener datos que son necesarios para realizar un diseño de mezcla, así como también nos permiten saber la calidad de dichos materiales.

Para realizar un diseño de mezcla de concreto por este método, se siguen una serie de pasos con el objetivo de calcular 1 m<sup>3</sup> de mezcla; para ello, se hace uso de tablas que indican factores que son necesarios al momento de estimar las cantidades por m<sup>3</sup> de cada material (ACI-211).

Los pasos son los siguientes:

1. Tomar en cuenta el tamaño máximo del agregado a usar y el revenimiento que se desea obtener.
2. Se determina la cantidad de agua, con la tabla 6.3.3 con los datos del inciso 1; también se determina si el concreto a diseñar será con o sin aire incluido, dependiendo del tipo de clima al que estará expuesto el concreto.

Revenimiento		Agua, kg/m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado indicados							
(cm)	(pulg)	9.5 mm (3/8)"*	12.5 mm (1/2)"*	19 mm (3/4)"*	25 mm (1")*	37.5 mm (1 1/2)"*	50 mm (2)"**	75 mm (3)"**	150 mm (6)"**
<b>Concreto sin aire incluido</b>									
2.5 a 5.0	1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, %		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incluido</b>									
2.5 a 5.0	1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10	3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 17.5	6 a 7	216	205	197	184	174	166	154	—
Contenido promedio <sup>8</sup> total de aire, para el nivel de exposición, %									
Exposición	Baja	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5**xx	1.0**xx
	Media	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5**xx	3.0**xx
	Extrema+++	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5**xx	4.0**xx

**Tabla 6.3.3.- (ACI 211.1) Requisitos aprox. Agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales recomendados**

3. Se determina la relación A/C con la tabla 6.3.2 con base en la resistencia de diseño.

Esfuerzo a compresión a 28 días, kgf/cm <sup>2</sup> *	Relación agua/cemento, por peso	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
420	0.41	—
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

\* Los valores son resistencias promedio estimadas para concreto que no tiene más del porcentaje de aire que se indica en la tabla 5.3.3. Para una relación agua/cemento constante se reduce la resistencia del concreto conforme se incrementa el contenido de aire.

La resistencia de basa en cilindros de 15x30 cm, curados con humedad a los 28 días a 23±1.7°C, de acuerdo a la norma ASTM C 31.

La relación supone un tamaño máximo de agregado de ¾" a 1"; para un banco dado, la resistencia producida por una relación agua/cemento dada se incrementará conforme se reduce el tamaño máximo de agregado.

**Tabla 6.3.2.- (ACI 211.1) Estimaciones recomendadas de la relación Agua/Cemento de cada mezcla.**

4. Se calcula la cantidad de cemento, haciendo un despeje de la relación A/C.
5. Se hace un estimado de la cantidad de agregado grueso, usando la tabla 6.3.6, tomando una relación entre el valor del volumen del agregado seco compactado obtenido por prueba de laboratorio y el valor del TMA.

Tamaño máximo nominal del agregado		Volumen de agregado grueso* varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura del agregado fino			
		2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 mm	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 mm	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
19 mm	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25 mm	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 mm	1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
50 mm	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
75 mm	3"	0.82	0.8	0.78	0.76
150 mm	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

\* Los volúmenes están basados en agregados en condiciones de peso volumétrico varillado seco, como se describe en la norma ASTM C 29. Estos volúmenes se han seleccionado a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado a la construcción reforzada común. Para concretos menos trabajables, como los requeridos en la construcción de pavimentos de concreto, pueden incrementarse en un 10% aproximadamente.

**Tabla 6.5.6.- (ACI 211.1) Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura.**

6. Se determina la cantidad de agregado fino mediante el uso de la expresión:

Para calcular teóricamente el peso del concreto fresco, se utiliza la siguiente ecuación:

$$U = 10Ga(100 - A) + CM \left( \frac{1 - Ga}{Gc} \right) - WM(Ga - 1)$$

Donde:

- U: Peso del concreto fresco por m<sup>3</sup>
- Ga: Promedio pesado del peso específico de la combinación de agregado fino y grueso, a granel en condición SSS.
- Gc: Peso específico del cemento
- A: Porcentaje del contenido de aire.
- WM: Requerimiento del agua de mezclado en kg/m<sup>3</sup>.
- CM: Requerimiento de cemento en kg/m<sup>3</sup>.

El estimado de contenido de arena se obtiene utilizando la siguiente operación:

$$\text{Agregado Fino} = W_{\text{concreto}} - (W_{\text{agua}} + W_{\text{cemento}} + W_{\text{agregado grueso}})$$

Donde:

- $W_{\text{concreto}}$ : Peso del concreto
- $W_{\text{agua}}$ : Peso del agua
- $W_{\text{cemento}}$ : Peso del cemento
- $W_{\text{agregado grueso}}$ : Peso del agregado grueso.

O bien, mediante el cálculo de los volúmenes absolutos para obtener 1 m<sup>3</sup> de mezcla, obteniendo así, el diseño base o SSS de la mezcla de concreto.

7. El diseño base se pone a prueba en el laboratorio, pesando una cantidad proporcional de los materiales para elaborar un cierto volumen de mezcla. Previamente, se hacen ajustes al diseño base por contenido de humedad y absorción de los agregados; el contenido de humedad se determina como la resta del peso de la muestra húmeda menos el peso de la muestra seca, entre el peso de la muestra seca.

## **2.2.- Elaboración de la mezcla de concreto**

El proceso de mezclado se puede hacer de 2 maneras para que sea elaborada conforme a los requisitos y condiciones en los que son exigidos, al igual depende de la función que va a cumplir ya que existe normativas para que la elaboración de la mezcla sea en laboratorio o en obra.

El mezclado puede ser mecánico o a mano, en este caso, se sigue esta misma norma para la elaboración del concreto de forma mecánica y en laboratorio; se realizarán las mezclas preliminares de concreto para hacer las pruebas correspondientes en estado fresco (NMX-C-159-ONNCCE).

### ***Preparación de revolvedora y materiales.***

Para la elaboración de la mezcla de concreto en laboratorio, la norma mexicana NMX-C-159-ONNCCE señala que se debe contar con una revolvedora con la capacidad suficiente para mezclar todos los materiales componentes de la mezcla.

Antes de agregar los materiales, se debe colocar una mezcla de mortero proporcional a la de diseño con la finalidad de que cubra las paredes internas de la revolvedora y poder compensar la pérdida de mezcla que queda adherida a las paredes. En este caso, solo se humedecieron las paredes internas del tambor y las espas con agua suficiente.

Posteriormente, se añaden los materiales conforme a la norma, es decir, primero se añade el agregado grueso y después el agregado fino, se mezclan en corto tiempo y se agrega el cemento, seguido del agua para iniciar la operación de la revolvedora.

### ***Tiempo de mezclado***

La norma indica periodos para el mezclado; esto es, se toma el primer tiempo de 3 minutos para añadir y mezclar todos los materiales; se detiene la revolvedora y se deja la mezcla en reposo por 3 minutos, tapando la boca de la revolvedora con un trapo húmedo para evitar la pérdida de humedad; finalmente, se reanuda el mezclado, durante 2 minutos.

### ***Obtención de la muestra***

Cuando el mezclado concluye, se debe tener preparado un recipiente húmedo y limpio que contenga toda la mezcla descargada, esto con la finalidad de evitar la segregación de esta, además, se debe remezclar usando pala o cucharón húmedos hasta que la mezcla tenga una apariencia uniforme.

## **Capítulo III.- Ensayes y control de calidad**

### **3.1.- Pruebas en estado fresco**

Una vez elaborada la mezcla de concreto, es conveniente realizar diversos ensayos con la finalidad de evaluarla y determinar si cumple con los requisitos para los que ha sido diseñada, tanto en estado fresco como en estado endurecido (NMX-C-159-ONNCCE).

Se indica distintos puntos a considerar en cuanto a los ensayos que se pueden realizar a la mezcla en estado fresco, tales como:

- Determinación de la consistencia de la mezcla
- Contenido de aire
- Rendimiento
- Tiempo de fraguado

### **3.2.- Revenimiento**

Para determinar la consistencia de la mezcla en estado fresco, también como conocido como ensaye de revenimiento, se requiere de un cilindro y cucharón especiales y estandarizados, placa de superficie no absorbente y varilla especial para compactación.

*“Se requiere un cono de forma troncocónica y hecho de un material rígido, de 30 cm de altura, 20 cm de diámetro en la base inferior y 10 cm en la parte superior, con tolerancia de  $\pm 3$  cm; el cilindro debe tener 2 estribos para apoyar los pies sobre la base y tener 2 asas para levantarlo. Adicionalmente se requiere de una placa rígida que esté totalmente recta y sin deformación alguna para realizar sobre ella el ensaye. Para poder compactar la mezcla dentro del cono, se necesita una varilla de acero con punta de sección circular recta y lisa con 16 mm de diámetro” (NMX-C-156-ONNCCE).*

### ***Procedimiento***

1. Se humedece todo el equipo a usar en el ensaye (cono, cucharón, placa y varilla de compactación).
2. Colocar el cono sobre la placa y apoyar los pies sobre los estribos firmemente sin moverse, el operador debe estar quieto hasta finalizar el llenado del molde.
3. El cono debe llenarse de concreto en 3 capas aproximadamente del mismo volumen, cada capa de concreto debe ser compactada con la varilla, realizando 25 penetraciones uniformemente distribuidas en forma de espiral.
4. Se llena la primera capa aproximadamente a 7 cm de altura y se compacta como se menciona en el inciso 3; se llena la segunda capa aproximadamente a 15 cm de la altura del cono y se compacta, verificando que la varilla penetre 2 cm aproximadamente en la capa anterior; por último, se llena la tercer capa hasta el borde del cono y se compacta, nuevamente, verificando que la varilla penetre 2 cm en la capa anterior; si esta tercer capa se asienta, se detiene el varillado, se vuelve a llenar el cono hasta el borde y se reanuda el varillado hasta completar las 25 penetraciones. La norma recomienda inclinar un poco la varilla al momento de compactar cada capa para distribuir la mezcla uniformemente.
5. Al finalizar la compactación se enrasa el excedente de concreto con la varilla en forma de rodamiento; luego, se sujeta el cono por las asas fuertemente sin mover el molde, se retiran los pies de los estribos y se limpia el concreto que rodea el cono que se ha derramado por la compactación.
6. Se levanta el cono de forma vertical en un tiempo de  $5 \pm 2$  segundos, con la precaución de no hacer movimientos laterales.

7. Se mide el revenimiento colocando el cono al revés sobre la placa a un costado de la mezcla, se coloca la varilla sobre el cono y se mide el revenimiento desde el centro de la tercera capa a la parte inferior de la varilla.
8. Todo el procedimiento antes descrito debe realizarse en un tiempo de 2.5 minutos. Si al momento de medir el revenimiento, la mezcla se desliza o cae de lado, se repite el procedimiento; si cae de lado hasta 2 veces, significa que el concreto no tiene la cohesión esperada y no aplica.



*Imagen 8- Prueba de revenimiento (fuente propia).*

### **3.3.- Masa unitaria del concreto**

Para determinar la cantidad de mezcla que se ha obtenido por metro cúbico, se sigue el procedimiento que se indica en la norma mexicana NMX-C-162-ONNCCE.

#### ***Factor de recipiente***

La norma indica que se puede usar este factor hasta por un año; para determinarlo, se necesita medir la temperatura del agua contenida en el recipiente para obtener su masa en kilogramos por metro cubico.

Para obtener el factor de recipiente, se pesa el recipiente vacío, paso seguido, se coloca grasa gruesa en los bordes del recipiente y se vuelve a pesar; luego, se llena el recipiente con agua hasta el tope, se coloca una placa de vidrio sobre el recipiente, quitando el exceso de agua y las burbujas en especial, si aún hay presencia de burbujas por falta de agua se puede rellenar con pipeta o piseta; una vez que el recipiente está lleno de agua y sin burbuja alguna, se vuelve a pesar (NMX-C-162-ONNCCE).

El factor del recipiente se obtiene mediante la división de la masa volumétrica del agua entre la masa de la muestra que se necesita para llenar el recipiente, expresado de la siguiente forma:

$$F = \frac{Mv}{Mm}$$

Donde:

- F= Factor de recipiente en 1/m<sup>3</sup>
- Mv= Masa volumétrica del agua en kg/m<sup>3</sup>
- Mm= Masa de la muestra de agua que se necesita para llenarlo

Como dato, este factor puede ser útil para todas las pruebas de masa/peso volumétrico, siempre y cuando se utilice el mismo recipiente.

***Procedimiento de la prueba de masa unitaria (NMX-C-162-ONNCCE).***

El procedimiento de ensaye para la determinación de la masa unitaria es:

- El recipiente se pesa vacío, luego se humedece todo el equipo a usarse en el ensaye (recipiente, varilla de compactación y enrasador).

- Se llena el recipiente con mezcla de concreto en 3 capas aproximadamente del mismo volumen; cada capa se compacta realizando 25 penetraciones y dando de 12 a 16 golpes con mazo de goma distribuidos alrededor de la capa que se está compactando.
- Una alternativa de vibrado consiste en realizar un vibrado externo a cada capa en una mesa vibradora, en cada 3 o 2 capas, dependiendo de la consistencia de la mezcla, teniendo cuidado de que esta vibración no sea muy duradera ya que puede causar segregación en la mezcla.
- Terminado el vibrado, el recipiente se enrasa y se limpia de los excesos de mezcla que se enrasaron para que no cuente como parte de la masa de la muestra de concreto.
- Se pesa el recipiente con la muestra de concreto y se toma el dato para hacer el cálculo de masa unitaria, el cual se realiza de la siguiente manera:

$$Mu = (Mb - Mr) * F$$

Donde:

- $Mu$ =Masa por metro cúbico de concreto (masa unitaria) en  $kg/m^3$
- $Mb$ =Masa de concreto + masa de recipiente (masa bruta) en kg
- $Mr$ =Masa de recipiente en kg
- $F$ = Factor de recipiente en  $1/m^3$

### 3.4.- Rendimiento

El rendimiento se refiere a la cantidad de concreto obtenida en una revoltura, para su determinación, se toma la masa de cada uno de ellos y se suman para obtener la masa total de materiales para una revoltura (NMX-C-162-ONNCCE); este dato se divide entre la masa unitaria del concreto, obteniendo así el rendimiento en  $m^3$ :

$$R = \frac{M1}{Mu}$$

Donde:

- R= Rendimiento (volumen real de concreto obtenido en 1 mezcla) en m<sup>3</sup>.
- M1= Masa total de todos los materiales usados en 1 mezcla en kg.
- Mu= Masa unitaria en kg/m<sup>3</sup>.

Otro factor que se considera es el rendimiento relativo, el cual se obtiene dividiendo el rendimiento de la mezcla sobre el volumen de concreto teórico descrito en el diseño, en m<sup>3</sup>:

$$Rr = \frac{R}{Vt}$$

Donde:

- Rr= Rendimiento relativo en m<sup>3</sup>
- R= Rendimiento (volumen real de concreto obtenido en 1 mezcla) en m<sup>3</sup>.
- Vt= Volumen teórico de concreto que produce 1 mezcla en m<sup>3</sup>

Otro parámetro por calcular es el contenido real de cemento en kg/m<sup>3</sup>, el cual se obtiene dividiendo la masa del cemento para una revoltura sobre el rendimiento.

$$Cc = \frac{Mc}{R}$$

Donde:

- Cc= Contenido de cemento en kg/m<sup>3</sup>
- Mc= Masa del cemento en kg
- R= Rendimiento (volumen real de concreto obtenido en 1 mezcla) en m<sup>3</sup>.

### **3.5.- Contenido de aire**

En esta prueba se determina la cantidad de aire atrapado en el concreto; existen 3 métodos para su determinación: método de presión (NMX-C-157-ONNCCE), método volumétrico (NMX-C-158-ONNCCE) y el método gravimétrico (NMX-C-162-ONNCCE).

#### **3.5.1.- Método de presión**

Con este método, se puede ensayar cualquier tipo de concreto y/o mortero con agregados de masa específica mayor que  $2100 \text{ kg/m}^3$ , pero no concretos con agregados de alta porosidad y con alto contenido de aire.

Para determinar el contenido de aire por método a presión se emplean 2 tipos distintos de medidores, pero que son iguales de eficientes, existe el medidor tipo A, y el medidor tipo B; el medidor tipo A consiste en la reducción del volumen de aire aplicando presión mientras se observa una baja de nivel del agua aplicada, el cual incluye el recipiente metálico, un tubo de vidrio graduado, tapa cónica con superficie inclinada, manómetro, dispositivo de sujeción y el indicador. El medidor tipo B consiste en una olla metálica, tapa selladora con válvulas de aplicación de agua y otra de escape, manómetro y bomba inyectora de aire (NMX-C-157-ONNCCE).

Para este caso nosotros usamos más comúnmente el medidor tipo B, el cual es el siguiente:

1. Con la mezcla de concreto fresco ya preparado, se procede a humedecer primero el medidor completo, eso incluye la olla, la tapa, cucharón, varilla de compactación y enrasador.
2. Se llena el recipiente en 3 capas diferentes, a cada capa le corresponde sus respectivas 25 compactaciones, después de compactar, a cada capa se le dan de 3 a 4 golpes a cada lado con un mazo de goma, siguiendo el rango de 10 a 16 golpes por muestra total; se da una

primera capa con sus respectivas 25 compactaciones y golpes con mazo de goma, seguido de la segunda capa con el mismo procedimiento hasta finalizar la tercera capa.

3. En el caso de la tercera y última capa ya compactada, esta se enrasa hasta que quede firme; al terminar se limpia todo el excedente del material que quede en la olla, sobre todo en el borde del recipiente donde se colocará la tapa para sellar.
4. Se cierra la olla asegurándose de evitar fugas; ya sellada herméticamente, se cierra la válvula de aire y se abre la válvula purgadora de agua para dar paso a inyectar agua con una pipeta o piseta, se recuerda que este paso de purga de agua tiene 2 válvulas, una de agua y otra de escape; al momento de inyectar el agua por la primera válvula, sale por la segunda, es ahí donde se deja de inyectar agua y se golpea suavemente hasta sacar todo el aire que aún contiene.
5. Se cierran las válvulas y se bombea aire hasta que en el manómetro indica una posición inicial de presión, se recomienda dejar que enfríe un poco para estabilizar la presión por bombeo, también es recomendable dar pequeños golpes al medidor o base del manómetro para estabilizar y asegurar la medida.
6. Cuando están todas las válvulas cerradas, solo se abre la válvula principal de aire y en el manómetro marca una lectura, también es necesario dar pequeños golpes por los lados para dar presiones internas y que la lectura sea más exacta, se espera a que se estabilice se toma la lectura con una precisión de 0.1%.
7. Ya tomada la lectura se procede a terminar la prueba, empezando por liberar la presión abriendo las 2 válvulas (de agua y escape) antes de poder abrir el medidor, limpiar el recipiente y tapa.

### 3.5.2.- Método gravimétrico

Se refiere al cálculo del contenido de aire por método gravimétrico; para efectuar este cálculo, son necesarios los datos de la masa unitaria y el rendimiento, los cuales se explican en párrafos anteriores. El contenido de aire se puede calcular a través de las masas teóricas de materiales y de la masa unitaria, o bien, con los volúmenes de la mezcla en una revoltura y de los materiales usados para hacer dicha mezcla (NMX-C-162-ONNCCE); ambas formas son válidas y se expresan de la siguiente forma:

$$A = \left( \frac{Mt - Mu}{Mt} \right) * 100$$

Donde.

- A= Contenido de aire en %.
- Mt= Masa teórica del concreto considerado libre de aire, en kg/m<sup>3</sup>.
- Mu= Masa unitaria en kg/m<sup>3</sup>.

O bien:

$$A = \left( \frac{R - Va}{R} \right) * 100$$

- R= Rendimiento (volumen real de concreto obtenido en 1 mezcla) en m<sup>3</sup>.
- Va= Volumen total absoluto de ingredientes que componen 1 mezcla, en m<sup>3</sup>.

En caso de usar el cálculo por masas, se determina la masa teórica por m<sup>3</sup>, cuyo valor es constante para todas las revolturas que usan los mismos ingredientes y se expresa de la siguiente manera:

$$Mt = \frac{P1}{Va}$$

Donde:

- $M_t$ = Masa teórica del concreto considerado libre de aire, en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .
- $P_1$ = Masa total de todos los materiales incluidos en 1 mezcla, en kg.
- $V_a$ = Volumen total absoluto de ingredientes que componen 1 mezcla, en  $\text{m}^3$ .

### **3.6.- Especímenes de concreto**

Para la elaboración de especímenes, la norma mexicana NMX-C-159-ONNCCE señala los tipos de moldes en los cuales se pueden hacer especímenes de concreto, dependiendo del ensaye al que vayan a ser sometidos.

#### ***Moldes para especímenes***

Se pueden elaborar especímenes en 3 formas distintas:

- Cilíndricos
- Prismáticos
- De otra forma

*“Los especímenes cilíndricos son especialmente usados para pruebas de resistencia a compresión, módulo de elasticidad, flujo plástico y compresión diametral; la misma norma indica que sus respectivas dimensiones, tanto en prueba de laboratorio como en obra, son de 5x10 cm y 15x30 cm. Los especímenes prismáticos pueden ser vigas, cubos o barras; las vigas son para pruebas de flexión, los cubos son para pruebas a compresión, mientras que las barras son para pruebas de congelación-deshielo, cambio de volumen, etc. Sobre las pruebas de estos especímenes, es simplemente dependiendo de a que prueba será sometida, si es distinta o si es a para otros casos de investigación, estos especímenes deben cumplir en cuanto a dimensiones y posición de acuerdo a la prueba. Los especímenes elaborados de otra forma pueden ser hechos para distintos tipos de pruebas especiales en el concreto, siguiendo sus parámetros propios de acuerdo con la prueba” (NMX-C-159-ONNCCE).*

## ***Elaboración***

Para la elaboración de especímenes, es cuestión del operador cuantos va a necesitar para la realización de ensayos en estado endurecido, refiriéndose a la edad del concreto, se podrá necesitar de 2 a 3 especímenes de concreto para ensayar a cada edad. La elaboración del espécimen depende del tipo de molde a usarse; en este caso, se utilizaron los moldes para elaborar especímenes de 15 cm de diámetro por 30 cm de longitud (NMX-C-159-ONNCCE).

Para la elaboración de los especímenes de concreto de 15x30, el procedimiento es el siguiente:

1. Se debe aplicar un desmoldante (puede ser aceite) en las paredes internas del molde para que la extracción de espécimen sea sencilla y sin que sufra daños.
2. Se llena el molde en 3 capas del mismo volumen, aproximadamente.
3. Cada capa se compacta realizando 25 penetraciones con la varilla uniformemente repartidas y dando de 12 a 16 golpes con un mazo de goma en el exterior de la capa que se está compactando; para moldes de diferente volumen, las compactaciones son distintas y están señaladas en la norma NMX-C-159-ONNCCE.
4. De ser posible, se puede realizar la compactación con un vibrado externo durante un tiempo suficiente, con la finalidad de evitar la segregación de la mezcla.
5. Terminado el vibrado, los moldes se engrasan y se dejan reposar 24 ±horas.
6. Los cilindros son descimbrados, retirando cuidadosamente el molde; la norma indica que no deben descimbrarse antes de 20 horas ni después de 48 horas.
7. Los cilindros de concreto se les asigna una nomenclatura para identificarlos y son llevados al curado.

### ***Curado***

En el proceso de curado, la norma indica que para cada tipo de espécimen o muestras de concreto se dejan en curado un cierto tiempo, a una cierta temperatura y humedad. Puede tener distintos métodos de curado, refiriéndonos a los cilindros de concreto de 15x30 cm, estos tienen un ambiente de curado de  $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa de 100%; se debe tener cuidado de no dejar los cilindros sobre una caída directa de agua ni estar en una corriente de agua.

El curado es válido si los cilindros se sumergen en una solución de agua saturada con cal, o en este caso, el uso de un cuarto húmedo que cumpla con los parámetros y factores que pide la norma mexicana NMX-C-148-ONNCCE, que se refiere a cuartos húmedos, gabinetes y tanques de almacenaje de pruebas de concreto.

### ***Edad de prueba***

La norma NMX-159-ONNCCE menciona que se tiene una edad de ensaye de acuerdo con el tipo de prueba que se va a realizar; las edades más comunes para pruebas a compresión son de 7 a 28 días de haberse elaborado los especímenes, para una prueba a flexión se tiene de 14 a 28 días después de haberse elaborado los especímenes, en pruebas de compresión y flexión se hace de 3 hasta 12 meses.

Esto se hace porque se sabe que la resistencia de un cilindro de concreto va incrementándose con el paso del tiempo, considerando como la resistencia de diseño que se obtiene a 28 días; posterior a esta edad, el concreto sigue desarrollando resistencia, pero el incremento es poco significativo.

### **3.7.- Pruebas de concreto en estado endurecido**

Cuando se obtienen los especímenes de concreto, se hace una evaluación para afirmar que tan certeros fueron los cálculos del diseño para la resistencia especificada ( $f_c$  de diseño).

La evaluación de estos especímenes requiere de varios ensayos que dependen del parámetro que se deseé evaluar. Las pruebas para el concreto endurecido se llevan a cabo siguiendo la normativa correspondiente, se puede determinar la resistencia a compresión, resistencia a la tensión, congelación, permeabilidad, entre otros; a continuación, se hará mención de algunas de las pruebas.

### **3.8.- Pruebas no destructivas**

En este tipo de pruebas en un concreto en estado endurecido, es de vital importancia saber la calidad de este para futuras obras, es decir, se hace una especie de diagnóstico al concreto con el objetivo de averiguar y saber que tan efectivo han salido nuestros resultados ya ejecutados. Para esto se le hacen pruebas al concreto para evaluación de calidad, que pueden ser destructivas y no destructivas

En este caso, se hace referencia a las pruebas o ensayos no destructivos para evaluación del concreto en estado endurecido, las cuales no afectarán al espécimen de prueba en absoluto. En el informe del ACI 228.2, que se refiere principalmente a las pruebas no destructivas (Nondestructive test, o NTD) indica que se hacen estas pruebas en el concreto por 4 razones principales:

- Control de calidad
- Resolución de problemas en construcciones nuevas
- Hacer una evaluación del concreto más antiguo para rehabilitación
- Garantía de calidad en reparación del concreto.

En este tipo de evaluación no destructivo da algunos ejemplos de tipos de ensayos no destructivos y con qué finalidad se hacen estos ensayos, son los siguientes:

- Inspección visual
- Índice de rebote
- Velocidad de pulso ultrasónico
- Eco ultrasónico
- Eco de impacto
- Análisis espectral de ondas superficiales
- Eco sónico
- Respuesta impulsiva
- Taladro sónico de perforación
- Prueba paralela-sísmica
- Radiografía
- Radar
- Radiometría de retrodispersión...etc.

En este trabajo, se han utilizado 2 métodos de ensaye no destructivo para determinar el estado del concreto y que para este mismo son pruebas inofensivas que no afectarán estructuralmente en obra, tampoco causarán daño alguno a los especímenes de ensaye; cabe mencionar que en estas pruebas los resultados no son exactos al 100%, pero en su mayoría son datos aceptables y que toman en cuenta su estado de acuerdo con distintas clasificaciones y reportes.

### **3.8.1.- Prueba de índice de rebote (Esclerómetro)**

El ensaye con esclerómetro se realiza conforme a lo indicado en la norma mexicana NMX-C-192-ONNCCE, al igual que la norma ASTM C805; es aplicable para evaluar la uniformidad in situ del concreto, para poder ubicar zonas donde el concreto es de aceptable o mala calidad y estimar el desarrollo de resistencia, haciendo una relación entre resistencia y un numero de rebote dado.

Para un espécimen dado, el índice de rebote se ve afectado por factores relacionados con su fabricación, como puede ser el contenido de humedad de la superficie de prueba, acabado del concreto y profundidad de carbonatación. Es importante mencionar que esta prueba no tiene como objetivo ser base para aceptación o rechazo del concreto si hay incertidumbre inherente a la resistencia de diseño.

El material que se requiere para esta prueba es el siguiente:

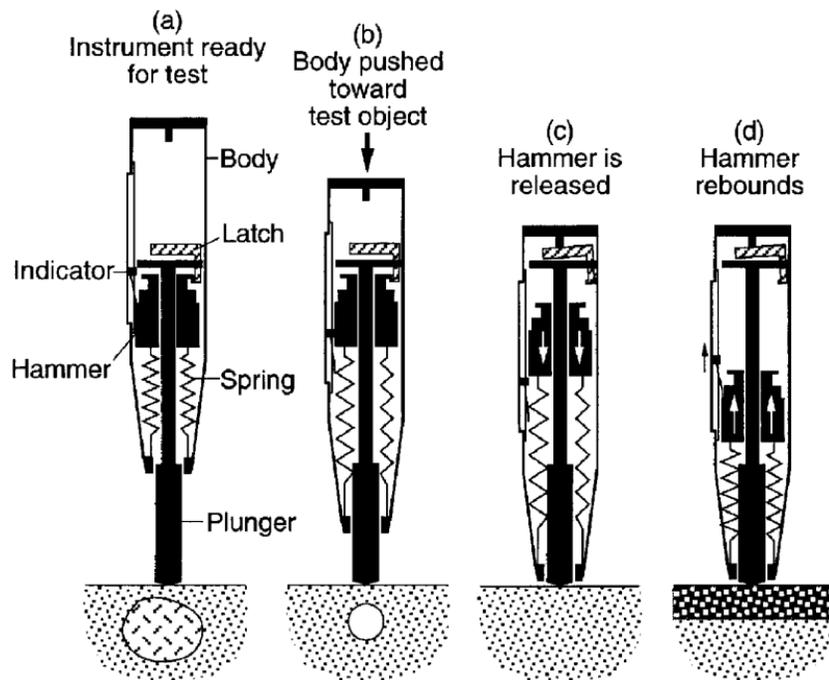
- Esclerómetro. - aparato calibrado que consiste en una barra de precisión accionada por un resorte que cuando se libera, golpea un embolo de acero en contacto con la superficie del concreto; este golpe viaja a una velocidad constante. Cada aparato tiene su propia curva de calibración propuesta por el fabricante, por lo que cada esclerómetro es diferente.
- Piedra abrasiva. - carburo de silicio de textura áspera y que sirve para pulir la superficie de prueba.
- Yunque de prueba. - instrumento utilizado para calibración del esclerómetro.

(ACI 228.1R).

El ensaye se realiza de la siguiente forma:

1. Seleccionar un área de ensaye no menor de 150 mm de diámetro y 100 mm de espesor, esto con la finalidad de evitar lecturas erróneas, además, la toma de lecturas obedece a la geometría del elemento a ensayar.
2. El espécimen se prepara antes del ensaye. La superficie para ensayar se pule para eliminar cualquier material que no sea parte del concreto, como pintura o polvo, así como para quitar las irregularidades del espécimen. Para este caso, se pulieron las caras planas del cilindro.
3. El espécimen preparado se fija firmemente, de forma vertical u horizontal para efectuar el ensaye; el espécimen no debe estar apoyado o recargado sobre un mueble, piso, repisa o pared, ya que el espécimen no queda fijo y se puede tomar lecturas erróneas tomando en cuenta el elemento sobre el que está recargado.
4. Se marcan en que zonas de la superficie a evaluar se darán los impactos del esclerómetro; hay que recordar que las lecturas se toman de acuerdo con el área del espécimen; la distancia entre impactos debe ser entre 25 mm y 50 mm, y la distancia entre el punto de impacto y los bordes del espécimen debe ser de 50 mm o mayor.
5. El esclerómetro tiene una escala o indicador y un botón pulsador para fijar la lectura; el esclerómetro se coloca en forma perpendicular sobre la superficie a evaluar, al estar en contacto la barra de precisión con la superficie a evaluar del espécimen, se empuja hacia adelante generando presión para que el émbolo se libere al alcanzar su máxima extensión; la masa interna golpea el martillo en contacto con la superficie; cuando sea el momento del impacto sobre la superficie, el esclerómetro da una lectura marcada en su indicador o escala, se presiona el botón pulsador para mantener fija esa lectura y no perderla al momento de retirar el esclerómetro.

6. Se toma la lectura y se repite el paso 5, tomando lecturas nuevas en los puntos restantes marcados previamente, se debe tomar un mínimo de 5 lecturas; en este caso, se tomaron 5 lecturas en cada cara del espécimen cilíndrico.
7. Se hace un promedio de todos los números de rebote obtenidos; la norma señala que, si más de 3 lecturas difieren del promedio en 6 o más unidades, se desecha la prueba; por otra parte, la norma ASTM C805 indica que, si más de 2 lecturas difieren del promedio de lecturas en más de 6 unidades, se desecha todo el conjunto y se vuelve a tomar otras lecturas en otras nuevas zonas de la misma superficie.



**Figura 4- Esquema del funcionamiento del esclerómetro. Fuente: ACI 228.1R (1995),**



*Imagen 9 y 10- preparación de la superficie y aplicación del esclerómetro (fuente propia).*

### **3.8.2.- Velocidad de pulso ultrasónico.**

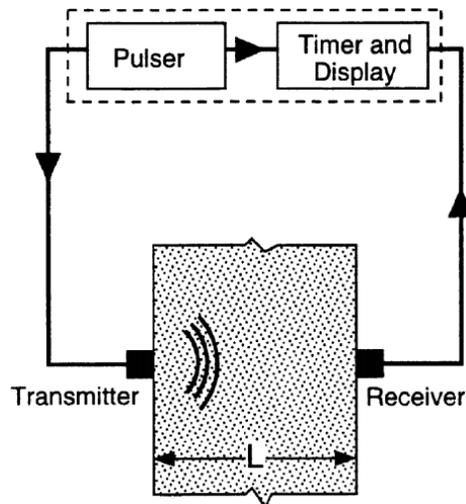
El ensaye de velocidad de pulso ultrasónico consiste en la determinación de la velocidad de propagación de pulsos de onda de esfuerzo longitudinal o energía vibratoria a través de un espécimen de concreto; como lo indica la norma ASTM C597, este método no aplica a la propagación de otros tipos de onda de tensión a través del concreto.

El aparato generador y transmisor de pulsos tiene 2 transductores, uno emisor y otro receptor; el transductor emisor envía señales de pulso que atraviesan el concreto, los impulsos se reciben y se convierten en energía eléctrica mediante transductor receptor situado a una cierta distancia del transductor transmisor. El tiempo de tránsito se mide electrónicamente en microsegundos.



**Imagen 11- Aparato generador de pulso ultrasónico (fuente propia).**

*“La selección de frecuencia de las vibraciones ultrasónicas se rige, por una frecuencia, por el hecho de que mientras más elevada es la frecuencia, menor es la dirección en la dirección a lo largo de la cual se mueven las ondas y, por lo tanto, más elevada es la energía recibida; por otra parte, mientras más elevada es la frecuencia, mayor atenuación de energía. Generalmente se emplean transductores con frecuencias naturales entre 20 kHz y 200 kHz, siendo más común el extremo inferior de la escala” (Neville, Tomo III, p. 195).*



**Figura 5- Esquema de la transmisión directa del pulso ultrasónico. Fuente: ACI 228.1R (1998).**

En este ensaye se determina la uniformidad y la calidad del concreto, al igual que puede determinar la presencia de huecos de aire o grietas en el interior del espécimen, así mismo también funciona para verificar algunos cambios en las propiedades del concreto; este tipo de evaluaciones se hacen para el concreto de tipo estructural, teniendo presente la calidad en cuanto a la presencia de grietas y deterioro de este (ACI 228.1R).

El grado de saturación del concreto afecta la velocidad del pulso, y este factor debe ser considerado al evaluar los resultados de la prueba; Existen 3 formas en las que se puede realizar el ensaye:

- Transmisión directa. - es la más recomendable, ya que los transductores se colocan en forma opuesta uno del otro.
- Transmisión semidirecta. - Los transductores son colocados entre esquinas con débil señal de pulso.
- Transmisión indirecta. - es la menos recomendable ya que la conexión entre emisor y receptor es casi baja y no hay relación entre propagación de la onda, ya que los transductores son colocados uno a lado del otro sobre la misma superficie.

La norma ASTM C597 indica que la precisión de la medición depende de la capacidad del operador para determinar con precisión la distancia entre los transductores y el equipo para medir con precisión el tiempo de tránsito del impulso, ya que al calibrarse el equipo se ajusta al acoplamiento y presión que ejerce el operador, por eso mismo este tendrá que realizar las pruebas de pulso teniendo en mente la presión a la que fue calibrado el equipo. La intensidad de la señal recibida y el tiempo de tránsito medido se ven afectados por el acoplamiento de los transductores a las superficies de hormigón; por ello, se debe aplicar un agente de acoplamiento que sea viscoso entre la superficie y los transductores, ejerciendo presión firme para garantizar tiempos de tránsito estables; el agente de acoplamiento puede ser grasa.

El procedimiento de ensaye es el siguiente:

1. Se pulen las superficies a ser ensayadas con una piedra abrasiva, hasta dejarlas lisas.
2. Se prepara el equipo generador de pulso, conectando los transductores emisor y receptor, se enciende el equipo y se calibra con una barra de referencia, poniendo un poco de grasa en ella y en los transductores. Se colocan ambos transductores sobre la barra calibradora haciendo transmisión directa, el operador debe ajustar el equipo de acuerdo con la presión que está ejerciendo al aplicar los transductores.
3. Con el equipo calibrado y con las superficies a ensayar preparadas, se coloca grasa suficiente en las superficies del espécimen para después, colocar los transductores, tratando de mantenerlos alineados en todo momento.
4. Al colocar los transductores al espécimen, se recomienda tomar una lectura directa, es decir, un transductor es colocado de manera opuesta al otro encarándose sobre el espécimen. El equipo da una lectura del tiempo que tarda en llegar el pulso del emisor al receptor en microsegundos ( $\mu$ ), se toma esa lectura del tiempo; para cada espécimen que ha seguido el mismo diseño, colado y curado, los tiempos de transito deben ser similares, pero en ocasiones por variaciones en cuanto a compactación y TMA, las lecturas pueden ser diferentes.
5. Para determinar su velocidad de pulso ultrasónico, se utiliza la fórmula para cálculo de velocidad ( $V=Distancia/Tiempo$ ), pasamos los microsegundos a segundos y se hace un cálculo promedio de cada espécimen del mismo diseño y colado.



*Imagen 12- Transmisión directa de un espécimen de concreto para determinar la velocidad de pulso (fuente propia).*

<b>Velocidad longitudinal del pulso km/s</b>	<b>Calidad del concreto</b>
4.5	Excelente
3.5 - 4.5	Buena
3.0 - 3.5	Dudosa
2.0 - 3.0	Deficiente
2.0	Muy deficiente

*Tabla 1.- Clasificación de la calidad del concreto con base en la velocidad de pulso<sup>8.50</sup>.*

*Fuente: Neville Tomo II p. 196*

### **3.9.- Pruebas destructivas del concreto**

En estas pruebas, una vez realizadas, no se puede volver a utilizar el espécimen, estas pruebas son más utilizadas para concreto estructural. Se manejan este tipo de procedimientos en pruebas testigo para hacer la determinación más certera de la calidad del concreto (ACI 318S-05).

Estas pruebas pueden generar alto impacto en las estructuras de concreto ya que puede causar debilitamiento de estas, si son sometidas a una extracción de muestras para prueba en estado endurecido; al utilizar muestras testigo, se hace la misma prueba sin tener que hacer una extracción. En estas pruebas es importante determinar qué calidad tiene el concreto en resistencia a compresión, flexión, torsión, tensión, cortante, agentes químicos, etc.

#### **3.9.1.- Resistencia a compresión**

De acuerdo con la norma mexicana NMX-C-083-ONNCCE, se debe determinar la resistencia a compresión de acuerdo con la edad y parámetros de diseño de los cilindros en prueba. A la edad de ensaye, los especímenes de ensaye se preparan de la siguiente manera:

- Obtención de las dimensiones y peso de los especímenes.
- Cabeceo de los especímenes.
- Ensaye en maquina universal.

Además de observar cual es la respuesta del concreto sometido a una fuerza aplicada, como el tipo de falla y carga máxima, se toma en consideración algunos puntos que se relacionan con la composición del concreto, como puede ser, factores que afecta la porosidad de los ingredientes de un concreto.

“Desde el punto de vista de la resistencia, la relación entre la relación agua/cemento y la porosidad es indudablemente el factor más importante, porque independientemente de otros factores afecta la porosidad de ambos, la matriz de la pasta de cemento y de la zona de transición entre la matriz y el agregado grueso. (...) Aunque la respuesta real del concreto al esfuerzo aplicado es un resultado de complejas interacciones entre varios factores, para simplificar y entender estos factores, se los analiza separadamente bajo tres categorías: (1) Características y proporciones de los materiales, (2) Condiciones de curado y (3) Parámetros de prueba”. (Mehta, Monteiro, pp. 35 y 36).

### **Dimensiones y peso de cilindros**

Para tomar en cuenta el estado de nuestro cilindro, es importante saber su peso y sus dimensiones; la norma menciona que se toman 2 lecturas perpendiculares entre si al eje longitudinal del cilindro y 2 lecturas de alturas opuestas; en este caso se tomaron 3 medidas de diámetros y 3 medidas de alturas.

El promedio de alturas es menor a 1.8 veces su diámetro, se le hace la corrección por esbeltez la cual da una tabla de factores de corrección, en caso de que el valor no se encuentre entre los señalados, se realiza un cálculo por interpolación (NMX-C-083-ONNCCE).

<b>Relación altura-diámetro del espécimen (x)</b>	<b>Factor de corrección a la resistencia (y)</b>
2,00	1,00
1,75	0,99
1,50	0,97
1,25	0,94
1,00	0,91

**Tabla 2- Factor de corrección por esbeltez. Fuente: NMX-C-083-ONNCCE (2004).**

### ***Cabeceo***

Las bases del cilindro de concreto deben ser superficialmente lisas, por eso existen 2 métodos para que, al momento de hacer el ensaye de compresión, la carga aplicada sea lo más uniforme posible; estos son:

- Cabeceo con azufre, indicado en la norma mexicana NMX-C-109-ONNCCE y en la norma ASTM C617.
- Almohadillas de neopreno; como se indica en la norma ASTM C1231.

El uso de mortero de azufre es más recomendable que usar almohadillas de neopreno, ya que abarca toda la superficie de las bases cubriendo irregularidades y desperfectos, el resultado es que queda una superficie lisa y al momento de aplicar carga al cilindro, esta será uniforme.

Para la preparación y aplicación del mortero de azufre, este se calienta a 140 °C en un recipiente, el azufre fundido se vierte sobre un molde especial y aceitado para cilindros de 15x30 cm, luego se coloca el espécimen y se deja enfriar el azufre; la norma mexicana recomienda dejar el cilindro cabeceado 1 día máximo antes de la prueba.

Para el cabeceo de especímenes se pueden usar otros materiales como el yeso de alta resistencia o cemento hidráulico puro para cilindros recién moldeados, también menciona la reutilización del mortero de azufre para evitar desperdicio (ASTM C617).

### ***Maquina universal***

Para ensayar los cilindros se necesita una máquina universal con la capacidad necesaria para la realización de este ensaye (NMX-C-083-ONNCCE), además de otras características, tales como:

- Apoyo fijo a la platina de la máquina

- Grabado de círculos concéntricos para indicar dirección y posicionamiento del cilindro
- Bloque de apoyo inferior
- Bloque superior de carga con asiento esférico
- Placa superior de carga
- Tanto el bloque de carga como el grabado de círculos en la parte inferior deben estar centrados.

Esta máquina debe contar con un indicador de lectura, ya sea con carátula y agujas para medir el paso de carga; también, es válido utilizar una maquina con sistema digital que marca carga, tiempos, graficas, mostradas en pantalla. Así mismo también debe tener un factor de error inferior a 3 % de carga aplicada, dependiendo de verificación y calibración de esta.

### ***Colocación de especímenes***

Se limpian las superficies donde serán ensayados los cilindros, cada cilindro debe colocarse centrado de acuerdo con el eje central de la placa donde están grabados, esto también se verifica con la placa superior de carga; de no centrarse bien, la carga aplicada en el espécimen no será totalmente axial y el dato obtenido no será válido.

### ***Velocidad de carga***

La norma NMX-C-083-ONNCCE indica que la aplicación de la velocidad de carga debe ser continua, sin causar mayor impacto y pérdida por carga; esta aplicación de carga tiene un intervalo entre 84 kg/cm<sup>2</sup>/min y de 210 kg/cm<sup>2</sup>/min.

En este caso, como los cilindros tienen dimensiones de 15x30 cm, se usa un valor de velocidad de carga en el intervalo de 14.8 t/min y 37.1 t/min. Para aplicar carga, los cilindros se ensayan de acuerdo con una edad en específico, estas edades tienen unas tolerancias por edad del cilindro.

Edad de prueba especificada	Tolerancia permisible (+/-)
24 h	0:30 h
3 días	2 h
7 días	6 h
14 días	12 h
28 días	24 h

**Tabla 3- Tolerancias permisibles por edad del concreto. Fuente: NMX-C-083-ONNCCE (2004).**

### ***Ensaye de compresión***

Para el cálculo de la resistencia a compresión, se toma el dato de la carga última en toneladas y se calcula la resistencia de la siguiente forma:

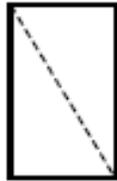
$$f'c = Fu/Area$$

Donde:

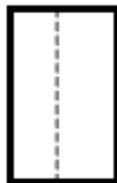
- $f'c$ = Resistencia a compresión en kg/cm<sup>2</sup>
- FU= Carga ultima en toneladas-pasan a kg
- Área= Área del cilindro en cm<sup>2</sup>.



1. Se observa cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.



2. Se observa comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en el límite de tolerancia especificada o excediendo ésta.



3. Se observa en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y/o por deficiencia del material de cabeceo; también por concavidad del palto de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga.



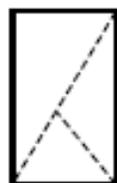
4. Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga cóncava y/o por deficiencias en el material de cabeceo o también por concavidad en una de las placas de carga.



5. Se observa cuando se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga, por deficiencias en el material de cabeceo, rugosidades en el plato cabeceador o placas de carga.



6. Se observa en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y/o por deficiencias del material de cabeceo o del plato cabeceador.



7. Se observa cuando las caras de aplicación de carga del espécimen se desvían ligeramente de las tolerancias de paralelismo establecidas o por ligeras desviaciones en el centrado del espécimen para la aplicación de carga.

*Figura 6- Diagrama de tipos fallas de cilindros en prueba de compresión. Fuente: NMX-083-*

*ONNCCE (2004).*

### 3.9.2.- Módulo de elasticidad y relación de Poisson del concreto.

El módulo de elasticidad es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria axial del espécimen e indica que tan rígido es un material; cuando un espécimen está sometido a una carga axial de compresión, su comportamiento elástico se extiende hasta un 40% de su resistencia (NMX-C-128-ONNCCE).

*“La relación de Poisson es la relación entre la deformación transversal y longitudinal cuando el espécimen está sometido a compresión; del mismo modo, muestra su comportamiento elástico”.*  
(ASTM C469).

Este procedimiento de ensaye de es para la obtención de las deformaciones transversales y longitudinales que sufre un espécimen de concreto sometido a una fuerza de compresión; esto se logra con la ayuda de un dispositivo conformado por:

- Anillos para medición de deformación, tanto transversal como longitudinal, (3 anillos con sus respectivos pernos para sujetarse al espécimen).
- Deformímetros para medir deformación al aplicar carga.
- Indicador de caratula o transductores digitales que marca valores de deformación.
- Los deformímetros tienen micrómetros para cada deformación, ya sea longitudinal o transversal, incluso puede tener 2 micrómetros puestos paralelamente opuestos con sus respectivos indicadores.
- En el caso de que solo se tenga un micrómetro, el lado paralelamente opuesto al micrómetro queda fijo, ya que tiene un pivote junto con un resorte.
- Barras fijadoras de anillos para facilitar el armado del dispositivo, los cuales son retirados antes de iniciar la prueba.

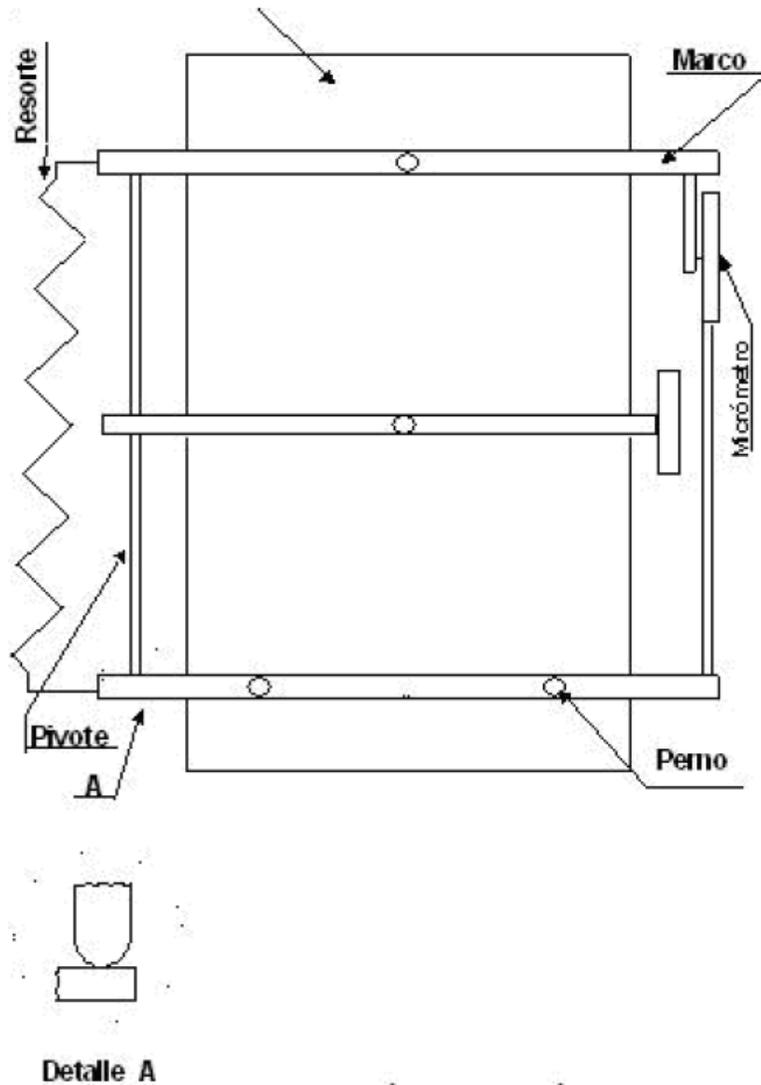
## ***Preparación***

La norma indica que los especímenes de prueba se tienen que acondicionar de acuerdo con lo establecido en la norma NMX-C-083-ONNCCE; cada dispositivo es distinto acorde con las dimensiones y características del espécimen.

En el caso de cilindros de 15\*30 cm, la norma recomienda tener datos a compresión simple, módulo de elasticidad y relación de Poisson con el uso del dispositivo, por lo que indica tener 4 especímenes, 2 para compresión y otros 2 para módulo y Poisson; para la preparación de los especímenes sometidos a prueba de modulo y Poisson se hace lo siguiente:

1. Primero, 2 especímenes son sometidos a la prueba de compresión para determinar su resistencia máxima, la norma menciona que se calcule el 10%, 40% y 60% de los esfuerzos obtenidos.
2. Para el ensaye de módulo de elasticidad y Poisson, cada espécimen debe prepararse sobre una superficie plana donde sea fácilmente armado el dispositivo.
3. Para armar el dispositivo, primero los anillos deben quedar fijos y en su posición correcta con la ayuda de las barras fijadoras, la posición que deben ocupar los anillos es la siguiente; el anillo de 3 pernos con base para pivote y resorte es el inferior, el anillo central contiene 2 pernos y no está cerrado completamente ya que tiene un micrómetro que mide la deformación transversal, el anillo de 2 pernos con apoyo para pivote y resorte es el superior.
4. Colocar el dispositivo fijado con las barras de apoyo en el espécimen de modo que se acople y entre perfectamente, se fija con los pernos que tienen los anillos; primero se centra y se fija el anillo inferior, seguido del anillo superior, deben estar bien centrados para evitar datos incorrectos, sobre todo, verificando que el micrómetro quede vertical y que toque su propia base, ya que éste tomará las lecturas de deformación longitudinal.

5. Se fija el anillo central con la ayuda de sus pernos y de igual manera se va centrando para evitar datos erróneos, este anillo tiene su micrómetro que da lecturas de deformación transversal, igual se verifica que el micrómetro toque su propia base.



**Figura 7- Deformímetro extensómetro. Fuente: NMX-128-ONNCCE (2008).**

### *Ensaye de módulo de elasticidad y Poisson*

Una vez ya preparado el espécimen con el dispositivo, se le pueden colocar la carátula del indicador en el caso que se use la maquina universal tradicional, en este caso, se utiliza la maquina universal que procesa datos digitalmente y ya no serán necesarios poner medidores e indicadores de carátula

Para los cálculos de la curva de esfuerzo-deformación es necesario tomar datos de carga y deformación, el número de puntos no tiene que ser muy grande, solo se toman los necesarios para obtener datos de valores  $S_1$ ,  $S_2$  y sus respectivas deformaciones; es importante tomar en cuenta los siguientes pasos al momento de iniciar el ensaye:

1. Al momento de colocar el espécimen con el dispositivo, debe centrarse muy bien sobre la base con círculos de referencia y, sobre todo, centrado tomando de referencia la placa que aplicará la carga, para que se distribuya la carga perfectamente en todo el espécimen.
2. Verifique que el dispositivo esté bien centrado el dispositivo en el espécimen, si no es así, se debe arreglar desarmándolo para hacer pequeños ajustes; si se encuentra bien ajustado se le da datos del espécimen al operador de la máquina universal para poner en marcha el ensaye; los datos son sus dimensiones del cilindro, edad, carga esperada, velocidad de carga, alcance de ciclos de carga, número de ciclos de carga.
3. Ya centrado y listo para ensayar, para el caso de usar máquina universal, se colocan los deformímetros junto con el indicador de caratula y tomar lecturas cada 1 minuto, 30 segundos o cualquier intervalo de tiempo que se decida, de no ser así, en este caso se conectan los medidores a la maquina universal y digitalmente tomará lecturas de deformaciones tanto horizontal como vertical.

4. Se le aplica una pequeña carga para fijarlo en su posición centrada y se procede a retirar las barras que tienen fijos a los anillos, esto con el propósito de que las lecturas no sean erróneas, ya que, si se dejan las barras al momento de iniciar el ensaye, no se percibirán las deformaciones de ningún medidor, porque los anillos están fijos.
5. Una vez retiradas las barras, inicia el ensaye tomando lecturas y registrándolas digitalmente. Para las deformaciones verticales, los anillos se moverán de arriba hacia abajo con un eje fijo, y para deformación horizontal, el anillo se expande con un eje fijo; el espécimen se contrae longitudinalmente y se expande transversalmente bajando un poco su altura y aumentado un poco su ancho.
6. Terminado el ensaye a la falla del espécimen, se registra su carga a compresión última; se desconectan los medidores de la maquina universal y se retiran el espécimen junto con los anillos dejando limpio el sitio de ensaye para el próximo.
7. Se capturan las lecturas de los medidores digitalmente y se continúa con el ensaye de un nuevo espécimen, se recuerda que para módulos de elasticidad se necesitan 2 o 3 especímenes para determinar un promedio.
8. Se calculan los desplazamientos y deformaciones unitarias transversales y longitudinales usando los datos obtenidos del ensaye, como un eje de los anillos estaba fijo, se dividen a la mitad por triángulos semejantes; Los esfuerzos se calculan dividiendo la carga entre el área del espécimen, lo siguiente es realizar la curva esfuerzo-deformación; se calculan deformaciones y esfuerzos de resistencia a compresión del último ciclo hasta la falla.

9. El módulo de elasticidad se calcula tomando el valor de S1 (resistencia correspondiente a la deformación unitaria vertical=0.000050), restándolo de S2 (40% de la resistencia) dividido entre la diferencia de sus deformaciones unitarias e1 y e2, correspondientes a S1 y S2; se usa la siguiente expresión:

$$E = \frac{S2 - S1}{e2 - 0.00005}$$

10. Para el cálculo de relación de Poisson, se usan los valores de deformación transversal unitarias restando et1 y et2, divididas entre la resta de las deformaciones unitarias longitudinales e1 y e2, se expresa de la siguiente forma:

$$M = \frac{et2 - et1}{e2 - 0.00005}$$

### **3.10.- Contracción por secado**

La contracción por secado se refiere al cambio longitudinal que sufre el concreto en estado endurecido por distintas razones, por pérdida de su humedad y cambio de temperatura. La norma ASTM C157 menciona que esta prueba sirve para la evaluación de cambios que sufre el concreto endurecido internamente, para hacer comparativos de acuerdo con estado en el que va cambiando con el paso del tiempo.

*“La contracción puede continuar por muchos años, dependiendo del tamaño y de la forma del concreto. La tasa y la cantidad final de contracción son normalmente menores en grandes masas de concreto que en pequeñas masas, por otro lado, la contracción continúa por un periodo más largo, en grandes masas” (Steven H. Kosmatka, Kerkhoff, William C. Panarese, Tanesi. PCA, p.309).*

La pérdida de humedad, que es un factor de este fenómeno, originada por la pérdida de agua que está aún presente en el concreto endurecido, por evaporación tiene como consecuencia el cambio de volumen del concreto; estos cambios de volumen generan grietas alterando el estado del concreto, es por eso que se busca una reducción o un control de este fenómeno.

*“Las fibras sintéticas pueden reducir la contracción (retracción) plástica y consecuentemente la fisuración y pueden ayudar al concreto después que se fisura” (Steven H. Kosmatka, Kerkhoff, William C. Panarese, Tanesi. PCA, p.157).*

Para fabricar estos especímenes, se necesitan de unos moldes prismáticos los cuales tienen incluidos 2 agujeros, uno en cada base opuesto al otro; estos agujeros son para la colocación de índices que se fijarán al espécimen para poder introducir al aparato medidor de contracción; estos índices deben estar alineados y separados a una distancia fija de 25.4 mm, es por eso que se utiliza una barra de calibración para que esos índices estén a esa distancia, de manera que, al momento de tener los especímenes y tomar lecturas de contracción, se haga con referencia a esa longitud que indica la norma ASTM C490.

Estos especímenes deben permanecer a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2$ , y humedad relativa de  $50 \pm 4\%$  es por eso que los especímenes, deben mantenerse en un cuarto seco, el cual tenga un control de temperatura y humedad; en esas condiciones se pueden tomar las lecturas del progreso de contracción por secado al paso del tiempo; el lapso entre puede cambiar si va disminuyendo el progreso y de la contracción; cambia el intervalo entre lectura de horas, días, semanas, hasta tomar lecturas cada mes, hasta que los incrementos en la contracción sean poco significativos.

Con estas lecturas, se puede hacer el cálculo de la contracción, determinando el cambio de longitud de espécimen de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\Delta Lx = (Lx - Li)$$

Donde.

- $\Delta Lx$ = Cambio de longitud a cualquier edad en %
- $Lx$ = Lectura en el comparador a cualquier edad
- $Li$ = Lectura correspondiente a la barra de referencia

La contracción correspondiente a cada edad de ensaye se calcula como:

$$\epsilon x = \left( \frac{\Delta Lx}{254mm(10 in)} \right)$$

Donde 254 mm es la longitud entre índices, que también son 10 pulgadas. A continuación, se necesita obtener una relación de Deformación unitaria por tiempo:

$$\frac{T}{Et}$$

Donde:

- $T$ = Deformación unitaria.
- $Et$ = Tiempo transcurrido.

Para el resultado de la contracción ultima, se necesita de la siguiente fórmula, tomando en cuenta el tiempo en días.

$$\epsilon t = \left( \frac{t}{a + t} \right) \epsilon u$$

Donde:

- $\epsilon_t$ = Deformación unitaria de contracción en días
- $t$ = Tiempo en días
- $a$ = Constante que se obtiene de acuerdo con las características de la mezcla
- $\epsilon_u$ = Contracción ultima

Para obtener la constante “a” y la contracción interna “ $\epsilon_u$ ” de los datos de la relación entre tiempo y deformación unitaria, se hace una regresión lineal y obtener la ecuación que nos servirá para que los cálculos estén linealmente definidos gráficamente, con esta ecuación podemos obtener “ $\epsilon_u$ ” haciendo el inverso de la pendiente.

## **Capitulo IV.- Ataque de iones cloruro**

### **4.1.- Análisis de penetración y migración de iones cloruro en el concreto.**

Las estructuras de concreto tienen acero de refuerzo para alianzar una resistencia y durabilidad óptima en las edificaciones y construcción pesada, pero este acero de refuerzo puede estar afectado por el ataque de agentes químicos que penetran al concreto, provocando una reacción al acero conocida como corrosión. Este fenómeno aparece por la penetración de cloruros en presencia de oxígeno y humedad que ataca al acero provocando óxido; cuando esta situación es prolongada, el acero pierde capacidad y el conjunto de concreto-acero ya no es resistente a tensión.

*“El ambiente de pH alto en el concreto (normalmente mayor que 12.5) promueve la pasivación y la formación sobre el acero de una película de protección de óxido no corrosivo. Sin embargo, la presencia de iones de cloruros de los anticongelantes y del agua del mar puede destruir o penetrar en la película (...) Los iones de hierro e hidróxido forman el hidróxido de hierro, FeOH, el cual más tarde se oxida, formando polvo (óxido de hierro).*

*La formación de polvo es un proceso expansivo, el polvo se expande hasta cuatro veces su volumen original, el cual induce a la formación de tensiones internas y descascamientos o descascarillados del concreto sobre el acero de refuerzo.”. (Steven H. Kosmatka, Kerkhoff, William C. Panarese, Tanesi. PCA, p.16).*

El concreto no debe ser tan poroso para dar paso a los cloruros que afectan el acero; para esto se le hacen ensayos que permiten ver qué tan permeable es el concreto a los iones cloruros. Para esta prueba se necesitan hacer pastillas de concreto de 10x5, la manera de obtenerlos es cortar especímenes de concreto de 10x20 cm o también se puede hacer una extracción de corazones de concreto.

Para hacer esta prueba, existen 2 métodos diferentes, pero de igual eficacia para medir a partir de la corriente que pasa por las muestras, en coulomb, la penetración del ion cloruro; un método para determinar la migración de cloruros está indicada en la norma ASTM C1202, la cual indica como determinar la penetración por gráfica y área bajo la curva; el otro método que se utiliza y es un poco más complejo, es el NT BUILD 492, el cual podemos calcular este fenómeno usando una fórmula, incluso se puede observar directamente la penetración, partiendo la pastilla y aplicar un indicador químico.

Estos 2 métodos tienen algo en común, en ambos, las pastillas se someten a vacío con la ayuda de un desecador y una bomba por un periodo de tiempo distinto, y se pueden hacer estas pruebas colocándoles soluciones de los mismos componentes químicos, pero a diferentes concentraciones; estas soluciones se colocan en unas celdas especiales para la determinación del coeficiente de penetración para ambos casos, y para ambos ensayos, se utiliza el mismo aparato y software.

Este software PROOVE IT® esta algorítmicamente diseñado para procesar cálculos en ambos métodos, también se puede hacer ensayos de 8 pastillas y hasta por un periodo de hasta 96 horas, dependiendo del ensayo.

#### **4.2.- Penetración de iones cloruro, ASTM C1202**

Esta norma indica que estas pastillas de concreto se preparan de esta forma para dar inicio al ensayo

1. Para someter a prueba de ataque de cloruros, se hacen soluciones con agua destilada; una solución contendrá un 3.0% de cloruro de sodio (NaCl), otra tendrá un 0.3 N de hidróxido de sodio (NaOH).
2. Se le aplicaran resina o una capa impermeable por la parte lateral de cada pastilla, esto para permitir el paso de agua solo por las caras de las pastillas; al finalizar esto deben someterse a vacío con la ayuda de un desecador y una bomba por un tiempo de 3 horas.
3. Mientras las pastillas están en vacío, se hierve agua suficiente para agregarla al desecador, se deja enfriar hasta alcanzar una temperatura ambiente.
4. Pasadas las 3 horas, se le coloca el agua previamente hervida al desecador (continuando el vacío y sin quitar la tapa) hasta sumergir las pastillas y dejar reposar por una hora más.
5. Terminado el tiempo de reposo, se abre la tapa del desecador y se sacan las pastillas para iniciar la colocación de las pastillas en las celdas de ensayo, estas deben estar bien selladas con empaques de neopreno para evitar la fuga de soluciones.
6. Una vez selladas, a cada celda le corresponde un tipo de solución, así que se le agregará en una celda la solución de cloruro de sodio, y a la otra celda se le aplicará el hidróxido de sodio; estas soluciones deben cubrir las caras de la pastilla.
7. Terminado esto, las celdas son conectadas al dispositivo PROOVE IT® para la medición de corriente que pasa por las pastillas, programar el dispositivo para tomar y procesar datos

por un periodo de 6 horas; de no contar con este dispositivo, se usa un voltímetro para hacer medición de la corriente y se tienen un control de las temperaturas con la ayuda de un termómetro, los datos y resultados obtenidos se grafican y se calcula el área bajo la curva.

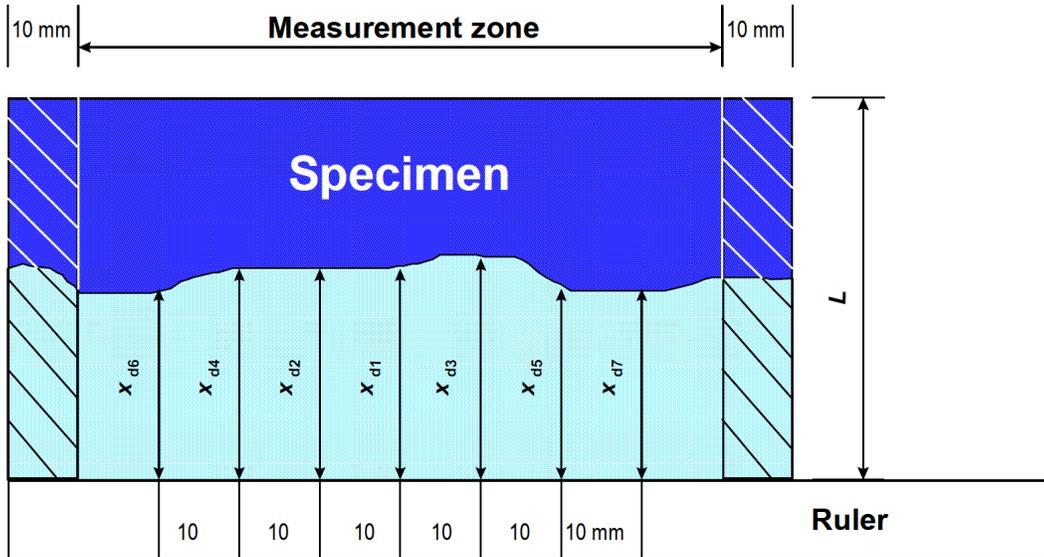
#### **4.3.- Coeficiente de migración de cloruros, NT BUILD 492**

A diferencia del otro método, esta norma es un poco más compleja ya que requiere de otro tipo de soluciones además de las conocidas y más tiempo de ensaye; además, se puede hacer el cálculo del coeficiente y la observación visual de la penetración, la cual se debe medir para determinar igualmente el mismo calculo. Esta prueba también se puede hacer con el dispositivo PROOVE IT® para llevar un control y proceso de datos, los cuales el software del dispositivo hace un reporte de forma automática; para realizar este ensaye, se hace lo siguiente:

- Las soluciones que se deben preparar son: 10% de cloruro de sodio reactivo (NaCl) en 1 litro agua de grifo; 0.3 N de hidróxido de sodio reactivo (NaOH) en 1 litro de agua destilada; Solución saturada de hidróxido de calcio industrial o técnico (Ca(OH)<sub>2</sub>) en agua destilada; 0.1 M de nitrato de plata reactivo (AgNO<sub>3</sub>) en 1 litro de agua.
- Las pastillas son colocadas en un desecador y se someten a vacío con la ayuda de una bomba por un periodo de 3 horas; al finalizar este tiempo de vacío, se llena el desecador, continuando con el vacío, con la solución saturada de Ca(OH)<sub>2</sub> hasta sumergir las pastillas y continuar con el vacío por una hora más; se apaga la bomba de vacío y deja reposar las pastillas en la solución por 18 horas
- Las pastillas se retiran de la solución de Ca(OH)<sub>2</sub> y se limpian bien, se montan en las celdas de ensaye sellándolas bien con anillos de neopreno para evitar fugas de soluciones; cada celda se le aplica una solución designada para cada cara de la pastilla, a una celda se le

aplica una solución de NaCl y en otra celda se aplica una solución de NaOH; cada solución debe cubrir la cara de la pastilla.

- Las celdas se conectan al dispositivo PROOVE IT® para programar el ensaye, induciendo corriente e iniciar el procesamiento de datos por un periodo de 24 horas, tomando el control de la temperatura de las soluciones ya que lo ideal sería no sobrepasar los 25°C. Si no se cuenta con el dispositivo se requiere de un voltímetro y un termómetro tomando las lecturas respectivas en el mismo lapso.
- Al finalizar este ensaye, se desmontan las celdas y se limpian las pastillas para llevar a cabo la observación visual de la penetración de los cloruros; para esto, se marcan con exactitud la mitad de cada pastilla y con la ayuda de una maquina universal la pastilla se coloca verticalmente y se centra con precisión para que esta, al aplicarle carga, se parta a la mitad.
- Con las pastillas ya divididas, a cada mitad se le rocía con la ayuda de un spray o atomizador, la solución de AgNO<sub>3</sub>, aplicando sobre toda la superficie dividida y dejar reposar hasta que reaccione a los cloruros que contiene la pastilla, a la vista se puede observar el avance de penetración de los cloruros de un color gris plateado.
- Cada mitad de pastilla se le tiene que medir la penetración descrita anteriormente para determinar su capacidad de permeabilidad y calidad, para esto se sigue el diagrama indicado en la figura 8, de cómo se mide esta penetración, a cada 10 mm se mide que distancia alcanzo la penetración en la pastilla, no se considera las medidas por las orillas.



**Figura 8- Diagrama de penetración de cloruros al aplicar  $AgNO_3$ , se muestra la forma de medir la mitad de pastilla. Fuente: NT BUILD 492 (2011).**

Los resultados obtenidos por el dispositivo, que ya está programado para realizar cálculos algorítmicamente, se expresan con la siguiente ecuación:

$$D_{nssm} = \left( \frac{0.0239(273 + T)L}{(U - 2)t} \right) * \left( Xd - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T) * L * Xd}{U - 2}} \right)$$

Donde:

- $D_{nssm}$ = Coeficiente de migración de cloruros (x10<sup>-12</sup> m/s)
- $T$ = Valor promedio de las temperaturas inicial y final, en °C
- $L$ = Espesor de la muestra, en mm
- $U$ = Valor absoluto del voltaje aplicado, en V
- $X_d$ = Valor promedio de las penetraciones, en mm.
- $t$ = Duración de la prueba en hr.



*Imagen 13 y 14- Penetración de ion cloruro de muestras sometidas a la prueba para determinación del coeficiente de migración (fuente propia).*

## Capítulo V.- Presentación de resultados.

Estas pruebas se han llevado a cabo para elaboración y curado de un concreto que cumpla con las expectativas de calidad y resistencia, todo esto con el objetivo de llevar buenos resultados en obra. El concreto debe ser evaluado de principio a fin, es decir, desde su calidad en los materiales de elaboración, hasta su calidad en estado endurecido para propósitos de obra e investigación.

Durante el periodo del servicio social, hubo trabajo y dedicación en 3 proyectos importantes que dieron fruto para incrementar el conocimiento tanto en la estancia, como en obras exteriores; estos 3 proyectos son importantes en la caracterización y la investigación del concreto y su tecnología. Para cada proyecto se realizó diferentes pruebas que se mostraran en la siguiente tabla.

<b>Proyectos</b>	<b>Pruebas realizadas</b>
<b>Proyecto 1</b>	Caracterización de fibras para concreto
	Permanencia de revenimiento
	Resistencia a compresión
	Módulo de elasticidad, relación de Poisson y deformación unitaria máxima
<b>Proyecto 2</b>	Muestreo y reducción de agregados
	Análisis granulométrico
	Masa suelta y compactada de los agregados
	Densidad de los agregados
	Absorción de los agregados
	Pérdida por lavado
	Diseño de mezclas de concreto ACI
	Elaboración y curado de mezclas de concreto en laboratorio

	Pruebas de concreto en estado fresco
	Pruebas no destructivas de concreto en estado endurecido
	Pruebas destructivas de concreto en estado endurecido
<b>Proyecto 3</b>	Resistencia a compresión
	Módulo de elasticidad, relación de Poisson y deformación unitaria máxima
	Extracción de corazones de concreto
	Resistencia a la penetración ion cloruro ASTM C1202
	Coefficiente de migración de cloruros NT BUILD 492

***Tabla 5.1- Relación entre proyectos y pruebas realizadas por proyecto***

A continuación, se presentará cada proyecto y las pruebas realizadas en las cuales he participado en el periodo del servicio social, cada trabajo está realizado para la investigación del Instituto de Ingeniería de la UNAM, a cargo del M. en I. Carlos Javier Mendoza Escobedo.

## 5.1.- Proyecto 1.

En este proyecto hubo conocimiento sobre otros componentes complementarios o auxiliares en las estructuras de concreto, con el objetivo de aumentar la dureza y resistencia a fallas, estos componentes son fibras para concreto, que pueden ser de polipropileno o acero, dependiendo del tipo y la función que tendrá el concreto; estas fibras se unen al concreto para incrementar la resistencia a tensión. A continuación, se presentará los resultados elaborados para este proyecto.



*Imagen 15- Fibras de polipropileno usadas en las mezclas (fuente propia).*

### 5.1.1.-Caracterización de fibras para concreto

Para una mezcla de concreto de alta resistencia, son necesarios en algunos casos, el uso de fibras especiales hechas de polipropileno, acero, etc. El objetivo principal de estas fibras es, aumentar la resistencia de estructuras de concreto por fallas a tensión. Para incluir las fibras en una mezcla de concreto, se hace una caracterización para poder involucrarlas en un diseño de mezcla.

*“Contiene fibras sintéticas para las cuales se pueden presentar pruebas documentales que confirman su resistencia a largo plazo al deterioro cuando entran en contacto con la humedad y los álcalis presentes en la pasta de cemento o las sustancias presentes en la incorporación de aire y aditivos químicos”. (ASTM C1116-03).*

En este caso se ha caracterizado fibras de polipropileno pesando cada 10 fibras de 150 en total, la caracterización consiste en pesar cada 10 fibras y medir longitudes una por una, esto con el fin de hacer una estimación de acuerdo con la cantidad de fibra que se usará para un concreto. Los resultados que se muestran en la tabla 5.1.1.1, son estimaciones de 150 fibras de polipropileno medidas y pesadas para uso de una mezcla de concreto con fibra.

<b>Fibra</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Longitud (mm)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>L/D</b>	<b>Fibras/kg</b>
<b>Macrofibra de polipropileno</b>	0.92	47.8	0.9761	48.98	30364

***Tabla 5.1.1.1- Caracterización de macrofibras de polipropileno. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

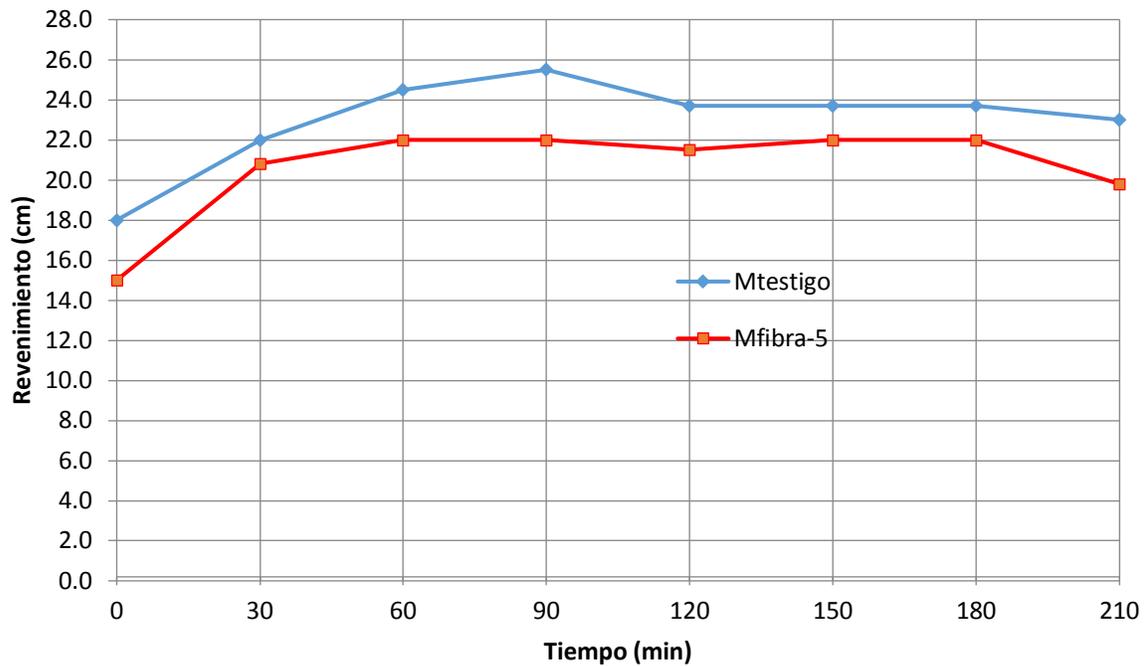
### **5.1.2.- Permanencia de la consistencia**

En esta prueba, solo se verifica que tan consistente está el concreto durante un lapso, por lo que, a cada tipo de concreto, ya sea normal o mezclado con fibra ya caracterizada; para hacer la comparativa de ambos concretos, se les determina el revenimiento cada 30 minutos, y estos son los resultados.

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Revenimiento (cm)</b>	
	<b>Mtestigo</b>	<b>Mfibra-5</b>
<b>0</b>	18.0	15.0
<b>30</b>	22.0	20.8
<b>60</b>	24.5	22.0
<b>90</b>	25.5	22.0
<b>120</b>	23.7	21.5
<b>150</b>	23.7	22.0
<b>180</b>	23.7	22.0
<b>210</b>	23.0	19.8

***Tabla 5.1.2.1- Revenimientos obtenidos con el paso del tiempo. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

Como se puede apreciar, el revenimiento se hace un poco mayor y constante con el paso del tiempo, comparando ambos concretos, el concreto normal aumenta 5.7 cm su revenimiento pasando 1 hora con 30 minutos, siguiendo 1 hora permanece constante; el concreto con fibra aumento su revenimiento en tan solo 30 minutos y 2 horas con 30 minutos permanece constante. Cabe aclarar que la permanencia de la consistencia de la mezcla e incluso, el incremento en el revenimiento se debe al empleo de aditivos químicos que retardan la reacción del cemento al entrar en contacto con el agua.



*Grafica 5.1.1.1- Permanencia del revenimiento con el paso del tiempo de mezclas testigo y con fibra. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.*

### **5.1.3.- Resistencia a compresión.**

En este proyecto se han realizado pruebas destructivas para hacer una comparativa entre un concreto sin fibra y un concreto con fibra de polipropileno y así, determinar cuál es su resistencia y que rol tienen las fibras en un concreto; los resultados aparecen en la tabla 5.1.3.1.

<b>Mezcla</b>	<b>Longitud (mm)</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Consumo de fibra (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Parámetro W L/d</b>	<b>Carga máxima (ton)</b>	<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>MT</b>	305	152	0	0	98.13	543.16
<b>MF-5</b>	304	151	5	27	94.56	528.05

***Tabla 5.1.3.1- Resistencia a compresión de mezcla testigo y mezcla con fibra. Fuente:  
Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

Como se pueden apreciar, los resultados indican que la mezcla testigo es un poco más resistente que la mezcla con fibra, pero en sí, no es mucha la diferencia, ya que las fibras pueden provocar cambios en sus características de deformación, pero cuanto, a resistencia, es un cambio de menor rango.

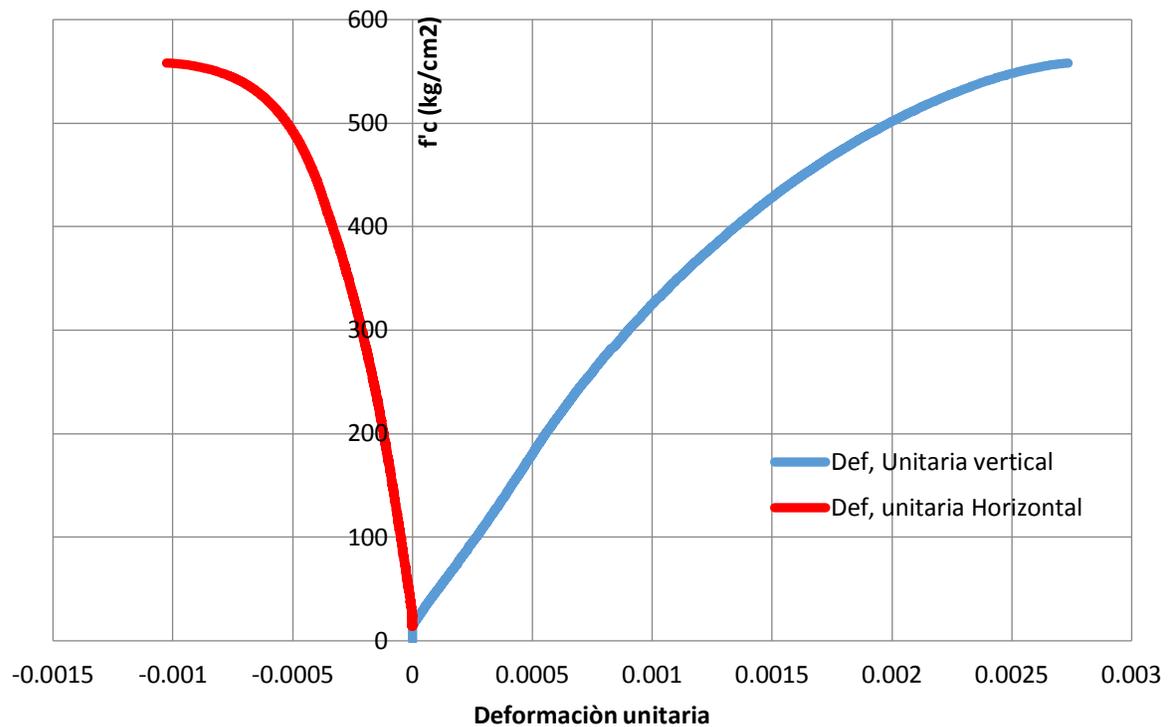
#### **5.1.4.- Módulo de elasticidad**

Con el ensaye de módulo de elasticidad se determinan sus deformaciones longitudinales y transversales de un concreto con la aplicación de ciclos de carga y descarga; en este caso, se ha facilitado la toma de datos de forma digital. De cada mezcla, se ensayaron tres especímenes para determinar este parámetro, además de su relación de Poisson y su deformación unitaria máxima; los resultados se muestran en la tabla 5.1.4.1.

<b>Mezcla</b>	<b>Consumo de fibra</b>	<b>Parámetro W L/d</b>	<b>Módulo de elasticidad, kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Relación de Poisson</b>	<b>Deformación unitaria máxima</b>
<b>MT</b>	0	0	328313	0.25	0.0025
<b>MF-S</b>	5	27	338400	0.24	0.0027

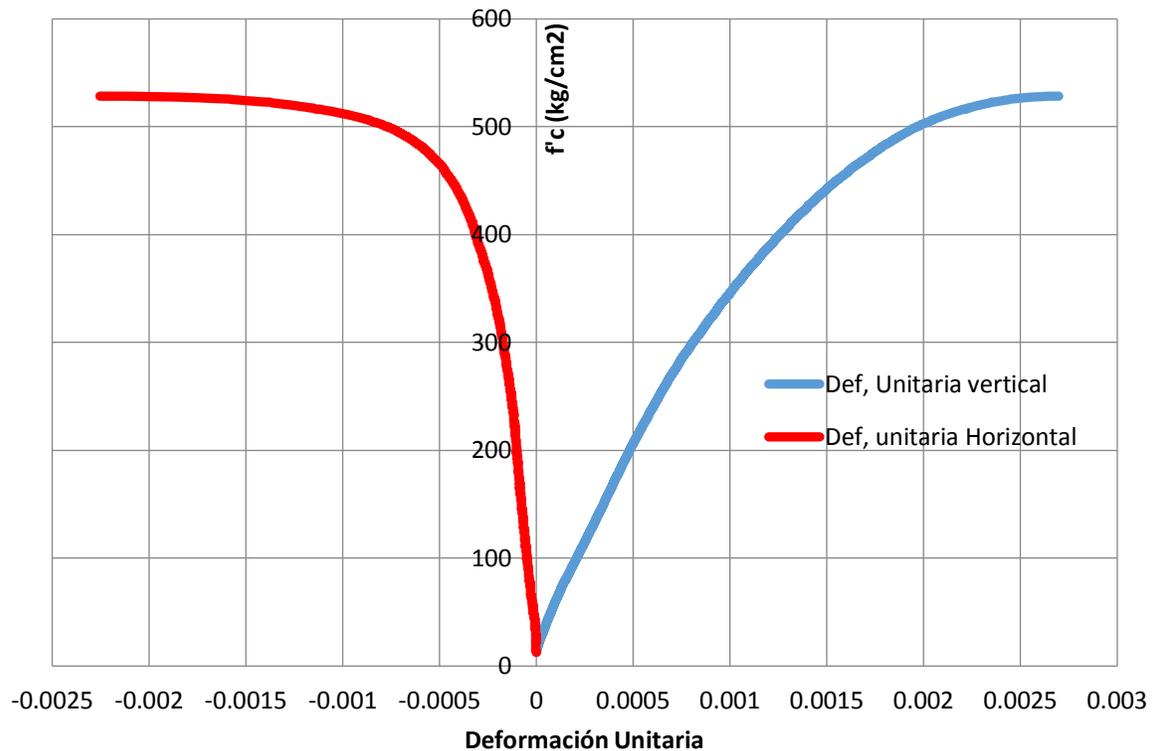
***Tabla 5.1.4.1- Modulo de elasticidad, relación de Poisson y deformación unitaria maximos de mezclas estudiadas. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

La mezcla con fibra puede ser un poco menos resistente, pero se opone más a ser deformado, la mezcla testigo es más resistente, pero fallará sin oponerse a la deformación; en la gráfica 5.1.4.1 y la gráfica 5.1.4.2, se puede apreciar el comportamiento de esfuerzo-deformación entre ambas mezclas.



***Grafica 5.1.4.1- Esfuerzo deformación de muestra testigo. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

De acuerdo con la gráfica, la muestra testigo demuestra ser un poco más dúctil que la mezcla que contiene fibra, pero su deformación horizontal no es muy grande, pero así se ve que tiene mayor dureza, pero fallaría rápida, y notoriamente, es decir, no se presentara mucha resistencia a la carga ultima y la presión hará que el espécimen colapse de manera brusca.



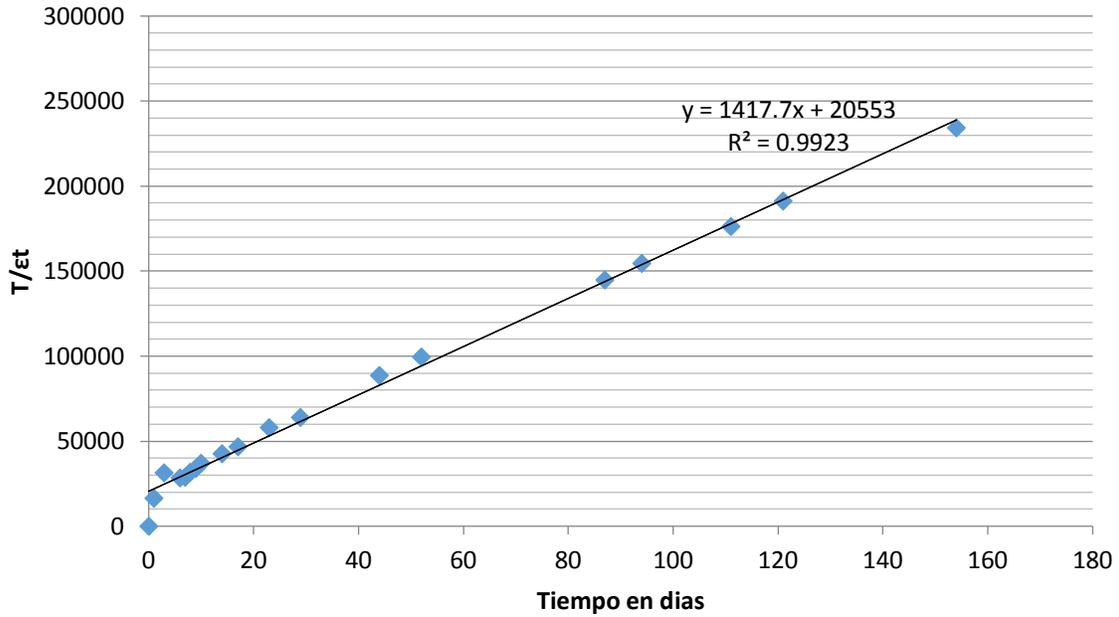
***Grafica 5.1.4.2- Esfuerzo deformación de muestra con fibra. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

En esta grafica se puede apreciar que el espécimen con fibra es similar a la mezcla testigo en cuanto a ductilidad, pero en su deformación horizontal es un poco mayor.

### **5.1.5.- Contracción por secado.**

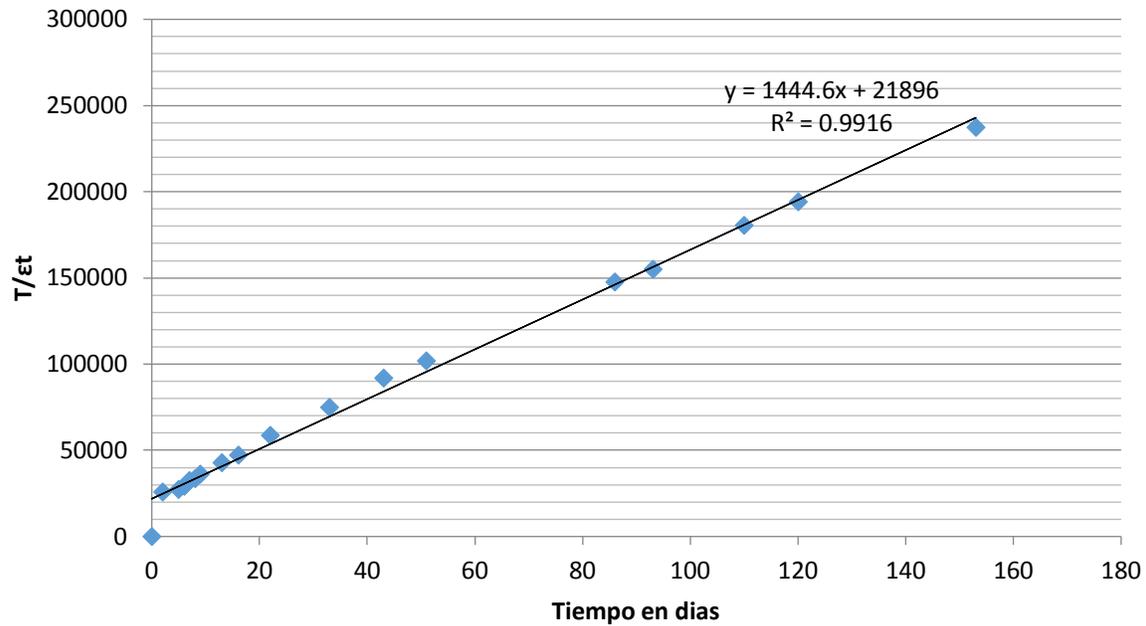
En esta prueba se determina la contracción interna del concreto que ocurre por pérdida o evaporación del agua; cuando esto ocurre, los especímenes testigo y con fibra tienden a sufrir un cambio, tanto en sus dimensiones, como en su interior que causa agrietamiento, por lo que se hacen los cálculos de sus deformaciones para saber su contracción ultima.

Estos resultados se obtienen usando datos obtenidos con el comparador de longitudes de contracción por ciertos lapsos de tiempo; estas deformaciones se asocian al tiempo transcurrido y con estos resultados podemos obtener los valores de  $\epsilon_u$ , a y b, con una regresión lineal.



***Grafica 5.1.5.1- Regresión lineal para contracción de muestras testigo. Fuente: Mendoza***

***Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM).***



***Grafica 5.1.5.2- Regresión lineal para contracción de muestras con fibra. Fuente: Mendoza***

***Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

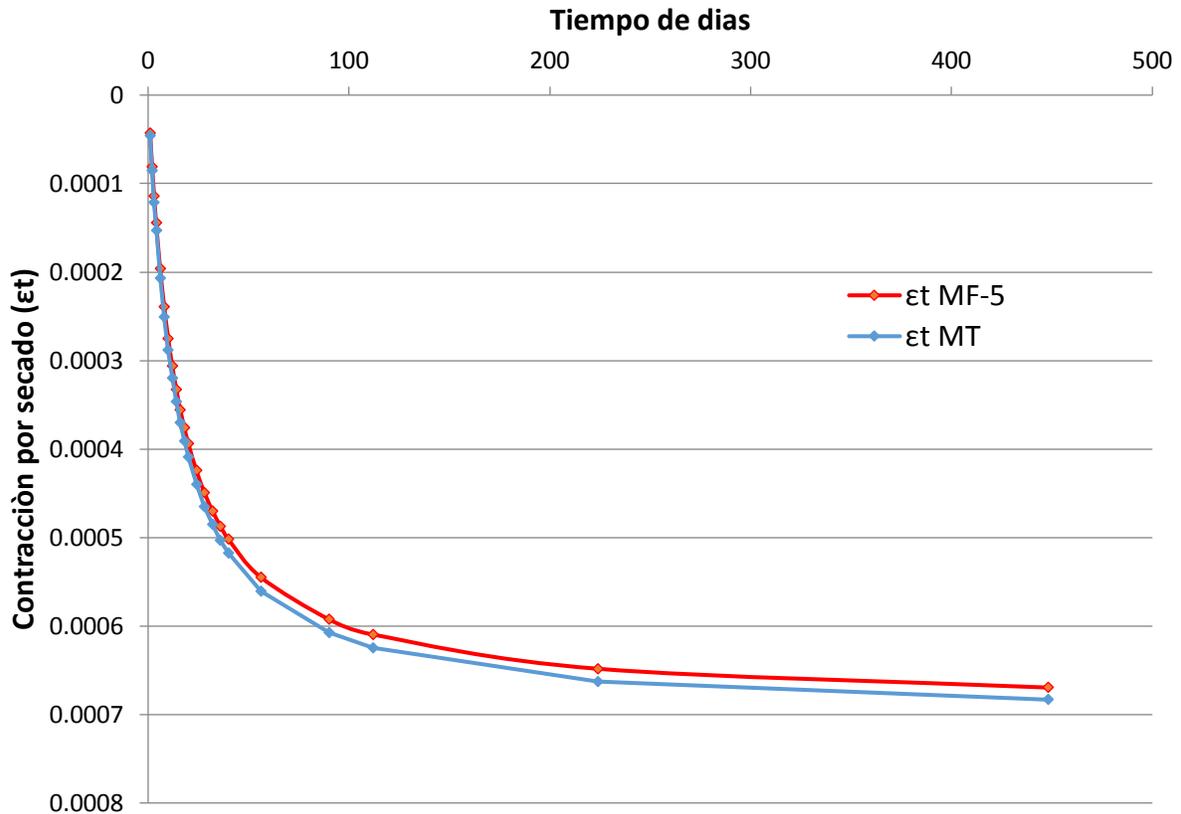
Las gráficas son los resultados de la regresión lineal para ambas muestras, con el fin de encontrar la contracción última, y la constante característica de cada mezcla, estos datos son necesarios para sustituirlo en la fórmula para estimar la contracción por secado conforme pasa el tiempo.

<i>Mezcla</i>	<i>Consumo de fibra kg/m<sup>3</sup></i>	<i>Parámetro W L/D</i>	<i>Contracción por secado ultima x10-6</i>	<i>Expresión para estimación de contracción a diferentes edades</i>
MT	0	0	705	$\epsilon t = \left( \frac{t}{14.50 + t} \right) 705x10^{-6}$
MF-5	5	27	692	$\epsilon t = \left( \frac{t}{15.16 + t} \right) 692x10^{-6}$

***Tabla 5.1.5.1–Comparativa de ambas mezclas en contracción por secado Fuente: Mendoza***

***Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

Al tener realizado la expresión se hace la estimación de contracción por secado conforme va pasando el tiempo en varios días, la gráfica 5.1.5.3 demuestra este comportamiento en un tiempo estimado de 1 año y 4 meses aproximadamente.



***Grafica 5.1.5.3- Contracciones obtenidas con el paso del tiempo. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

De acuerdo con esta gráfica, conforme pasa el tiempo la contracción continuará transcurriendo; en los primeros 100 días los especímenes se contraen mucho, pero la duración es larga, ya que pasando de 200 a 400 días se contraerá levemente.

Los especímenes con fibra se contraen menos que los especímenes testigo ya que, con la ayuda de la fibra, se reduce los cambios físicos del concreto, ya sean internos y externos.

## **5.2.- Proyecto 2.**

Se empezó con las pruebas de calidad de cada uno de sus ingredientes; para evaluar las condiciones del agua, la norma NMX-C-122-ONNCCE nos indica que calidad debe tener para cada condición; para el concreto, dos de sus ingredientes principales, son los agregados grueso y fino; para este caso, se ha evaluado dos tipos de agregados gruesos de diferente tamaño que se pueden utilizar para un concreto normal y de alta resistencia:

- Basalto (TMA 3/8", 3/4")
- Caliza (TMA 3/8", 1/2", 3/4")

Los materiales para la elaboración de una mezcla deben tener la calidad y las condiciones necesarias para ser aprobadas y ejecutadas en obra, o en laboratorio. En el caso del agregado fino se utiliza solo arena de río, la cual nos ha dado buenos resultados para la elaboración de la mezcla.

### **5.2.1.- Granulometría de los agregados.**

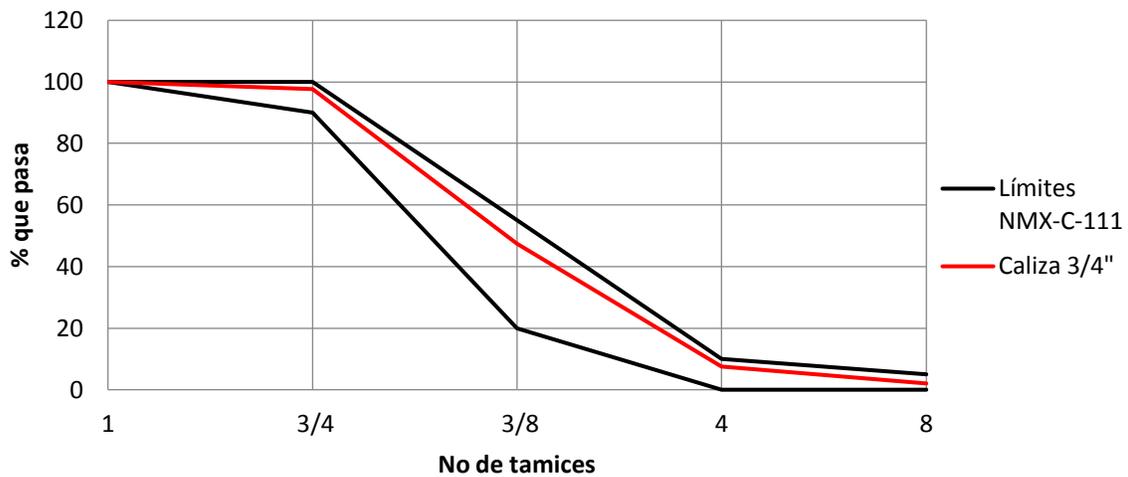
En la prueba de granulometría, se arman las cribas y se aplica una cantidad de acuerdo con el tamaño del agregado; en este caso se ha hecho una agitación mecánica siguiendo las indicaciones, se utiliza como agregado grueso, la caliza de 3/4", y como agregado fino, la arena de río.

Al pasar el agregado por las cribas, y ser pesados, se obtienen el porcentaje que ha pasado cada agregado por sus cribas; a continuación, se muestran los resultados tanto de la caliza y de la arena de río, las cuales se mostraran en las tablas 5.2.1.1 y 5.2.1.2; también se mostrará en las gráficas 5.2.1.1 y 5.2.1.2, las comparaciones con sus límites establecidos para cada agregado.

<b>Caliza 3/4"</b>			
<i>Tamices</i>	<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>	<i>Promedio</i>
<b>1</b>	100	100	100.00
<b>3/4</b>	90	100	97.64
<b>3/8</b>	20	55	47.54
<b>4</b>	0	10	7.50
<b>8</b>	0	5	2.03

**Tabla 5.2.1.1- Porcentaje que pasa por los tamices de agregado grueso. Fuente: Mendoza**

**Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.**



**Grafica 5.2.1.1-Granulometria de la caliza 3/4\".** Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J.

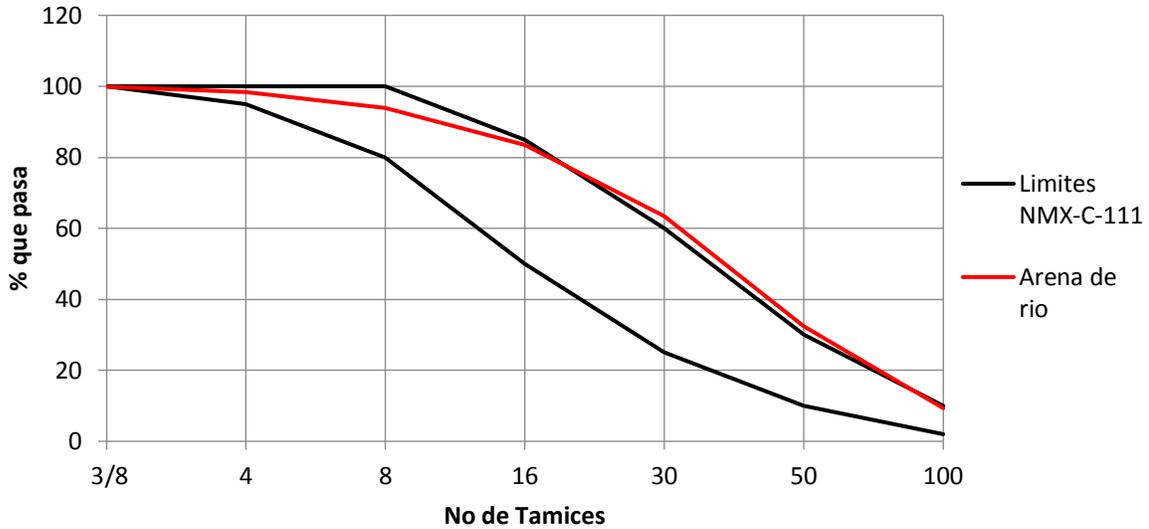
**Instituto de Ingeniería UNAM.**

Se ha elegido utilizar el agregado grueso de caliza, con un TMA de  $\frac{3}{4}$ " ya que, en pruebas de granulometría, este agregado no contiene partículas tan fuera de su rango, además de que la caliza es menos denso y absorbente que el basalto, ya que lo que se quiere lograr es que los agregados afecten menos en cuanto a la absorción y la humedad que contendrán en el momento de reproducir la mezcla de concreto.

<b>Arena de rio</b>			
<b>Tamices</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Promedio</b>
<b>3/8</b>	100	100	99.89
<b>4</b>	95	100	98.42
<b>8</b>	80	100	93.93
<b>16</b>	50	85	83.45
<b>30</b>	25	60	63.39
<b>50</b>	10	30	32.40
<b>100</b>	2	10	9.33

*Tabla 5.2.1.2- Porcentaje que pasa por los tamices de agregado fino. Fuente: Mendoza*

*Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.*



***Gráfica 5.2.1.2- Granulometría de la arena de río. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J.***

***Instituto de Ingeniería UNAM.***

En cuanto a la arena, se ha elegido la del río ya que es bastante buena para la mezcla de concreto y no afectaría mucho la absorción del agua; hay presencia limitada de partículas finas que pasan la malla 200.

**a) Propiedades físicas de los agregados**

Estas propiedades son resultados de las pruebas para agregados gruesos de sus masas volumétricas sueltas y compactadas, densidades y sus absorciones; en el caso del agregado fino se determina todo lo anterior mencionado, al igual que su módulo de finura y pérdida por lavado. En la tabla 5.2.1.3, se presentan los resultados de cada uno de los agregados probados para evaluar sus condiciones y así obtener parámetros importantes para el diseño de mezcla.

Propiedades	Basalto		Caliza			Arena de río
	3/8"	3/4"	3/8"	1/2"	3/4"	
<b>Peso específico, Seco</b>	2.78	2.79	2.66	2.65	2.67	2.36
<b>Peso específico, SSS</b>	2.82	2.83	2.68	2.68	2.68	2.46
<b>Absorción (%)</b>	1.47	1.38	0.76	0.91	0.50	4.17
<b>Masa volumétrica seca suelta (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1502	1567	1402	1488	1449	1405
<b>Masa volumétrica seca compactada (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1689	1765	1572	1708	1654	1543
<b>Módulo de finura</b>	-	-	-	-	-	3.19
<b>Perdida por lavado (%)</b>	-	-	-	-	-	4.94

***Tabla 5.2.1.3-Propiedades físicas de todos los agregados probados. Fuente: Mendoza***

***Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

Con esto se demuestra que el basalto, por ser un poco más denso y absorbente, no se ha considerado para este proyecto, aunque si se pueda utilizar. La caliza es menos densa y un poco menos absorbente que el basalto, así que se ha decidido como agregado grueso para incluirla en la mezcla de concreto, el tamaño máximo del agregado que se utilizó para el diseño de mezcla es de 3/4", que el agregado no sea ni tan grande, ni tan pequeño. Junto con la arena de río, la caliza fue lo más conveniente de acuerdo con los resultados de propiedades físicas.

### 5.2.2.- Diseño de mezclas de concreto ACI.

De acuerdo con el informe del ACI 211, se sigue una serie de pasos para obtener la cantidad de un material a otro, esto gracias al aporte de unas tablas que el mismo ACI recomienda, con este procedimiento, se puede también seguir un criterio propio para un diseño de mezcla de concreto, y los resultados se muestra en la tabla 5.2.2.1

<b>Mezcla</b>	<b>MP-200- C19</b>	<b>MP-250- C19</b>	<b>MP-350- C19</b>	<b>MP-400- C19</b>	<b>MP-450- C19</b>	<b>MP-550- C19</b>
<b>f'c diseño, kg/cm<sup>2</sup></b>	200	250	350	400	450	550
<b>Agua</b>	185	191	195	193	195	200
<b>Cemento</b>	220	305	355	395	433	475
<b>Grava</b>	1011	965	937	922	902	877
<b>Arena</b>	856	817	794	781	764	743
<b>Relación A/C</b>	0.84	0.63	0.55	0.49	0.45	0.42
<b>M. Unitaria</b>	2272	2278	2281	2291	2295	2295

*Tabla 5.2.2.1-Diseños base de mezclas de concreto, kg/m<sup>3</sup>. Fuente: Mendoza Escobedo,*

*Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.*

Una vez pesados los materiales para cada mezcla, se hace la prueba de contenido de humedad para que los agregados no aporten y no quiten agua de mezclado, es por eso que se hace una corrección por humedad; a continuación, se demostrarán los resultados obtenidos con esta corrección en la tabla 5.2.2.2.

<b>Mezcla</b>	<b>MP-200- C19</b>	<b>MP-250- C19</b>	<b>MP-350- C19</b>	<b>MP-400- C19</b>	<b>MP-450- C19</b>	<b>MP-550- C19</b>
<b>Agua</b>	190	190	192	193	195	200
<b>Cemento</b>	225	290	325	395	415	475
<b>CH Caliza 3/4"</b> <b>(%)</b>	0.15	0.17	0.14	0.15	0.14	0.11
<b>Caliza 3/4"</b>	1001.4	973	954	922	910	877
<b>CH arena de río (%)</b>	1.38	1.18	1.38	1.38	1.38	0.94
<b>Arena de río</b>	848.5	824	809	781	771	743
<b>Masa unitaria</b>	2264.9	2277	2280	2291	2291	2295
<b>Relación A/C</b>	0.84	0.66	0.59	0.49	0.47	0.42
<b>G/A, Vol. Abs.</b>	52/48	52/48	52/48	52/48	52/48	52/48

*Tabla 5.2.2.2-Diseños base corregidos por contenido de humedad de mezclas de concreto, kg/m<sup>3</sup>. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.*

### **5.2.3.- Pruebas del concreto en estado fresco**

En estas pruebas se evaluó el concreto fresco para determinar consistencia, masa unitaria y contenido de aire; los resultados que se mostrarán en la tabla 5.2.3.1, fueron obtenidos por medición en laboratorio y por cálculo de masa y aire por método gravimétrico.

<b>Mezcla</b>	<b>MP- 200- C19</b>	<b>MP- 250- C19</b>	<b>MP- 350- C19</b>	<b>MP- 400- C19</b>	<b>MP- 450-C19</b>	<b>MP- 550- C19</b>
<b>Revenimiento (cm)</b>	5.5	7.0	7.2	6.0	7.0	7.0
<b>Temperatura (°C)</b>	20	20.5	21.0	20.0	21.5	21.5
<b>Masa unitaria (kg/m<sup>3</sup>)</b>	2267	2282	2300	2291	2293	2299
<b>Contenido de aire (%)</b>	1.86%	1.71%	1.07%	2.0%	1.87%	1.80%

***Tabla 5.2.3.1-Resultados de pruebas en estado fresco ensayados en laboratorio y calculados por método gravimétrico. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

En cuanto a su comportamiento en estado fresco, las mezclas MP-200-C19 y MP-400-C19 son similares en cuanto al revenimiento; la temperatura de las mezclas es igual, es igual. Las mezclas MP-250-C19, MP-450-C19 y MP-550-C19 son similares en cuanto a su consistencia y temperatura. La mezcla MP-350-C19 tiene menos contenido de aire y más masa unitaria ya que a comparación de las otras, solo la mezcla MP-400-C19 contiene el 2.0% de aire atrapado.

#### **5.2.4.- Pruebas del concreto en estado endurecido**

De estas pruebas se puede obtener la resistencia a la compresión, a la tensión entre otros factores que son de mayor interés, pero para determinar su calidad y resistencia se hacen ensayos que pueden, o no, causar un daño de menor o mayor impacto al concreto, con tal de saber su resistencia y durabilidad; estas pruebas pueden ser destructivas y no destructivas, las cuales se presentarán a continuación.

### A) Pruebas no destructivas

Los ensayos no destructivos que se utilizaron para determinar la calidad de los especímenes son: el índice de rebote, el cual se realiza con la ayuda del esclerómetro, la velocidad de pulso ultrasónico, que se realiza con un aparato de señales de pulso y 2 transductores. Con estos ensayos se determina la calidad del concreto y lo conveniente es realizar los ensayos después de 7, 14, 28 o más días, pero en este caso, se hicieron ensayos a 14 y 28 días; los resultados obtenidos aparecen en las tablas:

<b>Muestra</b>	<b>Edad</b>	<b>f'c de diseño (kg/cm2)</b>	<b>Índice de rebote</b>	<b>Velocidad de pulso ultrasónico</b>
<b>MP-200-C19</b>	14 días	200.00	15	3940
<b>MP-250-C19</b>	14 días	250.00	-	-
<b>MP-350-C19</b>	14 días	350.00	22	4288
<b>MP-400-C19</b>	14 días	400.00	24	4363
<b>MP-450-C19</b>	14 días	450.00	24	4345
<b>MP-550-C19</b>	14 días	550.00	-	-

*Tabla 5.2.4.1-Pruebas no destructivas de especímenes con 14 días de edad. Fuente: Mendoza*

*Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.*

<b>Muestra</b>	<b>Edad</b>	<b>F'c de diseño (kg/cm2)</b>	<b>Índice de rebote</b>	<b>Velocidad de pulso ultrasónico</b>
<b>MP-200-C19</b>	28 días	200.00	18	4081
<b>MP-250-C19</b>	28 días	250.00	22	4225
<b>MP-350-C19</b>	28 días	350.00	24	4301
<b>MP-400-C19</b>	28 días	400.00	25	4444
<b>MP-450-C19</b>	28 días	450.00	25	4457
<b>MP-550-C19</b>	28 días	550.00	26	4521

***Tabla 5.2.4.2-Pruebas no destructivas de especímenes con 28 días de edad. Fuente: Mendoza***

***Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

Tanto a 14 como a 28 días de edad, todas las mezclas clasificaron con buena calidad según los resultados; para índice de rebote, si las lecturas tomadas están en el rango de acuerdo con la resistencia, y si las mismas lecturas no sobrepasa del valor promedio, se puede decir que la mezcla fue buena, en este caso, así fue ya que no se ha descartado ninguna lectura.

Para clasificar la calidad de la mezcla de acuerdo con la velocidad de pulso ultrasónico, se tomó la referencia de la tabla de calidades del concreto de acuerdo con la velocidad de pulso, lo cual, si se relaciona con los datos obtenidos, clasifican como mezclas de buena calidad.

## B) Pruebas destructivas

Para estos especímenes solamente se ha realizado una prueba destructiva, de compresión simple; después de aplicarle pruebas no destructivas a los especímenes, estos volverán a ser ensayados a compresión y determinar su resistencia; para ello se obtienen las dimensiones y pesos de los especímenes y se preparan para un ensaye destructivo.

Los especímenes se ensayarán a edades de 14 y 28 días, sometidos a compresión se tomará el dato de la carga última y se hace el cálculo. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.2.4.3.

<b>Mezcla</b>	<b>f'c de diseño 28 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f'c 14 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>f'c 28 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>MP-200-C19</b>	200.00	155.69	182.56
<b>MP-250-C19</b>	250.00	229.85	257.45
<b>MP-350-C19</b>	350.00	289.91	314.95
<b>MP-400-C19</b>	400.00	347.10	375.01
<b>MP-450-C19</b>	450.00	355.25	389.55
<b>MP-550-C19</b>	550.00	390.12	436.83

***Tabla 5.2.4.3-Resistencia a compresión de especímenes a 14 y 28 días de edad. Fuente:***

***Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

Los resultados que se han obtenido no son los esperados, esto se debe a la cantidad de agua, ya que para cada diseño es casi similar y, también puede influenciar en la cantidad y calidad del cemento; la única mezcla que ha resultado fue la MP-250-C19, otras mezclas están muy alejadas de su resistencia esperada.

### 5.3.- Proyecto 3.

Este proyecto se destaca en probar el concreto en su estado endurecido y, sobre todo, saber que tan resistente se vuelve el concreto cuando está expuesto al ataque de agentes ajenos al concreto, ya que esto tiene como consecuencia la corrosión del acero de refuerzo en una estructura, es por ello, que se realizan las pruebas de penetración y de migración de iones cloruros, para tener la certeza de que tan permeable es el concreto y que resistencia tiene ante estos fenómenos.

Antes de realizar pruebas de iones cloruro, lo primero es determinar su resistencia a compresión, módulo de elasticidad y relación de Poisson; estos son los resultados que arrojaron especímenes de 15x30 y 10x20 cm, fabricados para este proyecto.

#### 5.3.1.- Resistencia a compresión

Se ensayaron especímenes de 15x30 cm, los cuales se pesaron y se midieron sus dimensiones; estos resultados se muestran en la tabla 5.3.1.1:

<b>Espécimen</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Diámetros (mm)</b>	<b>Alturas (mm)</b>	<b>Áreas</b>	<b>Carga (ton)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
C1	12.975	150.67	300.33	178.29	102.722	576.15
C2	12.8	150.00	299.33	176.71	101.586	574.86

***Tabla 5.3.1.1- Resistencia a compresión simple de especímenes de 15x30 cm a 28 días de edad.***

***Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

Las pruebas realizadas indican que estos especímenes son muy resistentes a compresión, ideales para estructuras de concreto; al igual que la compresión simple también arrojó buenos resultados en cuanto a la similitud entre valores de módulo de elasticidad y Poisson.

<b>Espécimen</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Diámetros (mm)</b>	<b>Alturas (mm)</b>	<b>Áreas</b>	<b>Carga (ton)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
M1	13.025	151.00	300.33	179.08	102.722	573.61
M2	13.035	151.67	299.33	180.67	101.586	562.29
M3	3.895	100.33	200.67	79.06	49.7859	629.69
M4	3.85	100.00	198.67	78.54	49.9152	635.54

***Tabla 5.3.1.2- Resistencia ultima de especímenes para módulo de elasticidad de 15x30 cm y 10x20 cm a 28 días de edad. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

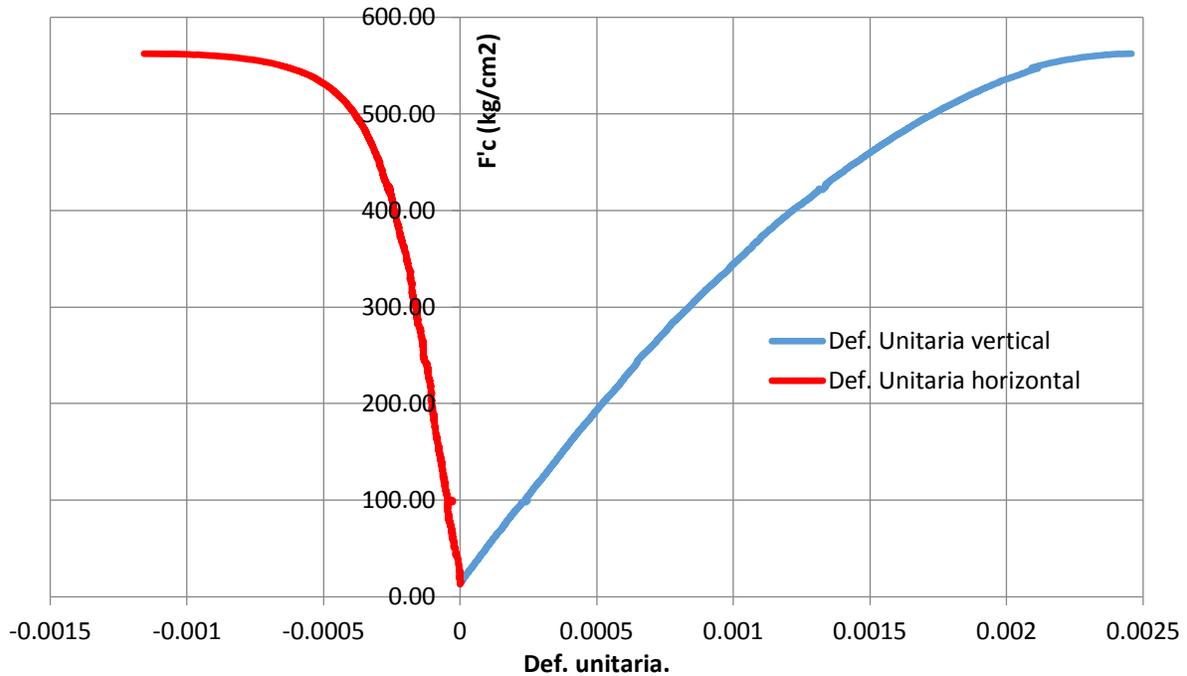
Los especímenes M1 y M2, tienen dimensiones de 15x30 cm; los especímenes M3 y M4 tienen dimensiones de 10x20 cm, los resultados indican que los especímenes de 10x20 cm son más resistentes a comparación que los otros, ya que, aunque sean la misma mezcla, son de menores dimensiones.

### 5.3.2.- Módulo de elasticidad

<b>Espécimen</b>	<b>Dimensiones (cm)</b>	<b>Módulo de elasticidad</b>	<b>Relación de Poisson</b>	<b>Deformación unitaria</b>
<b>M1</b>	15x30	351041	0.20	0.0025
<b>M2</b>	15x30	459046	0.26	0.0018
<b>M3</b>	10x20	380780	0.32	0.0022
<b>M4</b>	10x20	368122	0.28	0.0023
<b>Promedio</b>		389747	0.26	0.0022

*Tabla 5.3.2.1- Módulo de elasticidad, Poisson y deformaciones unitarias de especímenes de 15x30 cm y 10x20 cm a 28 días de edad. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.*

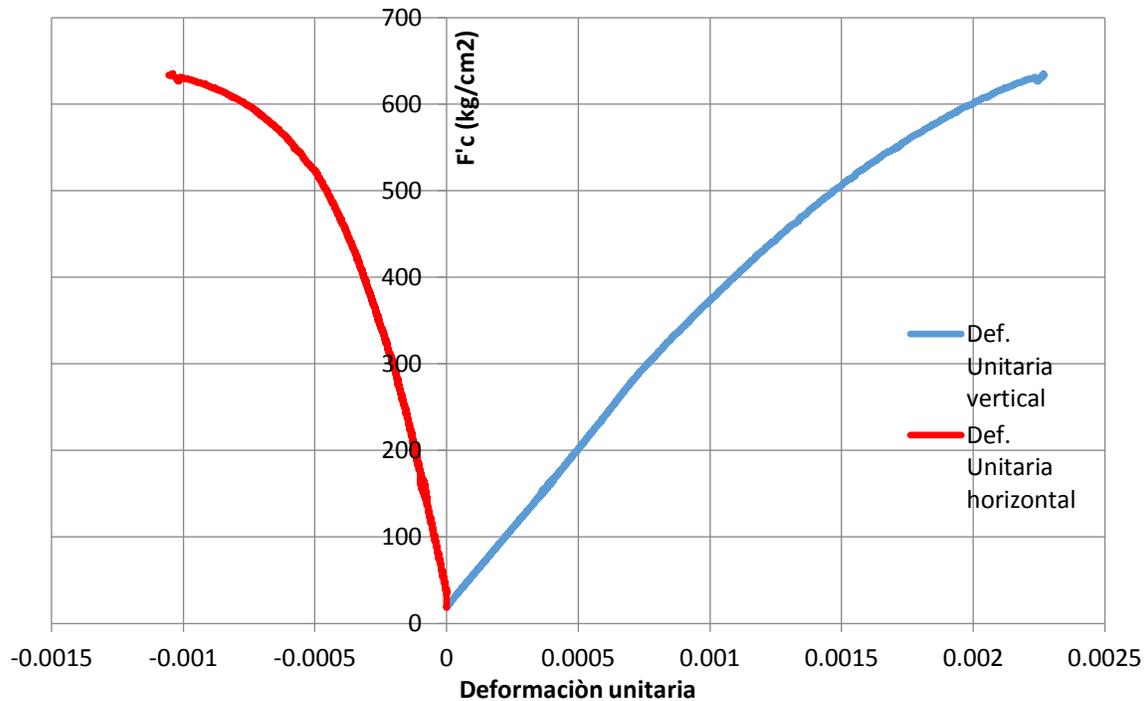
En cuanto a sus módulos de elasticidad, entre estos especímenes no es mucha la diferencia, eso incluye la relación de Poisson y, la deformación unitaria máxima.



***Grafica 5.3.2.1- Esfuerzo-deformación de espécimen de 15x30 cm a 28 días de edad. Fuente:***

***Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

En estas graficas se muestra el comportamiento esfuerzo deformación de especímenes de 15x30 cm, las cuales demuestran mayor resistencia a compresión. En la siguiente grafica se muestra el comportamiento del esfuerzo-deformación de especímenes de 10x20 cm, que igualmente, muestran mayor resistencia en la compresión.



**Grafica 5.3.2.2- Esfuerzo-deformación de espécimen de 10x20 cm a 28 días de edad. Fuente:**

***Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

Los especímenes de 10x20 cm demostraron ser más resistentes debido a sus dimensiones, pero soporta la deformación un poco menos que los especímenes de 15x30 cm. Siendo las mismas mezclas no hay tanta diferencia en cuanto a estas pruebas destructivas.

### **5.3.3.- Resistencia a la penetración ion cloruro ASTM 1202.**

Este ensaye se realizó haciendo una extracción de corazones de 10 cm de diámetro a partir de cilindros concreto de 15x30 cm, para la obtención de pastillas de 10x5 cm y con la ayuda de un dispositivo conectado a un software propio llamado PROOVE IT®, el cual está programado para realizar la medición de corriente y el cálculo del área bajo la curva, resultado de la gráfica de corriente contra el tiempo.

Como este dispositivo está programado para hacer ese cálculo por igual, se hace el resumen de los resultados clasificando la calidad del concreto en cuanto a dar paso a la penetración de cloruros; los resultados de los distintos especímenes son los siguientes:

<b>Espécimen</b>	6-2-2	6-1-1	5-1-2	5-2-1
<b>Carga que pasa (Coulombs)</b>	4849	5506	4576	5009
<b>Clasificación</b>	ALTA	ALTA	ALTA	ALTA

***Tabla 5.3.3.1-Resultados de prueba de resistencia a la penetración del ion cloruro de pastillas extraídas de corazones de cilindros de 15x30 cm. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

<b>Espécimen</b>	7-1	8-2	7-3
<b>Carga que pasa (Coulombs)</b>	3634	3057	3523
<b>Clasificación</b>	MODERADA	MODERADA	MODERADA

***Tabla 5.3.3.2-Resultados de prueba de resistencia a la penetración del ion cloruro de pastillas extraídas de cortes de cilindros de 10x20 cm. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

#### **5.3.4- Determinación del coeficiente de migración de cloruros NT BUILD 492.**

En este ensaye se puede hacer el cálculo del coeficiente de migración de cloruros, así como la observación visual de la penetración de cloruros; esta prueba también fue realizada en el dispositivo PROOVE IT®, el cual está programado para realizar cálculos y el reporte final de la prueba.

<b>Espécimen</b>	6-1-2 A	6-1-2 B	6-2-1 A	6-2-1 B	5-1-1 A	5-1-1 B	5-2-2 A	5-2-2 B
<b>U (V)</b>	20	20	20	20	20	20	20	20
<b>T (°C)</b>	22.88	22.88	22.75	22.75	23.05	23.05	23.2	23.2
<b>L (mm)</b>	50.36	50.36	50.08	50.08	50.14	50.14	50.25	50.25
<b>X<sub>d</sub> (mm)</b>	43.65	45.98	39.35	40.31	35.85	34.12	43.43	43.72
<b>t (horas)</b>	24	24	24	24	24	24	24	24
<b>D<sub>nssm</sub> (X10<sup>-12</sup> m<sup>2</sup>/s)</b>	32.25	34.07	28.74	29.48	26.08	24.74	32.05	32.27
	33.16		29.11		25.41		32.16	
<b>Promedio</b>	30.0							

**Tabla 5.3.4.1- Resultados de coeficientes de migración de cloruros en estado no estacionado en pastillas producto de la extracción de corazones en cilindros de 15x30 cm. Fuente:**

***Mendoza Escobedo, Carlos J. Instituto de Ingeniería UNAM.***

En estos especímenes el coeficiente de penetración es mayor, lo que significa que es muy permeable y susceptible al ataque de cloruros, esto también se pudo observar en la visualización de las mitades de cada pastilla cuando reaccionan al AgNO<sub>3</sub>. Se consideran el concreto de calidad buena en cuanto a resistencia, pero muy penetrante ante los cloruros.

Especimen	CILINDROS 10x20					
	8-1A	8-1B	7-2A	7-2B	8-3A	8-3B
U (V)	20	20	20	20	20	20
T (°C)	24.23	24.23	24.30	24.30	24.03	24.03
L (mm)	50.34	50.34	50.14	50.14	50.15	50.15
X <sub>d</sub> (mm)	21.15	20.06	19.85	18.89	16.94	16.04
t (horas)	24	24	24	24	24	24
D <sub>nssm</sub> (X10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s)	14.9	14.1	13.9	13.1	11.6	11
	14.48		13.49		11.30	
Promedio	13.1					

**Tabla 5.3.4.2- Resultados de coeficientes de migración de cloruros en estado no estacionado en pastillas producto del corte en cilindros de 15x30. Fuente: Mendoza Escobedo, Carlos J.**

**Instituto de Ingeniería UNAM.**

Estos especímenes son de la misma mezcla, pero demostraron ser menos penetrantes y susceptibles al ataque de cloruros, de igual forma, cuando estos especímenes se dividen y reaccionan con el AgNO<sub>3</sub>, se puede observar que la penetración es mínima; y como demostraron ser muy resistentes a compresión, son de buena calidad en comparación con los anteriores.

#### **4.- Conclusiones**

Durante el servicio social en el Instituto de ingeniería de la UNAM, he participado en proyectos en los cuales comprueban la calidad del concreto, además de seguir sus respectivos estándares para demostrar el comportamiento y la validez del concreto para su aplicación estructural, el cual se ha probado que el concreto tiene buena calidad en los agregados pétreos, es favorable ante pruebas en estado fresco y endurecido, ya sean destructivas y no destructivas; pero tiene desventajas en otras pruebas como ataque de iones cloruro, las cuales han probado que el concreto, aunque tenga buena resistencia, no significa que sea de excelente calidad. Sobre los proyectos de investigación de parte del instituto, puedo concluir que, sobre los resultados obtenidos en cada proyecto he llegado a lo siguiente:

- Durante la realización del proyecto he comprobado que el uso de las macrofibras en el concreto es de utilidad para disminuir la falla frágil por resistencia a compresión y a tensión, aumentando su ductilidad; al igual que puede reducir la contracción del concreto por secado, además de disminuir el agrietamiento. El uso de estas fibras es recomendable para obras subterráneas ya que puede dar ductilidad contra fuerza aplicada por el suelo y agua, las fibras de polipropileno son más viables que las de acero, ya que a pesar de que las fibras de acero pueden dar más ductilidad al concreto que las fibras sintéticas, son afectadas por las condiciones del suelo y el agua para obras subterráneas.
- La evaluación de los materiales componentes del concreto, los cuales se han comprobado que son de buena calidad, además que cumplen con los estándares, demostrando lo adecuados que son para una mezcla de concreto. Aunque se cumplan con la calidad de los materiales para un concreto, hay variables que cambiaron al momento del cálculo del diseño de cada mezcla de concreto, ya que, los resultados no fueron los esperados, pero...

...son de apoyo para investigaciones y resultados en el futuro. En todos los diseños se recomienda verificar correctamente las relaciones agua/cemento de cada mezcla, ya que en concretos de baja resistencia se ha presentado casos de segregación, debido a la cantidad de agua.

- Se ha comprobado que las estructuras de concreto pueden ser afectadas por agentes químicos; además del ataque de sulfatos, se puede comprobar la penetración de iones cloruro, los cuales afectan la combinación entre concreto y acero, provocando corrosión del acero y disminución de resistencia en una estructura. Los resultados obtenidos indican que son de buena calidad y muy resistentes a compresión, ya que son concretos de tipo estructural; pero tiene una gran diferencia, ya que, a pesar de ser una misma mezcla, las primeras muestras mostraron mayor penetrabilidad al ion cloruro que las otras. Para la protección del acero de refuerzo se recomienda el uso de aditivos inhibidores de corrosión, o también se sabe sobre el uso de acero revestido con epoxi para algunos casos (*Steven H. Kosmatka, Kerkhoff, William C. Panarese, Tanesi. PCA*).

## 5.- Bibliografía

- ACI 211.1-2002- “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete”.
- ACI 228.1R- “In-Place Methods to Estimate Concrete Strength”.
- ACI 228.2R- “Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures”.
- ACI 318S-05- “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural”.
- ACI 544.5R-10- “Report on the Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete”.
- ASTM C31-03- “Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field”.
- ASTM C125-15- “Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates”.
- ASTM C157-08- “Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete”.
- ASTM C215-02- “Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens”.
- ASTM C469-02- “Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression”.
- ASTM C490- “Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete”.
- ASTM C597-02- “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”.
- ASTM C617-03- “Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens”.
- ASTM C805-02- “Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete”.
- ASTM C1116-03- “Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete”.

- ASTM C1202-12- “Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration”.
- ASTM C1231-02- “Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders”.
- Mehta, Monteiro (1985), “Concreto. Estructura, propiedades y materiales”. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Neville (1980), “Tecnología Del Concreto, Tomo I, II y III”, Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto”.
- NMX-C-403-ONNCCE-1999- “Industria De La Construcción - Concreto Hidráulico Para Uso Estructural”.
- NMX-C-030-ONNCCE-2004- “Industria De La Construcción – Muestreo De Agregados Pétreos Para Concreto”.
- NMX-C-077-ONNCCE-1997- “Industria De La Construcción – Análisis Granulométrico – Método De Prueba”.
- NMX-C-083-ONNCCE-2004- ““Industria De La Construcción - Concreto - Determinación De La Resistencia A La Compresión De Especímenes - Método De Prueba”.
- NMX-C.084-ONNCCE-2006- “Agregados Para Concreto – Partículas Mas Finas Que Pasan Por La Malla N° 200”.
- NMX-C-109-ONNCCE-2008- "Industria De La Construcción - Concreto - Cabeceo De Especímenes”.
- NMX-C-111-ONNCCE-2004- “Agregados Para Concreto-Especificaciones Y Métodos De Prueba”.

- NMX-C-122-ONNCCE-2004- “Industria De La Construcción-Agua Para Concreto”.
- NMX-C-128-ONNCCE-2008- “Industria De La Construcción - Concreto Sometido A Compresión - Determinación Del Módulo De Elasticidad Estático Y Relación De Poisson”.
- NMX-C-148-ONNCCE-2007- “Industria De La Construcción-Concreto - Gabinetes, Cuartos Húmedos Y Tanques De Almacenamiento Para Las Pruebas De Cementantes Y Concretos Hidráulicos – Especificaciones”.
- NMX-C-159-ONNCCE-2004 “Industria De La Construcción – Concreto – Elaboración Y Curado De Especímenes En El Laboratorio”.
- NMX-C-160-ONNCCE-2008 “Industria De La Construcción – Concreto – Elaboración Y Curado De Especímenes En Obra”.
- NMX-C-162-ONNCCE-2008- “Industria De La Construcción - Concreto - Determinación De La Masa Unitaria, Calculo Del Rendimiento Y Contenido De Aire Del Concreto Fresco Por El Método Gravimétrico”.
- NMX-C-164-ONNCCE-2002- “Industria De La Construcción - -Agregados – Determinación Del Peso Específico Y Absorción Del Agregado Grueso”.
- NMX-C-165-ONNCCE-2004- “Industria De La Construcción - -Agregados – Determinación Del Peso Específico Y Absorción Del Agregado Fino”.
- NMX-C-169-ONCCE-2008- “Industria De La Construcción - Concreto- Extracción Y Preparación De Especímenes Cilíndricos O Prismáticos De Concreto Hidráulico Endurecido”.
- NMX-C-170-ONCCE-1997- “Industria De La Construcción – Agregados – Reducción De Muestras De Agregados Obtenidas En Campo Al Tamaño Requerido”.

- NMX-C-192-ONNCCE-2008- “Industria De La Construcción - Concreto - Determinación Del Número De Rebote Utilizando El Dispositivo Conocido Como Esclerómetro”.
- NMX-C-277-ONNCCE-2002- "Industria De La Construcción – Agua Para Concreto – Muestreo”.
- NT-BUILD 492-1999- “Concrete, Mortar And Cement-Based Repair Materials: Chloride Migration Coefficient From Non-Steady-State Migration Experiments”.
- PCA (2008) “Diseño y control de mezclas de concreto”. Steven H. Kosmatka, Kerkhoff, William C. Panarese, Tanesi.
- Portland (1981) “Proyecto y Control de Calidad del Concreto”. Ed. Limusa. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.