

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PROFESIONAL

“Comparativa de concreto hidráulico sometido a curado por inmersión y curado a la intemperie”

Que para obtener el título de:

Ingeniero Civil

Presenta:

Isaías Trujillo Calderón

Asesor:

M.I. Cindy Lara Gómez

Coasesores:

M.I Noel Díaz González

M.I Marco Antonio Mondragón

Morelia, Michoacán, enero de 2016



Resumen

El curado del concreto, es el proceso por el cual se debe garantizar la humedad y temperatura necesaria para que el concreto adquiera sus buenas propiedades. Desafortunadamente a este proceso no se le da la importancia que se requiere y en algunos casos los elementos presentan grietas y baja resistencia por lo que este trabajo se analizan las variaciones de curado por inmersión y curados a la intemperie de la ciudad de Morelia en especímenes cilíndricos.

Se elaboraron un total de 96 cilindros de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura de los cuales probaron 6 especímenes por edad (7, 14, 28 y 90 días) y por tipo de curado (curado y sin curar) y 24 vigas de 15x15x60 cm 3 por edad (28 y 90 días) y por tipo (curado y sin curar). Utilizando relación agua cemento de 0.4 y 0.6. Las pruebas que se realizaron a los cilindros fueron; compresión simple, velocidad de pulso, resistividad eléctrica. Las pruebas que se realizaron a las vigas fueron flexión, compresión en corazones extraídos de fragmentos de viga, porosidad total y porosidad efectiva en corazones.

PALABRAS CLAVE: Concreto hidráulico, corado, porosidad, durabilidad, pruebas electroquímicas.



Abstract

The curing of concrete, is the process by which must be guaranteed moisture and temperature required for the concrete to acquire good properties. Unfortunately, it is not given the importance required to this process and some cases elements have cracks and low resistance. So this work analyzed variations immersion cured, and cured outdoors in cylindrical specimens in Morelia city.

A total of 96 cylinders of 15 cm in diameter were produced by 30 cm of which tested six specimens per age (7, 14, 28 and 90 days) and by type of curing (cured and uncured) and 24 beams 15x15x60 cm 3 age (28 and 90 days) and type (cured and uncured). Using water to cement ratio of 0.4 and 0.6. The tests were conducted to the cylinders; simple compression, pulse velocity, electrical resistivity. The tests were conducted to beams bending, compression hearts extracted beam fragments, total porosity, effective porosity hearts.



Objetivos

Generales

- Determinar la afectación de la resistencia a la compresión cuando el concreto no se cura en el ambiente de la ciudad de Morelia.
- Corroborar si se consigue un concreto más durable al reducir los poros de la pasta cementante al ser curado.

Particulares

- Comparar la resistencia a la compresión de los especímenes curados y sin curar a distintas edades.
- Comparar las variaciones de curado para las relaciones agua/cemento de 0.4 y 0.6 respecto a su masa.



Dedicatorias

Este trabajo se lo dedico a mi mamá que se esfuerza demasiado por nosotros sus hijos y que gracias a ella he podido culminar la carrera. A mi papá por haberme inculcado grandes valores y amor al trabajo sobre todo al trabajo de la construcción.

A mis hermanos y familiares por su apoyo durante toda la carrera y este trabajo de investigación.

A mis compañeros de trabajo, Marco Antonio, Noel, Eduardo y José Jesús por su gran amistad.

A mis conocidos Francisco, Gustavo, José Luis y Víctor Hugo por su gran amistad.



Agradecimientos

A Dios y a la virgen de Guadalupe a quienes siempre me encomiendo para que todo salga bien.

A mi asesora y jefa; la **M.I Cindy Lara Gómez** por darme la oportunidad de realizar este trabajo bajo su asesoramiento, por todo el gran apoyo que me dio durante estos dos añitos de investigación y por ser una persona de la cual se sigue como ejemplo por su gran amabilidad y sencillez.

A la doctora **Elia Mercedes Alonso Guzmán** y al Ingeniero **Wilfrido Martínez Molina** por permitirme tener el privilegio de formar parte de su equipo de trabajo.

A mi jefe **J. Jesús Zauno Zamudio** y a mis compañeros de trabajo **J. Eduardo Hernández Razo, Noel Díaz González y Marco Antonio Mondragón Ornelas**, no solo por su gran y valiosa ayuda en este trabajo sino también por permitirme entrar en la mamada y con nuestra característica forma de ser, llevar el trabajo con responsabilidad de forma divertida.

A mis compañeras y compañeros; **Judith, Rosalía, Sandra, Elizabeth, Maybelin Mauricio, Sergio, Hugo Luis, Arturo y Alberto** por su gran amistad y por tolerarme durante todo este tiempo.

Al Laboratorio de materiales “Ing. Luis Silva Ruelas” de la Facultad de Ingeniería civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; equipo e instalaciones donde se desarrolló esta experimentación.

A todos muchas gracias!



Índice de contenido

Contenido

Resumen	1
Abstract	2
Objetivos	3
Dedicatorias	4
Agradecimientos	5
Índice de contenido	6
Índice de tablas	9
Índice de ilustraciones	9
Índice de Gráficas	10
1. Introducción	11
2. Justificación	12
3. Marco teórico	13
3.1. Historia del concreto	13
3.2. Materiales para concreto	14
3.2.1. Agregados pétreos	14
3.2.2. Cementante hidráulico	15
3.2.3. Agua para mezclado	19
3.2.4. Aditivos para concreto	20
3.3. Concreto fresco	22
3.3.1. Fluidéz	22
3.3.2. Segregación	24
3.3.3. Sangrado	24
3.4. Concreto Endurecido (pruebas)	25
3.4.1. Resistencia a la compresión	26
3.4.2. Resistencia a la flexión	27
3.4.3. Velocidad de pulso Ultrasonico	28
3.4.4. Resistividad eléctrica	28
3.4.5. Porosidad efectiva (Fagerlund)	29
3.4.6. Porosidad total	30
3.5. Curado del concreto	31
3.5.1. Definición	31



3.5.2.	Hidratación del cemento	32
3.5.3.	Métodos y materiales de curado.....	33
3.5.4.	Curado en especímenes de concreto	38
3.5.5.	Curado en elementos cimbrados.....	39
4.	Desarrollo experimental	41
4.1.	Caracterización física del agregado fino	41
4.1.1.	Muestreo de arena	41
4.1.2.	Cuarteo de arenas.....	42
4.1.3.	Masas volumétricas	43
4.1.4.	Capacidad de absorción.....	44
4.1.5.	Densidad de la arena	46
4.1.6.	Granulometría en arenas.....	47
4.1.7.	Colorimetría.....	48
4.2.	Caracterización física del agregado grueso.....	49
4.2.1.	Muestreo de grava	49
4.2.2.	Cuarteo	50
4.2.3.	Masas volumétricas	50
4.2.4.	Capacidad de absorción.....	52
4.2.5.	Densidad de la grava	53
4.2.6.	Granulometría en gravas.....	54
4.3.	Caracterización física del cemento	55
4.3.1.	Densidad del cemento.....	55
4.3.2.	Consistencia normal	56
4.3.3.	Tiempos de fraguado.....	57
4.4.	Diseño de mezcla	58
4.5.	Pruebas al concreto fresco	59
4.5.1.	Prueba de fluidez.....	59
4.6.	Pruebas al concreto endurecido	61
4.6.1.	Resistencia a la compresión	61
4.6.2.	Prueba de los tercios medios.....	63
4.6.3.	Velocidad de pulso ultrasónico.....	64
4.6.4.	Resistividad eléctrica.....	65
4.6.5.	Porosidad total.....	65
4.6.6.	Porosidad efectiva	67



5. Resultados	68
5.1. Diseño de mezcla	68
5.2. Agregado finos	69
5.2.1. Masa volumétrica seca suelta	69
5.2.2. Masa volumétrica seca varillada	69
5.2.3. Capacidad de absorción	69
5.2.4. Densidad	70
5.2.5. Granulometría	70
5.2.6. Colorimetría	71
5.3. Agregado grueso	72
5.3.1. Masa volumétrica seca suelta	72
5.3.2. Masa volumétrica seca varillada	72
5.3.3. Capacidad de absorción	72
5.3.4. Densidad	73
5.3.5. Granulometría	73
5.4. Cementante	74
5.4.1. Densidad	74
5.4.2. Consistencia normal	74
5.4.3. Tiempos de fraguado	74
5.5. Resistencia a la compresión	75
5.5.1. Relación agua/cemento 0.4	75
5.5.2. Relación agua/cemento 0.6	75
5.6. Resistencia a la flexión	76
5.6.1. Relación agua/cemento 0.4	76
5.6.2. Relación agua/cemento 0.6	76
5.7. Velocidad de pulso ultrasónico	77
5.7.1. Relación agua/cemento 0.4	77
5.7.2. Relación agua/cemento 0.6	77
5.8. Resistividad eléctrica	78
5.8.1. Relación agua/cemento 0.4	78
5.8.2. Relación agua/cemento 0.6	78
5.9. Porosidad total	79
5.10. Porosidad efectiva	80
6. Conclusiones	81



Bibliografía	82
---------------------------	-----------

Índice de tablas

<i>Tabla 3-I Forma y textura del agregado. (Neville, 1999)</i>	15
<i>Tabla 3-II Tipos y clases de cemento</i>	18
<i>Tabla 3-III Comparativo de Cementos NMX-ASTM</i>	19
<i>Tabla 3-IV Especificaciones - Agua para concreto (NMX-C-122-ONNCCE, 2004)</i>	19
<i>Tabla 3-V "Clasificación de los aditivos"</i>	21
<i>Tabla 3-VI "Criterio de riesgo a la corrosión"</i>	29
<i>Tabla 4-I "Tolerancia para revenimiento"</i>	59
<i>Tabla 5-I "Dosificación para un m3 de concreto por el método del ACI"</i>	68
<i>Tabla 5-II "Dosificación para un bulto de cemento por el método del ACI"</i>	68
<i>Tabla 5-III "Masa Volumétrica Seca Suelta en arenas"</i>	69
<i>Tabla 5-IV "Masa Volumétrica Seca Varillada en arenas"</i>	69
<i>Tabla 5-V "Capacidad de Absorción en arenas"</i>	69
<i>Tabla 5-VI "Densidad por medio del picnómetro y la probeta"</i>	70
<i>Tabla 5-VII "Densidad por medio del frasco de Chapman"</i>	70
<i>Tabla 5-VIII "Granulometría promedio en arenas"</i>	70
<i>Tabla 5-IX "Masa volumétrica Seca Suelta en gravas"</i>	72
<i>Tabla 5-X "Masa Volumétrica Seca Suelta en gravas"</i>	72
<i>Tabla 5-XI "Absorción en gravas"</i>	72
<i>Tabla 5-XII "Densidad en gravas"</i>	73
<i>Tabla 5-XIII "Granulometria en gravas"</i>	73
<i>Tabla 5-XIV "Análisis granulométrico en gravas"</i>	73
<i>Tabla 5-XV "Densidad en cemento"</i>	74
<i>Tabla 5-XVI "Consistencia normal del cemento"</i>	74
<i>Tabla 5-XVII "Tiempos de fraguado del cemento"</i>	74
<i>Tabla 5-XVIII "Resultados de porosidad total"</i>	79
<i>Tabla 5-XIX Comparativa de porosidad efectiva</i>	80

Índice de ilustraciones

<i>Ilustración 3-I Agregados triturados, volcánicos y de río</i>	15
<i>Ilustración 3-II Instalaciones de la planta "La Cruz Azul", Tula de Allende, Hgo.</i>	16
<i>Ilustración 3-III Prueba de revenimiento</i>	23
<i>Ilustración 3-IV "Especificaciones Red Durar"</i>	28
<i>Ilustración 3-V "Variaciones de resistencia a la compresión de acuerdo al tiempo de curado" (Steven H. Kosmaka, 2004)</i>	31
<i>Ilustración 3-VI "Relación entre resistencia a la compresión y la relación a/c a los 28 días"</i>	32
<i>Ilustración 3-VII "Tiempos para curado inicial y curado fina" ACI 308-01 pág. 10</i>	34
<i>Ilustración 3-VIII "Curado por inmersión en losa de pavimentación"</i>	35
<i>Ilustración 3-IX "Curado con película plástica"</i>	36
<i>Ilustración 3-X "Curado con membrana plástica color blanco"</i>	37
<i>Ilustración 3-XI "Curado en cuarto húmedo"</i>	38
<i>Ilustración 3-XII "Pila de curado"</i>	38
<i>Ilustración 3-XIII "Curado en muro de concreto por medio de aspersor"</i>	39



<i>Ilustración 3-XIV</i> "Curado de columna por medio de aspersion"	40
<i>Ilustración 4-I</i> . Localización del banco de materiales "San José".	41
<i>Ilustración 4-II</i> . "Obtención del agregado fino"	41
<i>Ilustración 4-III</i> "Muestra de arena cuarteada"	42
<i>Ilustración 4-IV</i> "M.V.S.V de la arena"	44
<i>Ilustración 4-V</i> "Prueba de densidad en arenas"	46
<i>Ilustración 4-VI</i> "Muestra de arena dividida por tamaños"	47
<i>Ilustración 4-VII</i> "Comparación colorimétrica de la arena"	48
<i>Ilustración 4-VIII</i> "Localización del banco la Rocka"	49
<i>Ilustración 4-IX</i> "Muestreo de la grava en el banco"	49
<i>Ilustración 4-X</i> "Muestra de grava cuarteada"	50
<i>Ilustración 4-XI</i> "Registro de masa para m.v.s.v"	51
<i>Ilustración 4-XII</i> "Prueba de granulometría en arenas"	54
<i>Ilustración 4-XIII</i> "Prueba de revenimiento"	60
<i>Ilustración 4-XIV</i> "Máquina universal Forney"	62
<i>Ilustración 4-XV</i> "Prueba de compresión"	62
<i>Ilustración 4-XVI</i> "Prueba de los tercios medios"	63
<i>Ilustración 4-XVII</i> "Prueba de velocidad de pulso"	64
<i>Ilustración 4-XVIII</i> "Prueba de porosidad total"	66
<i>Ilustración 5-I</i> "Comparación colorimétrica"	71

Índice de Gráficas

<i>Gráfica 5-1</i> "Análisis granulométrico en arenas"	71
<i>Gráfica 5-2</i> Comparativa de resistencia a la compresión con relación a/c de 0.4	75
<i>Gráfica 5-3</i> Comparativa de resistencia a la compresión con relación a/c de 0.6	75
<i>Gráfica 5-4</i> Comparativa de resistencia a la flexión con relación a/c de 0.4	76
<i>Gráfica 5-5</i> Comparativa de resistencia a la flexión con relación a/c de 0.6	76
<i>Gráfica 5-6</i> Comparativa de VPU con relación a/c de 0.4	77
<i>Gráfica 5-7</i> Comparativa de VPU con relación a/c de 0.6	77
<i>Gráfica 5-8</i> Comparativa de Resistividad eléctrica con relación a/c de 0.4	78
<i>Gráfica 5-9</i> Comparativa de Resistividad eléctrica con relación a/c de 0.6	78
<i>Gráfica 5-10</i> Comparativa de porosidad total	79
<i>Gráfica 5-11</i> Comparativa de porosidad efectiva	80



1. Introducción

Sin duda alguna, el concreto hidráulico es el material más utilizado para elaborar elementos estructurales en las edificaciones, tiene la característica de ser moldeable en estado fresco y obtener buenas propiedades mecánicas al endurecer. El concreto es una mezcla de agregados y cemento hidráulico, por lo que las propiedades de estos materiales son indispensables para obtener un buen concreto, por otra parte, la mano de obra es fundamental para obtener buenos elementos de concreto.

Las condiciones ambientales de igual manera intervienen en la calidad del concreto, por mencionar algo, no se tiene el mismo control cuando se vuelan elementos en obra que cuando son prefabricados. En estos últimos se pueden controlar las condiciones ambientales como la lluvia, rayos del sol, temperaturas altas, humedades bajas que afectan las propiedades del concreto al estar endureciendo.

El concreto es una mezcla de materiales en el que se requiere de un proceso para obtener un producto. Se pueden tener los mismos materiales pero si no se sigue el mismo proceso se tendrán distintos resultados en el producto, que en el concreto el resultado de mayor importancia es la resistencia a la compresión. El curado tanto en obra como en laboratorio es importante que se realice de la misma forma ya que se afectan los resultados si el curado cambia (Steven H. Kosmaka, 2004). Esta prueba se realizó para las dos mezclas en las distintas edades.

La durabilidad del concreto reforzado se puede medir en la medida con la que se encuentra protegido el acero con el recubrimiento, si el recubrimiento es con un concreto poroso este tendrá menor durabilidad. La porosidad efectiva determina en porcentaje la cantidad de poros intersticiales que se encuentran en el concreto determinando así si es un porosidad alta o baja según sean las necesidades. Otro parámetro para determinar la durabilidad del concreto reforzado es la resistividad eléctrica, prueba en la que la muestra de concreto debe estar completamente saturada y si esta tiene una resistividad alta tendrá una alta durabilidad. Ambas pruebas de ejecutaron en las muestras de esta investigación.



De esta manera podemos evaluar al concreto elaborado con materiales y condiciones ambientales de la ciudad de Morelia cuando se cura por inmersión y cuando se deja al ambiente.

2. Justificación

Este trabajo pretende aportar información acerca de los métodos de curado en el concreto hidráulico tanto en obra como en el control de calidad y variaciones en las propiedades físicas y mecánicas. Con la finalidad de quien consulte este trabajo analice los resultados y pueda tener un criterio de como curar y que ventajas presenta curar los elementos de concreto, así como cuales son los elementos y climas más desfavorables para el concreto.

A pesar de que en México se tienen décadas trabajando con el concreto reforzado, en la actualidad es fácil tener problemas al utilizar este material. Estos problemas se presentan generalmente terminada la obra, como elementos flechados, agrietamiento y/o poca durabilidad. Gran parte de esto se debe a que no se estudian los materiales que intervienen en el concreto, pero también a que la mano de obra no es la satisfactoria. De todo el proceso que interviene en la elaboración de elementos de concreto en este trabajo de investigación nos centraremos en el curado.



3. Marco teórico

3.1. Historia del concreto

Desde que el hombre se volvió sedentario se ha tenido la necesidad de realizar todo tipo de construcciones con la finalidad de satisfacer las necesidades de la sociedad, por mencionar algunas; casas, canales hidráulicos, pavimentaciones y monumentos. Con el paso del tiempo han ido incrementando estas necesidades y afortunadamente se han podido satisfacer gracias a los avances ingenieriles. Recordemos que desde hace siglos se construyen grandes estructuras, por mencionar alguna, la pirámide de Guiza en Egipto. En ella se utilizaron bloques de piedra caliza y una junta de mortero de yesos y piedras calizas y la cual aún sigue de pie desde hace más de 4,500 años. Como bien se sabe, para el buen funcionamiento de una estructura es de vital importancia conocer el comportamiento físico, químico y mecánico de los materiales que intervienen en ella.

Desde entonces se han utilizado distintos tipos de materiales con la finalidad de darle un funcionamiento óptimo a los materiales usados en la construcción y solo prevalecen los que mejores resultados han mostrado basados en los comportamientos sujetos a distintos fenómenos durante el tiempo en las estructuras antiguas. Uno de estos materiales es el concreto hidráulico.

“El concreto es la mezcla de un aglomerante, agregados pétreos y en el caso del concreto hidráulico, agua. Se le llama concreto hidráulico ya que el aglomerante, en el mayor de los casos cemento portland, genera una reacción exotérmica al mezclarse con el agua teniendo la propiedad de estar en estado moldeable y por medio del fraguado cambiar a un estado de dureza.”

Al igual que el concreto, la mampostería se ha utilizado desde hace siglos y ha sido un método muy eficaz de construcción pero debido a la necesidad de crear estructuras de mayor magnitud surge el concreto reforzado.

El concreto reforzado es un esqueleto de acero, u otro material, de propiedades similares como la fibra de vidrio, inmerso en un cuerpo de concreto. Las primeras patentes fueron registradas a mediados del siglo XIX y su auge fue a inicios del siglo XX, cuando se realizaron obras de gran magnitud como la presa Hoover en el estado de California y otros edificios de gran altura en los Estados Unidos de América. En la actualidad el acero y el concreto reforzado son los materiales que predominan por su uso en estructuras de pequeña y gran magnitud. (Neville, 1999)



3.2. Materiales para concreto

Mencionado anteriormente, el concreto está constituido principalmente de agregados pétreos, cementante y agua, también es importante mencionar que existe aire atrapado aunque éste haya sido vibrado. En volumen de concreto, el cementante oscila entre 7 y 15 por ciento, el agua entre 14 y 25 por ciento, el contenido de aire entre 4 y 8 por ciento y el agregado entre 60 y 75 por ciento.

El cementante es el material de mayor importancia económicamente a pesar de tener un bajo contenido en el concreto. Sin embargo el agregado es el material que más abunda en el concreto, por lo tanto es importante prestar atención a sus propiedades. Elaborar concreto es lo más sencillo de hacer, elaborarlo de forma adecuada en base a especificaciones no es tan sencillo, para hacerlo se requiere de buenos materiales y una excelente mano de obra, si se tienen buenos materiales y una deficiente mano de obra será difícil elaborar un buen concreto, entonces para lograrlo se requiere saber elegir los materiales, el método de elaboración y al personal técnico.

3.2.1. Agregados pétreos

Los agregados son el material que nos permite optimizar económicamente el concreto ya que su obtención es relativamente sencilla y abunda en muchas regiones del país, todo el agregado pétreo no es óptimo para elaborar concreto y sus propiedades tanto físicas, químicas y mecánicas dependerá principalmente por su origen petrográfico y geológico y se tendrá que analizar de forma detallada. Al agregado lo podemos dividir por su tamaño en agregado grueso (grava) y agregado fino (arena). La norma mexicana (NMX-C-111-ONNCCE, 2004) clasifica a la grava a todo aquel material que es retenido por la malla N°4 (4.75 mm) y arena a todo aquel material que pasa dicha malla, aunque técnicamente el material que pasa la malla 200 contiene limos y arcilla, al hablar de concreto se consideran dentro de la arena.

EL agregado grueso es el que aporta mayor resistencia al concreto, si éste por su origen es resistente a la compresión facilitará un concreto resistente. Si se analizan resultados de pruebas de compresión en rocas sanas, se observará que pueden llegar a los 2000 kg/cm² y con este tipo de agregado será más fácil alcanzar resistencias altas del orden de los 600 kg/cm², en cambio sí se utilizan rocas que a la compresión resisten 300 kg/cm² será demasiado complicado alcanzar resistencias altas en el concreto. El agregado fino aunque no le da volumen al concreto, su granulometría es demasiado



importante permitiendo trabajabilidad y buen acomodo de las partículas en el concreto si ésta es uniforme (pág. 47).

En México, podemos clasificar al agregado por su explotación en

- Agregados de ríos o lagos (arenas y cantos rodados).
- Agregados volcánicos (se encuentran de manera natural).
- Agregados triturados (mediante trituración, la matriz rocosa reduce su tamaño).



Ilustración 3-I Agregados triturados, volcánicos y de río

El uso de agregados de ríos o lagos dependerá esencialmente del lugar donde se necesite el concreto, si se encuentra una fuente como ésta cerca de la obra será más económico explotar este recurso que transportar material de otra fuente. Hace algunas décadas podíamos encontrar agregados volcánicos de buena calidad en la mayoría de los bancos de materiales pero debido al crecimiento poblacional y a la demanda de concreto se ha tenido que recurrir al uso de agregados triturados en busca de mejor calidad, recordemos que calidad no solo se refiere a resistencia mecánica, existen otras propiedades físicas muy importantes como la forma y la textura que se tabulan a continuación.

Tabla 3-I Forma y textura del agregado. (Neville, 1999)

Forma	Textura
Redondeada	Vítrea
Irregular	Lisa
Escamosa	Granular
Angular	Áspera
Alargada	Cristalina
Escamosa y alargada	En forma de panal

Basados en formas de falla de la prueba de compresión en cilindros, se puede concluir que la forma redondeada de textura áspera es la mejor ya que permite una buena adherencia entre la matriz cementante y el agregado grueso.

3.2.2. Cementante hidráulico

El cemento hidráulico ha cambiado con el paso de los siglos, en la actualidad el cemento más usado es el cemento portland y debido a la gran comercialización que existe hoy en día es el cemento más común en todo el mundo. Estos cambios a través



del tiempo se deben principalmente a que la materia prima de la cual se produce el cemento no es la misma que hace siglos, además los métodos de producción también han cambiado debido a que la industria del cemento es la que más contamina el medio ambiente.

En la producción del cemento hidráulico es difícil definir una planta típica de producción ya que cada planta cementera funciona de distinta manera por sus instalaciones, maquinaria y método de producción (Ilustración 3.2). Existen dos procesos generales de producción; en húmedo y en seco. El proceso en seco es el que la mayoría de las plantas cementeras procura en la actualidad ya que contamina menos que el proceso húmedo.



Ilustración 3-II Instalaciones de la planta "La Cruz Azul", Tula de Allende, Hgo.

La materia prima que se necesita para la producción de cemento es el carbonato de calcio, este compuesto abunda en las calcitas, en la piedra caliza. Este material se encuentra en muchas regiones de nuestro país y aunque cada estrato de caliza presenta distintos compuestos, los más comunes en las distintas marcas para la producción de cemento hidráulico son; cal (CaO), hierro (Fe_2O_3), sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y yeso (CaSO_4). La materia prima que se extrae es roca de fragmentos mayores a 5 pulgadas que debe ser triturada hasta llegar a material fino, este material fino se mezcla con otros componentes que necesite la caliza para formar la harina cruda, ésta se almacena en silos y después es llevada al precalentador por un corto tiempo (20-40 min) con la finalidad de secar la harina cruda. Una vez seco este material, se calienta a altas temperaturas (1500°C aprox.) hasta formar pequeñas partículas (20 mm aprox.) llamadas clinker. El clinker se almacena en silos para enseguida mezclarlo en la premolienda con yeso y otros compuestos que cada marca cementera adiciona a sus productos, el yeso ayuda a controlar el fraguado y da la tonalidad gris que caracteriza al cemento. Hasta la producción del clinker, el proceso es el mismo para todos los tipos de cemento. Una vez mezclado y triturado se almacena el producto y está listo para ser empacado y puesto a la venta. (Steven H. Kosmaka, 2004) (Neville, 1999)



Existen cuatro principales compuestos que forman al cemento hidráulico, estos surgen del proceso anteriormente descrito y cada uno aporta distintas propiedades tanto en estado fluido como endurecido.

- Silicato tricálcico (SO₄A₃)
- Silicato dicálcico
- Aluminato tricálcico
- Aluminato dicálcico

Existen distintos tipos de cemento, se pueden clasificar en tres grandes grupos, cemento calcáreo, cemento portland y cemento de alta alúmina. Como se mencionó anteriormente el cemento portland es el más común y de éste hablaremos con más detalle.

Tipos de cemento portland.

- Tipo I

El tipo I es el más común, no solo en México, sino también a nivel mundial ya que sus propiedades como la finura, calor de hidratación y resistencia mecánica son conocidas ya que se utiliza desde hace mucho tiempo, permite ser usado en diferentes climas y gran variedad de elementos formados por concreto. Existen otros cuatro tipos de cemento en los cuales sus propiedades cambian con la finalidad de satisfacer las demandas que tendrá el concreto tanto en estado fresco como endurecido.

- Tipo II

Este tipo de cemento tiene la característica de ser resistente al ataque por sulfatos debido a su bajo contenido de Aluminato tricálcico (CA₃), un contenido alto de este compuesto (CA₃) ocasiona expansión y a su vez agrietamiento en el concreto cuando está expuesto a sulfatos. Otro factor que afecta la resistencia a este ataque es la relación Agua/Cemento, para que el concreto sea más durable ante la exposición a los sulfatos se necesita una baja relación A/C para que la cantidad de poros en el concreto se mínima y éste se haga impermeable impidiendo la penetración de cualquier agente químico al acero de refuerzo. (Steven H. Kosmaka, 2004)

- Tipo III

En algunos casos se requiere retirar la cimbra o poner en servicio la estructura en menor tiempo y para ello es necesario que el concreto alcance resistencias a edad temprana. Cuando este sea el caso el cemento portland tipo III satisface estos requerimientos debido a que los tamaños de las partículas son más pequeñas, su finura es mayor



permitiendo una alcance de resistencia a menor edad. Física y químicamente es muy similar al tipo I.

- Tipo IV

Este tipo de cemento tiene la propiedad de liberar calor de forma más lenta y en menor cantidad que los otros tipos de cementos. Cuando se aumenta la cantidad de aluminato tricálcico (C3A) en la composición del cemento se reduce el calor de hidratación, esto ocasiona resistencias bajas a edades tempranas. Este tipo de cemento es favorable cuando la temperatura del concreto aumenta demasiado al reaccionar con el agua que causa agrietamiento, generalmente en concreto masivo como las presas de gravedad. (Steven H. Kosmaka, 2004)

- Tipo V

A diferencia del tipo II, este cemento tiene aún más baja la cantidad de aluminato tricálcico, menor al 5% en su composición total.

La norma mexicana (NMX-C-414-ONNCCE, 2003) establece otra nomenclatura para los tipos de cemento, sin embargo, el comportamiento es similar a los descritos anteriormente (ver tabla 3.III). En la siguiente tabla (3.II) se muestra la nomenclatura de cada tipo de cemento.

Tabla 3-II Tipos y clases de cemento

Tipo	Denominación	Clase Resistente	Características Especiales
CPO	Cemento Portland Ordinario	20 30 30R 40 40R	RS (resistente a los sulfatos) BRA (Baja Reactividad Alkali-Agregado) BCH (Bajo Calor de Hidratación) B (Cemento Blanco)
CPP	Cemento Portland Puzolánico		
CPEG	Cemento Portland con Escoria de Alto Horno		
CPC	Cemento Portland Compuesto		
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice		
CEG	Cemento con Escoria de Alto de Horno		

La clase resistente está referida a la resistencia a la compresión en donde se esperan 20, 30, o 40 Megapascales a 28 días, según sea el caso, en especímenes cúbicos de mortero elaborado con el cemento a prueba. La R representa una rápida adquisición de resistencia en el cemento. La prueba a compresión en cementantes está regida por la norma mexicana (NMX-C-061-ONNCCE, 2010).



Tabla 3-III Comparativo de Cementos NMX-ASTM

NMX-C-414-ONNCCE-2004	ASTM C-150
CPO 30, CPO 30R, CPC 30, CPC 30R	Tipo I
Cualquier cemento que cumpla con la característica especial BCH y/o RS	Tipo II
CPO 40, CPO 40R, CPC 40R	Tipo III
Cualquier cemento que cumpla con la característica especial BCH y/o RS	Tipo IV
Cualquier cemento que cumpla con la característica especial BCH y/o RS	Tipo V

3.2.3. Agua para mezclado

Hasta el momento se han descrito a los agregados pétreos y al cementante, ahora describiremos al último, pero no menos importante elemento que se necesita para elaborar concreto hidráulico; el agua. El agua es un compuesto formado por dos moléculas de hidrogeno y una de oxigeno (H₂O) pero en la naturaleza se encuentra adicionada con otros minerales, dependiendo del tipo y la cantidad de minerales se le puede identificar como agua dulce o agua de mar.

Realmente el agua para concreto es un elemento que no se estudia a detalle como los otros materiales ya descritos, esto se debe a que el agua considerada potable en México, cumple con lo especificado en la tabla 3.IV.

Tabla 3-IV Especificaciones - Agua para concreto (NMX-C-122-ONNCCE, 2004)

Impurezas	Tipos de cemento	
	Cementos ricos en calcio (ppm)	Cementos resistentes a los sulfatos (ppm)
Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas), máximo	2 000	2 000
Sólidos en suspensión de agua recicladas (finos de cemento y agregados), máximo	50 000	35 000
Cloruros. <ul style="list-style-type: none"> • Para concreto con acero de presfuerzo y piezas de puentes, máximo • Para concretos reforzados que estén en ambiente húmedo o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otro similares, máximo 	400 700	600 1 000
Sulfato como SO ₄ , máximo	3 000	3 500



Magnesio como Mg ⁺⁺ , máximo	100	150
Carbonatos como CO ₃ , máximo	600	600
Bióxido de carbono disuelto como CO ₂ , máximo	5	3
Álcalis totales como Na ⁺ , máximo	300	450
Total de impurezas en solución, máximo	3 500	4 000
Grasa o aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido), máximo	150	150
Potencial de hidrogeno (Ph), mínimo	6	6.5

En la actualidad, se vuelve cada vez más difícil encontrar agua potable de manera natural, debido al crecimiento poblacional y al de la industria, muchas veces tiene que ser tratada para que el ser humano pueda darle uso, debido a esto es posible que nos encontremos en el caso de no poder utilizar agua potable para elaborar concreto, por lo tanto será necesario utilizar agua que no cumpla con las especificaciones de la tabla anterior. Esto afectaría al concreto, tanto en estado fresco como endurecido, cambiando los tiempos de fraguado y en algunos casos bajando la resistencia mecánica. Se puede monitorear al agua que se sospeche como perjudicial realizando las pruebas de tiempos de fraguado (pág. 57) y resistencia a la compresión para ver de qué manera afecta la dudosa calidad del agua al concreto.

3.2.4. Aditivos para concreto

Los aditivos para concreto hidráulico son llamados de esta manera ya que son sustancias orgánicas e inorgánicas, en polvo o líquidas que se adicionan al concreto fresco con la finalidad de cambiar y mejorar sus propiedades en estado fresco como endurecido. Es importante mencionar que muchas de las características que ofrecen al concreto estas adiciones químicas se pueden lograr cambiando las cantidades de los silicatos y los aluminatos utilizados en la producción de cemento portland. Aunque podemos elaborar concreto sin aditivos, en la actualidad en nuestro país la mayoría de las concreteeras ofrecen su producto con aditivos químicos con la intención de economizar el concreto. En la siguiente tabla se mencionan los distintos tipos de aditivos para concreto según la norma mexicana (NMX-C-255-ONNCCE, 2013).

*Tabla 3-V "Clasificación de los aditivos"*

Tipo A	Reductor de agua
Tipo B	Retardante
Tipo C	Acelerante de fraguado inicial
Tipo C2	Acelerante de resistencia
Tipo D	Reductor de agua y retardante
Tipo E	Reductor de agua y acelerante
Tipo F	Reductor de agua de alto rango
Tipo G	Reductor de agua de alto rango y retardante
Tipo F2	Superplastificante
Tipo G2	Superplastificante y retardante
Tipo AA	Modificador del contenido de aire

Existen otros aditivos químicos para el concreto hidráulico que se adicionan generalmente en estado fresco como los colorantes y desmoldantes utilizados en el concreto estampado así como selladores de juntas frías, en este trabajo de investigación solo se describirán algunos de los indicados en la tabla 3-V. La norma ASTM C 494-92 establece una clasificación similar a esta anterior por lo que no se mencionara esta norma en este tema de aditivos.

Reductor de agua. Este aditivo tiene la finalidad de reducir la cantidad de agua utilizada en la elaboración del concreto, permite aumentar la resistencia a la compresión al disminuir la relación agua/cemento o bien disminuir el consumo de cemento manteniendo la misma relación agua cemento. Al igual que los plastificantes, los reductores de agua son generalmente compuestos por ácido lignosulfónicos y ácidos hidróxilados carboxílicos. Cuando este aditivo reduce la cantidad de agua en 12% o más es llamado reductor de alto rango.

Retardante. Es la sustancia química que permite retrasar tanto el tiempo de fraguado inicial como el fraguado final, los tiempos de retraso dependerán de la cantidad de cementante y aditivo utilizada. Este aditivo se utiliza cuando el tiempo para dar el acabado es prolongado o cuando la temperatura del ambiente es muy alta. Este efecto es ocasionado por el azúcar, sales solubles de zinc y otras sales (Neville, 1999).

Acelerante. De manera contraria a los retardantes, los acelerantes son utilizados cuando el concreto se utiliza con temperaturas bajas en donde la hidratación del cemento se detiene. Estos aditivos aceleran tanto el fraguado del concreto como la



resistencia. También son utilizados cuando se desea alcanzar un porcentaje alto de resistencia a menor edad, por ejemplo a 7 días alcanzar el 100%, con la finalidad de poner la estructura en servicio o utilizar la cimbra en menor tiempo. Uno de los componentes utilizados en los acelerantes es el cloruro de calcio y aunque no se recomienda ya que aumenta la probabilidad de corrosión en el acero de refuerzo demuestra muy buenos resultados como acelerante. En la actualidad los componentes más comunes son el nitrito de calcio y el nitrato de sodio.

Fluidificante. Este aditivo junto con el acelerante son los más utilizados en nuestro país, esto se debe que el fluidificante permite tener un concreto con mayor trabajabilidad sin aumentar el consumo del cemento, recordemos que para un concreto de determinada resistencia tendremos una relación agua/cemento dada, si aumentamos el revenimiento tendremos que aumentar la cantidad de agua y por ende aumentaremos la cantidad de cemento. Entonces el fluidificante permite tener un revenimiento de diseño bajo pero obtener un revenimiento alto, ahorrando así consumo de cemento. El fluidificante está compuesto de igual manera que el reductor de agua, con hidróxidos, la diferencia es el uso que se le da, en el primero, reducir la cantidad cemento para un revenimiento dado y el fluidificante aumenta el revenimiento sin aumentar el consumo de cemento.

3.3. Concreto fresco

Al concreto podemos clasificarlo en dos estados físicos, fresco y endurecido dado que estos dos estados son los que nos interesan en la ingeniería.

En la mayoría de los casos, el concreto se usa para crear elementos estructurales y éstos varían de forma y tamaño, de hecho esta es una virtud del concreto; ser moldeable en estado fresco y su método constructivo es muy conocido gracias a que es un material muy usado en nuestro país. Consiste en utilizar una cimbra, con la forma del elemento que se necesite si es necesario armado de acero y se vierte el concreto sobre la cimbra, después del fraguado final se descimbra y después de cierta edad de endurecimiento podrá ponerse en funcionamiento.

3.3.1. Fluides

La principal propiedad del concreto fresco es la trabajabilidad. Existen distintas pruebas para medir la trabajabilidad, como las que se enlistan a continuación. (Neville, 1999)

1. Prueba de revenimiento



2. Prueba de factor de compactación
3. Prueba de fluidez de la ASTM
4. Prueba de remoldeo
5. Prueba Vebe

La prueba más popular en el mundo de la construcción es la de revenimiento, ya que es la más sencilla de realizar tanto en campo como en laboratorio y ofrece resultados de mayor confianza que las demás pruebas. La prueba de revenimiento consiste en llenar un molde troncocónico de dimensiones normadas en tres capas con 25 golpes cada una con una varilla punta de bala de 5/8 “ de diámetro, levantar el molde y medir la distancia que se reviene, como se muestra en la siguiente imagen.

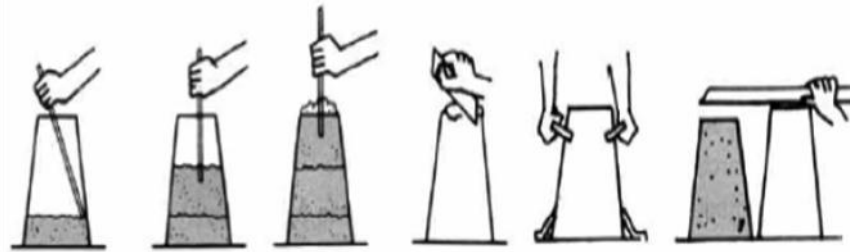


Ilustración 3-III Prueba de revenimiento

A la distancia que se reviene se le llama revenimiento y está dado en centímetros. Por definición entre mayor sea el revenimiento mayor será la trabajabilidad. Es importante mencionar que después de los 20 centímetros de revenimiento se le llama expansión y se mide el ancho de la mezcla revenida en dos direcciones y se promedian ambas mediciones, la expansión oscila entre los 44.5 y 81 centímetros de acuerdo a la norma mexicana (NMX-C-156-ONNCCE, 2010). Al concreto que se le mide expansión se le llama concreto autonivelante o autocompactable.

Es importante mencionar que en algunos casos la fluidez no es proporcional a la trabajabilidad, por dar un ejemplo, se pretende colar una losa maciza a dos aguas, con una pendiente del 10%, teóricamente si se tiene un revenimiento alto se tendrá una mayor trabajabilidad, pero ¿Qué pasa realmente si esa losa la colamos con un revenimiento de 18 centímetros? Lo más probable es que el concreto baje a la parte inferior de la losa debido al estado de fluidez en el que se encuentra el concreto al momento de su colocación, entonces un revenimiento de 8 centímetros será la fluidez óptima. Dicho lo anterior podemos decir que la prueba de revenimiento es una prueba de fluidez y no de trabajabilidad.



3.3.2. Segregación

La segregación en concreto hidráulico es la acción de los agregados al descender en el cuerpo del concreto debido a la diferencia de densidades entre lechada y agregado. La segregación es ocasionada por mezclas con poca cohesión y/o mezclas ásperas donde los agregados son gruesos con respecto a su granulometría, aquí es donde se aprecia la importancia de las granulometrías uniformes de los agregados. Como ya se mencionó, aunque el concreto se vibre es difícil desaparecer las burbujas de aire atrapado. La segregación, en la mayoría de los casos, es generada por exceso de vibración ya que el personal encargado del acabado prefiere vibrar demasiado para obtener acabados con buen aspecto. La segregación también dependerá de la forma del elemento pues es más probable que ocurra segregación en elementos esbeltos como columnas que en elementos planos como losas.

Es complicado medir o detectar la segregación por lo tanto no existe una prueba normada para medir la segregación. De ser posible, lo recomendable sería medir la segregación inmediatamente después del vibrado, cuando el concreto está fresco y no se ha dado el acabado. Existen distintas maneras no estandarizada de apreciar la segregación en el concreto endurecido, por ejemplo, comparando la dureza en la parte superior e inferior de una columna, u observando la granulometría de núcleos de la parte superior e inferior de la columna.

3.3.3. Sangrado

El sangrado es el efecto del concreto fresco cuando agua de mezclado sube a la superficie del concreto, Adam M. Neville lo define como; *El sangrado es causado por la incapacidad de los constituyentes sólidos para retener toda el agua de mezclado cuando se sedimentan en el fondo. El sangrado se puede expresar cuantitativamente como el asentamiento total por unidad de altura del concreto o como un porcentaje del agua de mezclado.* (Neville, 1999)

El sangrado en exceso es perjudicial, imaginemos lo que pasa en el cuerpo del concreto si el agua de mezclado sube a la superficie, el agregado se queda sin el agua necesaria para obtener la adherencia necesaria entre él y la pasta, también existirían poros que el agua deja al subir haciendo un concreto poroso, la porosidad no solo afecta el comportamiento mecánico sino también la durabilidad. Otro aspecto negativo del sangrado es que su duración termina cuando el concreto fragua, recordemos que el



acabado se da antes del fraguado inicial, entonces un sangrado en exceso dificultará el acabado del concreto. La cantidad de sangrado depende principalmente de la finura del cemento, entre mayor sea la finura del cemento menor será la probabilidad de que aparezca el sangrado.

Otra perspectiva que es importante mencionar acerca del sangrado es que al subir agua de mezclado y esta se evapora, el cuerpo de concreto se queda con menor agua reduciendo así la relación agua/cemento, y esto ayuda a un mejor concreto tanto en resistencia como en durabilidad. Otra ventaja es que al tener una capa de agua sobre la superficie, ésta ayuda funciona una membrana que ayuda al mantener la humedad del concreto teniendo así un mejor curado.

3.4. Concreto Endurecido (pruebas)

La finalidad con la que se realizan pruebas, tanto destructivas como no destructivas, es definir si el concreto utilizado cumple con las especificaciones que el proyectista consideró para los elementos estructurales, teniendo así control en la calidad del concreto.

Una característica muy importante de los materiales empleados en la ingeniería es la durabilidad, recordando que un proyecto ingenieril es más económico si se utilizan materiales durables ya que su vida útil en servicio será mayor y no requerirá de mantenimiento excesivo. La durabilidad es afectada no solo por los materiales sino también por la mano de obra utilizada. Se puede definir como la resistencia al deterioro ocasionado por diversas causas, como la acción del clima, la abrasión, carbonatación, agentes químicos u otro proceso de deterioro. (IMCYC, 1989).

La durabilidad en el concreto adquiere importancia cuando éste es reforzado dado que el acero aporta demasiada resistencia mecánica a la estructura y si las propiedades de este material cambian, cambia el comportamiento de la estructura. La corrosión es el mayor problema con la durabilidad del acero de refuerzo dado que es muy vulnerable a los agentes químicos, por ello todas las estructuras deben tener cubierto el acero. Se recomienda recubrimientos mayores a 1 cm pero no menor al diámetro de la varilla. (Colegio de Ingenieros Civiles de Michoacán, 1999). Cuando sea mayor el ataque corrosivo deberá incrementarse el recubrimiento.



Existen distintas pruebas para poder determinar la durabilidad del concreto y así calificarlo

3.4.1. Resistencia a la compresión

El buen comportamiento a la compresión es una propiedad intrínseca del concreto, por esta razón es que es un material óptimo cuando los esfuerzos que predominan en el elemento estructural son de compresión. Cuando el proyectista diseña alguna estructura, el parámetro que necesita es propiamente éste o en inglés force compresion con su popular abreviatura f'_c , entonces la prueba predominante para llevar el control de calidad en el concreto endurecido es la resistencia a la compresión y la norma mexicana (NMX-C-083-ONNCCE, 2002) es la que rige esta prueba.

Es importante mencionar que la resistencia a la compresión incrementa con el paso del tiempo, por lo que siempre es importante tener en cuenta la edad del concreto cuando se realice esta prueba. Esta propiedad mecánica se mide en probetas cilíndricas las cuales tienen una relación altura/diámetro (h/d) igual a 2. Generalmente son especímenes de 15 centímetros de diámetro por 30 centímetros de altura. El concreto tiene la propiedad de endurecer y adquirir resistencia con el paso del tiempo, la edad comercial del concreto es a los 28 días, aunque también se realizan pruebas a menor edad de acuerdo a los requerimientos del proyecto.

Existen muchos factores que afectan esta prueba, la elaboración de los cilindros, el curado, el material de cabeceo y la velocidad de prueba. Una manera, no muy precisa, pero útil es la forma de falla del espécimen, la norma antes citada establece 5 tipos de falla. Del curado abundaremos en los siguientes capítulos.

La norma mexicana (NMX-C-109-ONNCCE, s.f.) establece solo tres tipos de materiales para cabeceo en cilindros de concreto;

- Azufre
- Mortero de azufre
- Almohadillas de neopreno

Para los dos primeros la norma indica que su resistencia a la compresión debe ser cuando menos de 350 kg/cm² o igual a la resistencia del concreto y para las almohadillas de neopreno se rige por su grado de dureza y es de cuando menos grado 70. Las almohadillas de neopreno, en resistencias comunes presentan falas de mala



calidad, ya que tiende a concentrar esfuerzos en la periferia del cilindro. En resistencias altas, probablemente, debido a que este tipo de concreto presenta fallas frágiles, el tipo de falla es bueno. El azufre que se maneja en el mercado, aunque muestra buen comportamiento en las fallas, no cumple con la resistencia indicada por la norma. El material que se considera como óptimo, es el mortero de azufre (mezcla de azufre y arena sílica) ya que su resistencia a la compresión es alta y muestra buen tipo de fallas en los cilindros.

3.4.2. Resistencia a la flexión

Los pavimentos rígidos son aquellos en los que la losa de rodamiento está formada por concreto hidráulico, en este elemento estructural, a diferencia de la gran mayoría, predominan los esfuerzos de flexión por lo que el parámetro necesario para diseñar este tipo de elementos es el Módulo de ruptura (M_r) y la prueba con la que se controla la calidad del concreto es la prueba a flexión, conocida como la prueba de los tercios medios. (IMCYC, 2007).

Cuando sometemos a un material a flexión aparecen esfuerzos de tensión y esfuerzos de compresión, sabemos que el concreto tiene la propiedad intrínseca de resistir poco a la tensión comparado con la compresión, debido a esto cuando sometemos a flexión su resistencia será menor aproximadamente entre 10% y 20% de la resistencia a la compresión. Este porcentaje está principalmente en función de la resistencia a la compresión, suponiendo que se tiene un $f'_c=100 \text{ kg/cm}^2$, éste puede alcanzar un 20% a la flexión, o sea, $M_r=20 \text{ kg/cm}^2$. En cambio si se tiene un $f'_c=400 \text{ kg/cm}^2$ probablemente el porcentaje a la flexión sea 10%, o sea, $M_r=40 \text{ kg/cm}^2$. Debido a que no existen métodos para dosificar concreto basados en el M_r , lo que se acostumbra en nuestro país es elaborar el concreto para un f'_c determinado y posteriormente revisarlo llevando a cabo la prueba de los tercios medios.

Desafortunadamente cuanto mayor sea el f'_c del concreto el porcentaje de resistencia a la flexión disminuye. Existen losas de pavimento que tendrán una mayor solicitud de carga por lo que se requiere de un concreto con M_r mayor o igual que 45 kg/cm^2 para que cumpla con esta solicitud. Actualmente para este tipo de losas de losas se utilizan adiciones orgánicas como el almidón y la microfibra con la intención de incrementar la resistencia a la flexión sin incrementar demasiado la resistencia a la compresión.

El método de prueba está regido por la norma mexicana (NMX-C-191-ONNCCE, 2004)



3.4.3. Velocidad de pulso Ultrasónico

La prueba de velocidad de pulso ha incrementado su uso en los últimos años y esto se debe a que permite conocer la uniformidad del concreto además de que se ha intentado correlacionar la resistencia a la compresión con la velocidad de pulso pero existen demasiados parámetros que afectan los resultados de la velocidad de pulso por lo tanto esta prueba no puede sustituir a la prueba de compresión simple en el concreto. La norma mexicana (NMX-C-275-ONNCCE, 2004) establece el método de prueba.

Esta prueba se puede realizar en cualquier elemento de concreto siempre y cuando cumpla con la distancia mínima de 10 cm y la máxima de 15 m. Se puede realizar de tres formas; transmisión directa, transmisión semidirecta y transmisión indirecta siendo la directa la más común y la que presenta resultados con mayor confiabilidad. El equipo de medición determina el tiempo, en diezmilésimas de segundo, que tarda en atravesar la muestra de concreto por medio de un emisor que hace viajar un pulso sónico y un receptor que percibe el pulso sónico. Para calcular la velocidad de pulso se divide la distancia que hay entre los transductores entre el tiempo. Aunque desgraciadamente no se puede confiar en la velocidad de pulso para predecir la resistencia a la compresión es una prueba muy importante para caracterizar al concreto con respecto a la durabilidad. La norma anteriormente mencionada establece especificaciones para caracterizar al concreto, citadas en la tabla 3.VI y la red temática durar establece otros parámetros similares que son los que se utilizarán como comparación en este trabajo de investigación.

Ilustración 3-IV "Especificaciones Red Durar"

Especificaciones "DURAR"	
Velocidad (m/s)	Clasificación
$V > 4575$	Excelente
$4575 > V > 3660$	Bueno
$3660 > V > 3050$	Cuestionable
$3050 > V > 2135$	Regular
$V < 2135$	Malo

3.4.4. Resistividad eléctrica

La resistividad eléctrica es la propiedad que tienen los materiales de oponerse al paso de una corriente bajo un cierto voltaje, dicho de otra manera, es lo contrario a la conductividad eléctrica. Esta prueba se puede realizar en distintos materiales y en cada uno de ellos existen distintas variables que afectan las mediciones de resistencia



eléctrica. En el concreto las variables que afectan las mediciones son; el grado de saturación del concreto, contenido de minerales disueltos en el agua y en menor grado, la hidratación de la pasta de cemento. La resistividad eléctrica está dada en Ohm-cm pero el parámetro que se obtiene con el equipo de medición es la resistencia eléctrica y está dada en Ohm.

Cuando un concreto es poroso tendrá una menor resistividad eléctrica ya que al saturarlo el agua funciona como conductor eléctrico y los poros quedan interconectados permitiendo el flujo de la corriente eléctrica. Por lo tanto la resistividad real de un concreto es cuando éste se encuentra completamente saturado. Si relacionamos a la cantidad de poros con la durabilidad o con el riesgo a la corrosión de una estructura notaremos que entre mayor sea la resistividad eléctrica mayor será la durabilidad. La red temática DURAR establece criterios para la resistividad eléctrica respecto al riesgo a la corrosión de la estructuras.

Tabla 3-VI "Criterio de riesgo a la corrosión"

Resistividad eléctrica (K ohm)	Riesgo a la corrosión
R > 200 K ohm-cm	Poco riesgo
200 > R > 10 K ohm-cm	Riesgo moderado
R < 10 K ohm-cm	Poco riesgo

Es importante mencionar que cuando se realiza la prueba de resistividad eléctrica en estructuras en servicio se debe saturar lo más posible ya que si la estructura no se encuentra completamente saturada se tendrán lecturas altas de resistencia eléctrica creyendo así que es un concreto de muy buena calidad cuando realmente no lo es. En laboratorio no se tiene este problema pues se puede saber cuándo está completamente saturada una muestra conociendo el incremento de masas en saturación.

3.4.5. Porosidad efectiva (Fagerlund)

La porosidad en el concreto es una propiedad física demasiado importante, aunque tal vez no afecte directamente las propiedades mecánicas si afecta la durabilidad del concreto, recordemos que cuando sea mayor la protección al acero de refuerzo mayor será el tiempo que se encuentre funcionando de manera confiable la estructura.

El concreto tiene dos tipos de poros, poros aislados y poros intersticiales, la prueba de porosidad efectiva determina de manera directa, por medio de coeficientes, la cantidad de poros intersticiales; estos son los poros que están conectados entre sí y permiten una



mayor velocidad del flujo de sustancias líquidas a través del concreto. El método de prueba lo establece la Red temática DURAR.

3.4.6. Porosidad total

En la prueba anterior, la manera de determinar la cantidad de poros es por medio de succión capilar, en esta prueba de porosidad total como su nombre lo indica, determina en porcentaje la cantidad de poros aislados y poros intersticiales. La prueba de mayor interés para conocer la durabilidad del concreto es la prueba de porosidad efectiva ya que puede existir un concreto que tengan un porcentaje alto de porosidad pero si estos no están conectados entre sí, dará como resultado un concreto poco permeable. Al igual que la prueba anterior, el método de prueba lo establece la Red DURAR.

Todas las pruebas anteriores nos permiten conocer, de forma cualitativa que tan durable es el concreto. De forma cuantitativa, es complejo determinar cuántos años estará en servicio una estructura debido a que los factores que afectan a la estructura, como las cargas vivas, cargas muertas, intemperismo no son constantes durante el tiempo.



3.5. Curado del concreto

3.5.1. Definición

El curado del concreto es el proceso posterior a la colocación y acabado en el cual se debe de adicionar o en el peor de los casos no permitir que el concreto pierda humedad, dado que al entrar en contacto con una humedad mayor al 80% el cemento hidráulico empieza a endurecer, esta reacción es más eficiente cuanto mayor humedad exista en el

cemento. La edad del concreto inicia cuando el agua de mezcla se disuelve con el cemento y forman la pasta. Si se quisiera alcanzar la resistencia y durabilidad del concreto máxima, el curado sería constante durante la vida del concreto, sin embargo lo anterior no es posible por distintos factores. Uno de ellos es que la hidratación del concreto adquiere mayor importancia a edades tempranas. En la tabla 3-V se

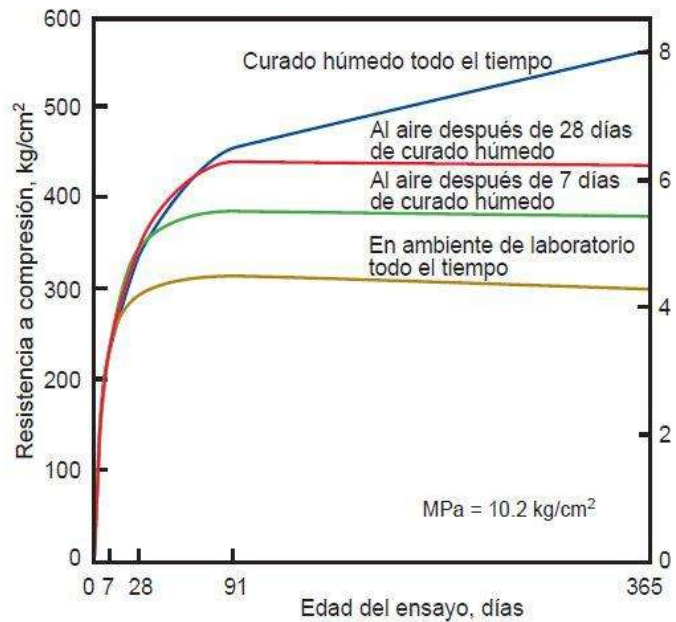


Ilustración 3-V "Variaciones de resistencia a la compresión de acuerdo al tiempo de curado" (Steven H. Kosmaka, 2004)

muestra una gráfica en donde se realizaron pruebas a compresión en cilindros de 365 días de edad, los cuales tuvieron un curado húmedo durante 0, 7, 28 y 365 días. Si se compara la línea inferior con la superior se observa que el comportamiento mecánico del concreto mejora cuando se cura hasta en un 200% que cuando no se cura durante un año.

Existen formas de detener la hidratación del cemento, una de ellas es que la temperatura interna del concreto baje de los 0 °C, de esta forma la reacción exotérmica se detiene y una vez que la temperatura suba, la reacción se reanuda. Entonces la temperatura al igual que la humedad, es de consideración en el proceso del curado.

Los problemas del curado radican en saber cómo y por cuánto tiempo curar al concreto bajo las condiciones en las que se encuentra en obra para satisfacer los requerimientos del concreto, tanto de resistencia como de durabilidad. El Reglamento de Construcción



de Estado de Michoacán (Colegio de Ingenieros Civiles de Michoacán, 1999) recomienda que el curado se debe aplicar durante siete días después de su colocación o mínimo tres días cuando el concreto este adicionado con acelerante. (Powers, 1949) (Neville, 1999) (Steven H. Kosmaka, 2004)

3.5.2. Hidratación del cemento

Antes de hablar acerca de la hidratación del cemento es necesario establecer la importancia que tiene la relación agua/cemento en la resistencia del concreto. La relación agua/cemento (a/c) es inversamente proporcional a la resistencia del concreto, esto quiere decir que cuanto menor cantidad de agua lleve una mezcla mayor será su resistencia. Definiremos como agua de mezclado a aquella que se adiciona a la mezcla una vez que los agregados y adiciones absorbentes están saturados superficialmente, en otras palabras, que la humedad actual sea igual a su capacidad de absorción. Por lo tanto si la mezcla tiene agregados secos, se agregará agua, que no formará parte del agua de mezclado, con la finalidad de que estos estén secos superficialmente. En la ilustración 2-VI se muestra la relación que existe entre la relación a/c y la resistencia a la compresión. Aunque la relación a/c no es el único factor que afectan las propiedades mecánicas del concreto si es la que tiene mayor importancia, cabe mencionar que los métodos de dosificación solo toman en cuenta la relación a/c para determinar el $f'c$ y no toman en cuenta los siguientes factores:

- Relación cemento agregado
- Granulometría, textura superficial, forma y resistencia de las partículas del agregado
- Tamaño máximo del agregado

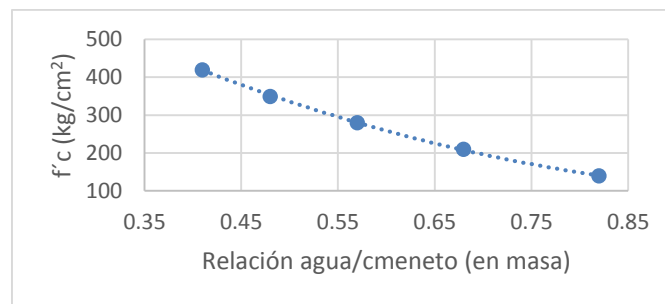


Ilustración 3-VI "Relación entre resistencia a la compresión y la relación a/c a los 28 días" (ACI)

La hidratación del cemento hidráulico es el proceso donde ocurren cambios físicos y químicos, esto debido a que cuando el cemento se encuentra con una humedad alta o en contacto con el agua y una temperatura adecuada, existirá una reacción exotérmica. Una



vez que inicia esta reacción, la pasta de cemento necesita la cantidad suficiente de agua para seguir reaccionando de forma adecuada, dentro de esta reacción se forman distintos productos de hidratación de los cuales el gel es el que tiene importancia en la porosidad de la pasta. El gel de hidratación es considerado al producto que se encuentra entre los poros de la pasta de cemento. Cuando estos poros son llenados de manera adecuada se considera que la hidratación del cemento está completa. Neville establece una relación gel/espacio y menciona que cuando esta relación es igual a 1 la hidratación del cemento está completa.

Cuando se está hidratando el cemento, se forman una ligas de adherencia entre las partículas del cemento, las cuales permiten la adherencia entre la pasta y el agregado, estas ligas adquieren resistencia si la humedad y la temperatura en el proceso de hidratación es alta. De acuerdo con Powers (1949) del total del agua de mezclado cerca del 60% se convierte en productos sólidos de hidratación, 24% en gel, y un 16% en agua evaporable.

A principios del siglo pasado Powers y T.L. Brownard realizaron pruebas en pastas de cemento con relaciones a/c muy bajas y observaron que la pasta no alcanzaba por completa la hidratación y determinaron que la relación a/c mínima para que se alcance una buena hidratación es 0.38. También realizaron pruebas en donde las relaciones a/c menores a 0.38, curaban las muestras a alta presión y temperatura, alcanzaban resistencias por arriba de los 2000 kg/cm² en la pasta de cemento. Como ese tipo de curado es muy difícil aplicarlo, no solo en obra sino también en laboratorio, no se abundará más en ese tipo de curado en este trabajo de investigación. (Steven H. Kosmaka, 2004) (Neville, 1999) (González Cuevas & Robles Fernández-Villegas, 2008)

3.5.3. Métodos y materiales de curado

En nuestro país son escasas las construcciones en donde se solicita concreto de alta durabilidad, sin embargo, en algunas regiones del país y en algunos elementos toma importancia el proceso del curado. Probablemente una mala hidratación del cemento no afecta las propiedades mecánicas de forma drástica pero el aspecto de durabilidad sin duda alguna es importante realizar un curado adecuado. Entonces si se desea un concreto durable se debe prestar atención al proceso de curado que se le vaya aplicar al elemento estructural.

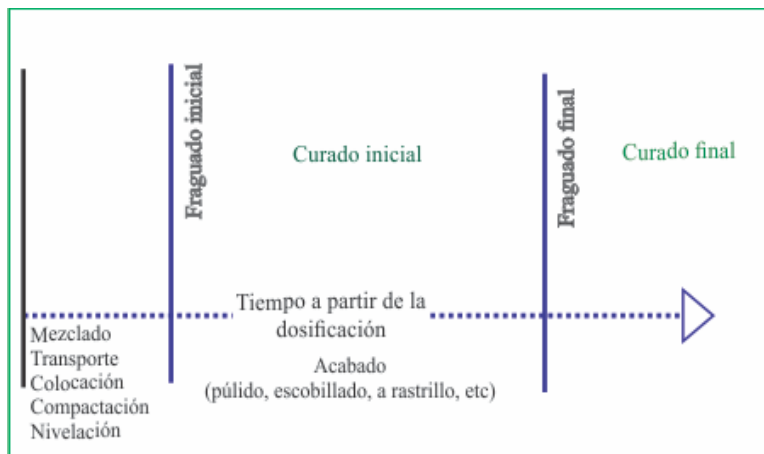


Se podrá tener un concreto con una relación a/c baja, sino se cura de manera adecuada, será un concreto poroso. Dependiendo de elemento que se vaya a elaborar toma importancia el curado, por ejemplo, es más susceptible una losa que un elemento robusto ya que la losa tiene mayor área por donde perder humedad que una columna o una trabe. Otro factor que es importante en la deshidratación del concreto es el clima en el que estará expuesto el concreto, de las variaciones del clima en el curado hablaremos en los capítulos 2.54, 2.55 y 2.56.

En el concreto reforzado, el recubrimiento es fundamental para la durabilidad del acero, sería poco útil tener un concreto poco permeable si el recubrimiento es poroso. Cuando la exposición del concreto es severa, aunque sean elementos robustos se deben de curar con la finalidad de que el recubrimiento sea el mejor posible.

Curado inicial.

El curado inicial es el proceso que no en todos los casos es necesario, este se aplica



cuando la evaporación del agua del concreto es demasiado rápida, esto generalmente se debe a las altas temperaturas con poca humedad relativa o cuando la velocidad del viento es considerable.

Ilustración 3-VII "Tiempos para curado inicial y curado fina" ACI 308-01 pág. 10

Sabemos que una evaporación es rápida

cuando después de la nivelación del concreto no aparece el sangrado. Entonces se requerirá curado después del nivelado y durante el acabado del concreto, ver ilustración 2.VII. En la región de Morelia, debido al clima, es poco probable que se requiera curado inicial pero cuando este se requiera se puede utilizar el método de nebulización.

El método de nebulización consiste en utilizar una bomba manual o eléctrica con una boquilla especial que rocía el agua en forma de neblina, sin aplicarse directamente ya que el acabado está en proceso o demasiado fresco que lo puede dañar.



Debido a que es una capa muy delgada de agua la que cae sobre la superficie de concreto, debe hacerse el rociado de manera continua.

Los reductores de evaporación también se pueden aplicar cuando se necesita curado inicial, este aditivo químico e inorgánico en forma líquida se aplica sobre la superficie y reacciona con el agua de sangrado formando una película muy pequeña que evita la pérdida de agua en el concreto, esto ayuda también a retrasar el fraguado inicial. Estos reductores de evaporación, además de ayudar al curado, permiten dar un mejor acabado al concreto. En el mercado también se pueden encontrar como “ayudas de acabado”.

Curado Final

El curado final es el proceso que cuenta con mayor número de materiales y métodos debido a que este se inicia inmediatamente después del fraguado final o una vez que el curado no afecte la superficie o propiedades del concreto. Después del fraguado final del concreto, la hidratación del cemento es importante para que se alcancen las propiedades de adherencia. Son tan diversos los materiales y métodos para el curado final que existen en el mundo, que con fines prácticos, solo se describirán los más utilizados en nuestro país actualmente.

3.5.3.1 Curado por inundación

Este sin duda es el método más utilizado para las obras de pequeña magnitud, independientemente de la forma del elemento a curar, consiste en arrojar agua sobre la superficie de concreto (ilustración 3.) una vez que no afecte el acabado o que haya sido descimbrado. La frecuencia con la que se debe rociar dependerá de la velocidad del viento y la temperatura en la que este el



Ilustración 3-VIII "Curado por inmersión en losa de pavimentación"

concreto. La frecuencia se puede determinar observando la superficie de concreto, si se mantiene húmeda o saturada se reduce la cantidad de agua, si se seca la superficie con rapidez, se humectará con mayor frecuencia. El Reglamento de Construcción (Colegio de Ingenieros Civiles de Michoacán, 1999) indica que el tiempo de curado debe ser cuando menos durante 7



días. Comúnmente, el rocío se realiza durante las horas del día cuando la intensidad del sol es mayor, durante la noche se pausa el curado hasta el día siguiente, así hasta los 7 días.

La calidad del agua para curado no tiene la misma importancia que el agua de mezclado pero se recomienda utilizar agua potable para no afectar la apariencia del concreto. El costo del método por inmersión se incrementa demasiado en lugares donde es escaso este vital recurso. Existen zonas en México en donde el curado por inmersión es el óptimo debido a que se tiene un clima satisfactorio y el rocío se realiza solo una vez al día economizando el costo del proceso de curado.

3.5.3.2 Curado por aspersión

Este método surge debido a la demanda de agua por parte de la población, hace algunas décadas el consumo de agua por habitante era mucho mayor que el de hoy en día, debido a esto en la construcción se tiene el mismo impacto y el curado por inmersión consume demasiada agua por lo que se tiene la necesidad de implementar otras maneras de humedecer al concreto. El curado por aspersión tiene la ventaja de consumir menor cantidad de agua pero requiere de una mayor mano de obra.

Este método funciona de manera similar que el de inundación, solo que en este se requiere de un equipo que permita reducir el flujo de agua y que rocíe la mayor cantidad de área de concreto. El equipo más común son las bombas manuales como la que se ilustra en la figura XI. Cuando se tiene superficies demasiado grandes este método dejar de ser económicamente factible.

3.5.3.3 Película plástica

En los lugares donde la escases del agua se presenta y además se tiene un clima templado con alta intensidad solar, la película plástica permite que el concreto no pierda humedad (ilustración 3-IX). Este método consiste en colocar un plástico delgado sobre la superficie del concreto una vez que ya no afecte el acabado y se retira cuando el concreto haya alcanzado cuándo menos el 70% de su



Ilustración 3-IX"Curado con película plástica"



resistencia.

Debido a que la película plástica se debe colocar después de que no afecte el acabado, existe un tiempo en el que, si la temperatura o el viento son altos, puede deshidratar la superficie del concreto por lo que se tendrá que implementar el curado inicial. Una de las ventajas de este método es que cuando los avances de obra son lentos, el costo del material utilizado es relativamente bajo ya que el plástico se puede reutilizar varias veces. Además la colocación del plástico es sumamente sencillo. El color del plástico afecta poco, pero se recomienda utilizar colores claros para la refracción de los rayos solares.

3.5.3.4 Membrana plástica

Este sin duda es el método más utilizado en la actualidad en nuestro país debido a que su aplicación es relativamente sencilla. Debido a que la membrana es un producto comercial, cada fabricante establece su modo de empleo y se debe respetar. La mayoría



Ilustración 3-X "Curado con membrana plástica color blanco"

de membranas en el mercado funcionan de forma similar. La membrana plástica es un químico en forma líquida, generalmente, que se rocía sobre la superficie de concreto y se debe aplicar una vez que el agua de sangrado haya evaporado para que puede sellar de forma correcta la superficie del concreto y así

evitar la evaporación. Esta membrana puede ser incolora o en algunos casos de color claro para la refracción.

Este químico líquido de puede aplicar de distintas formas, con brocha, cepillo o un rociador como se muestra en la ilustración 3-X. Cuando se tienen superficies grandes se recomienda utilizar un rociador, su aplicación es similar a la que se le da a la pintura, la membrana se puede dejar con una sola mano (una sola aplicación) o si se desean mejores resultados se puede aplicar un segunda mano en dirección contraria a la primera.



3.5.4. Curado en especímenes de concreto

El curado en laboratorio es el proceso que se les da a las muestras que se obtienen del concreto fresco, cilindros y vigas comúnmente, aunque los especímenes de mortero a base de mortero de albañilería y morteros a base de cemento y cal, también son curados por los métodos que para las muestras de concreto. Las muestras de concreto son realizadas con la ayuda de moldes metálicos que se retiran a las 24



horas de haber sido elaboradas, enseguida deben ser puestas a curar y retirarlas del curado hasta la fecha de prueba. Para los trabajos de campo las edades más comunes son 3, 7, 14 y 28 días y para los trabajos de investigación se pueden tener edades de años y de igual manera debe permanecer en curado hasta la fecha de prueba.

Ilustración 3-XI "Curado en cuarto húmedo"



Ilustración 3-XII "Pila de curado"

Existen dos métodos de curado en laboratorio de acuerdo con la norma mexicana (NMX-C-159-ONNCCE, 2004). El curado por inmersión consiste en sumergir al espécimen, de forma vertical tanto en cilindros y vigas (ver fig. 3-XII), en una pila de curado donde la suficiente del agua debe estar a no más de 2.5 cm de los especímenes. La temperatura del agua debe estar entre los 21°C y 25°C con un 3% de cal respecto a la masa del agua en la pila de curado. Aunque se ha demostrado (Powers, 1949) que temperaturas en el agua de curado entre los 13 y 28°C no afectan de forma drástica las propiedades mecánicas del concreto



Cuando el curado es en ambiente húmedo la temperatura debe estar entre los 21°C y 25°C y la humedad relativa con 95%, esto se logra, generalmente, en cuartos herméticos con ayuda de camas de arena y flujos de agua por medio de goteo (ver fig. 3-IX). Los especímenes en este ambiente pueden o no estar en contacto con el goteo del agua que permite la humedad alta. Los especímenes deben estar separados entre sí por cuando menos 10 mm y sin estar estribados.

Tal vez todas las parámetros afecten en el concreto a edades tempranas pero cuando se tienen edades muy grandes y poco espacio, se pueden estriban los especímenes.

El curado en obra consiste en mantener los especímenes en las mismas condiciones que el elemento colado, tanto en el tiempo de descimbrado como en las condiciones del clima. Los especímenes deben mantenerse lo más próximo al elemento evitando vibraciones y movimientos bruscos durante las primeras 24 horas. Los especímenes pueden ser probados en laboratorio de campo o ser trasladados a un laboratorio fijo en la fecha de prueba.

Los especímenes para el control de calidad deben curarse de la misma forma que el elemento de concreto. Este tipo de curado permite conocer de manera más precisa la resistencia real del elemento ya que se encuentra en las mismas condiciones que los especímenes. La norma mexicana (NMX-C-160-ONNCCE, 2004) rige esta prueba.

3.5.5. Curado en elementos cimbrados

Cuando se trata de elementos cimbrados generalmente son elementos robustos, es decir,



Ilustración 3-XIII "Curado en muro de concreto por medio de aspersion"

el área de superficie es menor en relación al volumen del concreto, por ejemplo una columna o trabe. En estos elementos, la deshidratación del cemento se presenta de la parte externa hacia la interna, esto quiere decir que el centro del elemento permanecerá húmedo durante los

primero días de colado por lo que no requerirá ningún tipo de curado. En cambio la parte externa al estar expuesta a la intemperie, dependiendo del clima en el que se encuentre, el concreto de deshidratará con mayor rapidez.



Para este tipo de curado solo basta con un humedecer la superficie del elemento con la ayuda de cualquier método antes descrito. A diferencia de elementos como las losas, estos elementos robustos no se ven tan afectados por un inadecuado curado en cuanto las propiedades mecánicas, sin embargo, recordemos que la durabilidad de una estructura de concreto armado depende principalmente de que tan protegido este el acero por el concreto y la parte que protege al acero es el recubrimiento. Por lo tanto si se pretende elaborar elementos que tengan una alta durabilidad, además de utilizar un buen concreto, se debe tener un curado adecuado para que el recubrimiento no sea poroso.

Cuando se trate de estructuras en las que no se demande una alta durabilidad o una baja porosidad, se puede omitir el curado en estos elementos ya que la cimbra generalmente se retira al día siguiente de su colado protegiendo la superficie del concreto durante ese periodo, independientemente si la cimbra es de acero o madera.

En los casos donde se requiera una alta durabilidad o baja porosidad de la superficie de concreto, se facilita el curado en los elementos precolados debido a que se controla de mejor manera la elaboración de los elementos que en obra.



Ilustración 3-XIV"Curado de columna por medio de aspersor"



4.1.2. Cuarteo de arenas

Una vez que se tuvo la arena necesaria (1.5 m³), se tomó una muestra representativa por medio de muestreo para realizar las pruebas posteriormente descritas.

El equipo necesario para el cuarteo es:

- Palas.
- Divisor de muestras.
- Recipientes para el divisor.

A continuación se describirá el proceso para el cuarteo de la arena.

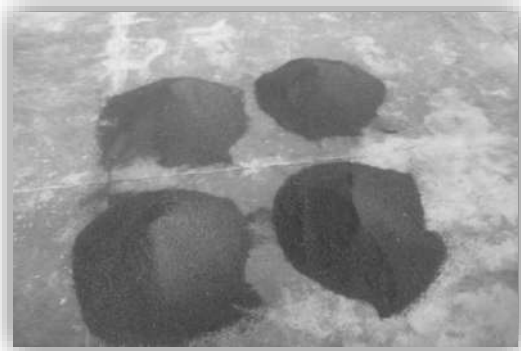


Ilustración 4-III "Muestra de arena cuarteada"

1. Se vacía el material, en este caso de la camioneta mostrada en la figura anterior, en una superficie limpia y trabajable procurando formar un cono.

2. Después se tomaron muestras con la pala en diferentes partes del cono de arena, tanto en la altura como en la profundidad.

3. Una vez obtenido la arena considerada necesaria, aproximadamente un volumen de 100 kilos se hizo el cuarteado por medio de palas.
4. Se vació la muestra de aproximadamente de 100 kilos en una superficie limpia y trabajable para secarla por medio de los rayos solares.
5. Estando el material seco y en forma de cono, se cambia el material de un lado a otro procurando mezclar todo el material.
6. Una vez terminado el mezclado, se aplanar el cono de arena dejando un círculo para después dividir éste en cuatro partes.
7. Se consideró que una cuarta parte era necesaria para realizar todas las pruebas correspondientes a la arena.

Por medio del cuarteo de palas, obtuvimos una muestra representativa de aproximadamente 20 kilos. Para la prueba de granulometría se requería una muestra representativa de 1000 gramos de arena, como era una muestra pequeña decidimos cuartearla por medio del divisor de muestras pues creímos obtener una mejor muestra por este método.



El cuarteo por divisor de muestras fue sencillo de utilizar, ya que consiste en dejar caer la muestra de arena en los divisores y este lo dividirá en dos partes, de las cuales una es desechada y la otra se vuelve a vaciar para obtener otra mitad y de manera subsecuente hasta llegar a la muestra de 1000 gramos requerida.

4.1.3. Masas volumétricas

Estas pruebas están regidas por la norma (NMX-C-073-ONNCCE, 2004) y en la cual se basan los siguientes dos procedimientos.

El equipo necesario para obtener estas masas es:

- Una muestra representativa seca de arena.
- Una tara con dimensiones conocidas.
- Una varilla punta de bala de 5/8 de diámetro.
- Una balanza.
- Un cucharón y una pala.

De la muestra (100 kilos aprox.) que se estuvo cuarteando, de ahí se obtuvieron estas masas (m.v.s.s y m.v.s.v).

4.1.3.1 Masa volumétrica seca suelta (M.V.S.S)

El objetivo de determinar la M.V.S.S es poder conocer que volumen del material suelto se requiere para la elaboración de concreto una vez realizado el proporcionamiento, pues lo que se mide es la masa del agregado en estado natural y es generalmente usado para convertir unidades de masa a unidades de volumen en las dosificaciones.

El procedimiento para determinar la M.V.S.S es:

1. De la muestra representativa, se divide y dos cuartas partes (en diagonal) se utilizan para el llenado de la tara.
2. Una vez cuarteada la muestra, se llena la tara con el cucharón, vaciando el material a una altura de aproximadamente 5 cm. Alternado las dos cuartas partes de muestra elegidas para el llenado.
3. Cuando la tara se llena completamente, se enrasa la superficie con la varilla punta de bala.
4. Estando la tara llena y enrasada, se pesa en la báscula y se registra la medición.
5. De manera análoga se hicieron para las tres mediciones tabuladas.



4.1.3.2 Masa volumétrica seca varillada (M.V.S.V)

El objetivo de la m.v.s.v es conocer que tanto se pueden acomodar las partículas del material al ser varillado, si la diferencia entre la M.V.S.V y la M.V.S.S es pequeña, indica que el material en estado natural tiene un acomodo muy bueno.

Se realizó con la misma muestra que en la prueba anterior, a continuación se describirá el procedimiento:

1. De la muestra ya mencionada, se dividió, y dos cuartas partes (en diagonal) se utilizan para el llenado de la tara.
2. Una vez cuarteada la muestra, se llena la tara con el cucharón, vaciando el material a una altura de aproximadamente 5 cm. (alternado las dos cuartas partes de muestra elegidas para el llenado), en tres capas iguales y cada una de ellas con 25 golpes (en forma concéntrica) con la varilla punta de bala.
3. Cuando la tara está completamente llena se enrasa la superficie con la varilla punta de bala.
4. Estando la tara llena, compacta y enrasada, se pesa en la balanza y se registrara la medición como Masa bruta.
5. De manera análoga se repite para las tres mediciones tabuladas.



Ilustración 4-IV "M.V.S.V de la arena"

4.1.4. Capacidad de absorción

La absorción es muy útil conocerla para poder definir si el agregado es bueno para formar concreto, dado que una absorción grande indica una gran cantidad de poros en cada partícula del agregado y esto se considera para un comportamiento mecánico inadecuado, además de que estos poros deberán ser cubiertos por lechada y así aumenta el consumo de cemento.

El equipo utilizado es:

- Una muestra representativa de 1700 gr de arena
- Una balanza.
- Una parrilla



- Charolas metálicas
- Un cono metálico (truncocónico)
- Un pisón.
- Una espátula

El procedimiento que se sigue para esta prueba es:

1. La muestra de 1700 gramos se pone a saturar durante 24 horas.
2. Pasadas las 24 horas, se seca el material superficialmente. Para poder obtener el secado superficial, es necesario usar el molde truncocónico.
 - 2.1 Se llena el molde hasta copete, se pisonea 10 veces, de nuevo se llena hasta copete y se pisonea otras 10 veces, se vuelve a llenar hasta copete ya ahora se pisonea 3 veces, se vuelve a llenar hasta copete y por último se pisonea 2 veces, siendo por total 25 compactaciones con el pisón.
 - 2.2 Se levanta el molde y el material debe formar un cono disgregado, (si se forma, el material está seco superficialmente. Si no se disgrega, el agregado sigue saturado y si se disgrega por completo está seco en demasía). Tuvimos suerte y se disgrego el material en forma óptima.
3. Se pesan 300 gr de agregado seco superficialmente, registrándolo como masa húmeda (mh).
4. Los 300 gr se ponen a secar en la parrilla por medio de las charolas, se secan hasta que no aparente humedad. Se puede comprobar poniendo un cristal sobre la arena, si este se empaña se sigue secando, si no, se deja enfriar para pasar al siguiente paso.
5. Una vez seco, se pesa el agregado registrándolo como masa seca (ms).
6. Se repiten los mismos pasos para tres mediciones (a partir de la arena seca superficialmente).
7. La absorción se calcula como el porcentaje de agua que puede retener con respecto a su masa seca.

$$\% \text{ de absorción} = \frac{mh - ms}{ms} * 100$$

Esta prueba fue realizada en base a la norma (NMX-C-165-ONNCCE, s.f.)



4.1.5. Densidad de la arena

La densidad es el volumen del agregado sin considerar los vacíos que se forman entre el acomodo de cada partícula y la norma que rige esta prueba es la misma que para la prueba de absorción.

La densidad del agregado es un parámetro muy importante en el proporcionamiento del concreto, pues la densidad del agregado es proporcional a la resistencia del concreto, si se tiene un agregado denso mecánicamente tendrá un mejor comportamiento aunque hay que recordar que existen otras propiedades físicas como la adherencia.

El equipo que se utilizó fue:

Muestra representativa de 1700 gr

- Una muestra representativa de 1700 gr de arena
- Una balanza.
- Frasco de Chapman.
- Una parrilla.
- Charolas metálicas.
- Un cono metálico (truncocónico).
- Un pisón.
- Una espátula.



Ilustración 4-V "Prueba de densidad en arenas"

Procedimiento:

Esta prueba se realizó simultáneamente con la prueba de absorción dado que para la prueba de densidad también se requiere que la muestra de arena esté seca superficialmente. Por lo tanto los pasos 1,2 y 3 de la prueba de absorción no se reescribirán en esta prueba.

1. Una vez seca superficialmente la arena, se pesa una muestra registrándola como masa de la arena (M_a).
2. Se llena el frasco de agua hasta el nivel de aforo (450 ml), registrándolo como M_{fa} .
3. Se vacía agua del frasco procurando dejar agua en el nivel de los 200 ml, con la finalidad de que la arena al caer tenga una absorción rápida.
4. Se vacía la muestra de arena (M_a), de manera que toda la muestra entre al frasco con ayuda de una hoja como embudo.



5. Se agita el frasco con la finalidad de liberar las burbujas atrapadas en los bulbos, se llena el frasco hasta el nivel de aforo y se pesa registrándolo como (Mt).

$$\text{Densidad} = \frac{Ma}{Mfa + Ma - Mt}$$

4.1.6. Granulometría en arenas

La granulometría es una prueba física muy importante para los agregados usados en concreto dado que el tener cantidades de partículas uniformemente distribuidas con relación a su tamaño nos ayudara a tener un concreto más denso de agregado pétreo y por consiguiente se requerirá menos pasta de cemento para cubrir espacios que el agregado no puede.

Esta prueba consiste en hacer pasar una muestra representativa de arena seca por una serie de tamices acomodados de mayor abertura a menor abertura por medio de la gravedad y movimientos oscilatorios y trepidatorios con la ayuda del equipo “Raf-tap”.

El equipo necesario para este análisis es:

- Muestra representativa de arena.
- Juego de tamices (Nº 4, 8, 16, 30, 50, 100 y charola).
- Equipo Raf-tap
- Báscula con aproximación al décimo de gramo.



Ilustración 4-VI "Muestra de arena dividida por tamaños"

Existen composiciones granulométricas que en base a estudios empíricos, han demostrado comportarse mejor mecánicamente, por lo tanto la norma mexicana (NMX-C-111-ONNCCE, 2004) especifica un rango del porcentaje que pasa para cada tamaño de las

partículas de arena con referencia al número de malla anteriormente tabulado.

El módulo de finura es la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados de la malla nº 8 a la nº 100, en la cual la curva roja corresponde a un módulo de finura de 3.1 y la curva verde a un módulo de finura de 2.3 de la gráfica 5.1, por lo que entre mayor sea este valor más grueso será el agregado. El módulo de finura correspondiente al agregado



usado en este trabajo es de 3.53, considerado alto. Es importante mencionar que se puede realizar mezclas de agregado para uniformizar la composición granulométrica y de esta manera tener un módulo de finura entre 2.3 y 3.2, dado que se quiere analizar el material de la región se utilizará el agregado tal cual se muestreo.

4.1.7. Colorimetría

La colorimetría es una prueba física realizada a las arenas utilizadas para concreto hidráulico en la cual de forma comparativa se analiza el color del sedimento con una tabla colorimétrica la cual determina la cantidad de materia orgánica. Recordemos que el exceso de materia orgánica es perjudicial para las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto.

El equipo necesario para esta prueba es:

- Muestra representativa de arena, aproximadamente 500 gr.
- 3 gr de Sosa Cáustica.
- 97 ml de agua destilada.
- Biberón con tapa hermética.
- Tabla colorimétrica.

Procedimiento.

1. Se realiza la solución de sosa cáustica, 3 gramos por 97 gramos de agua destilada.
2. Se agrega solución de sosa cáustica hasta el nivel de los 206 ml.
3. Se agrega la muestra hasta el nivel de los 330 ml.
4. Se agita durante 2 minutos y se deja reposar.
5. Al cabo de 24 horas se compara el color del sedimento del material con la tabla colorimétrica.



Ilustración 4-VII "Comparación colorimétrica de la arena"



4.2. Caracterización física del agregado grueso

4.2.1. Muestreo de grava

El uso del concreto hidráulico en nuestro país es importante pues en la mayoría de las edificaciones lo utilizamos, debido a esto los bancos de materiales de origen volcánico se encuentran demasiado explotados, es el motivo por el cual se decidió utilizar grava triturada ya que la de origen volcánico es demasiado porosa afectando así las propiedades mecánicas del agregado. El banco que se decidió analizar fue el banco “La rocka” ubicado en la localidad de Cuto de la esperanza en Tarímbaro, Michoacán.



Ilustración 4-VIII "Localización del banco la Rocka"



Ilustración 4-IX "Muestreo de la grava en el banco"



4.2.2. Cuarteo

El cuarteo en el agregado grueso se realizó por medio de palas tal como se describió en el capítulo de arenas, de estas muestras representativas se realizaron las pruebas de masas volumétricas que se describirán más adelante, de igual manera se utilizó un divisor de muestras con aberturas más grandes que el utilizado en arenas para obtener muestras representativas para las pruebas de absorción y densidad más adelante descritas.

Equipo.

- Muestra representativa de grava aproximadamente 100 kg.
- Palas
- Divisor de muestras
- Charolas

4.2.3. Masas volumétricas

El procedimiento de esta prueba está basado en la norma (NMX-C-073-ONNCCE, 2004). Los procedimientos de prueba son similares a los a los descritos en la prueba de la arena.

El equipo necesario para esta prueba es:

- Una muestra representativa seca de grava.
- Una tara con dimensiones normadas.
- Una varilla punta de bala de 5/8 de diámetro.
- Una báscula.
- Un cucharón y una pala.



De la muestra (100 kilos aprox.) que se estuvo *Ilustración 4-X "Muestra de grava cuarteada"* cuarteando, de ahí se obtuvieron estas masas.

4.2.3.1 Masa volumétrica seca suelta.

La masa volumétrica seca y suelta de la grava al igual que en el agregado fino, se utiliza principalmente para convertir unidades de masa a unidades de volumen, ya que en algunos casos es más práctico medir los materiales por volumen que por masa.

Procedimiento:



1. De la muestra representativa, se divide y dos cuartas partes (en diagonal) se utilizan para el llenado de la tara.
2. Una vez cuarteada la muestra, se llena la tara con el cucharón, vaciando el material a una altura de aproximadamente 5 cm. Alternado las dos cuartas partes de muestra elegidas para el llenado.
3. Cuando la tara se llena completamente, se enrasa la superficie con la mano procurando ocupar el volumen marcado con el material.
4. Estando la tarra llena y enrasada, se pesa en la báscula y se registra la medición.
5. De manera análoga se hicieron para las tres mediciones tabuladas.

Se puede considerar una m.v.s.s alta (1497 kg/m³) pero recordando que es material triturado es un valor lógico, aunque este valor no influye directamente en la dosificación por el método del ACI es importante conocer su valor de forma precisa.

4.2.3.2 Masa volumétrica seca varillada (M.V.S.V)

La masa seca varillada es un valor de gran importancia pues con él se determina la cantidad de grava utilizada en el concreto, entonces este valor altera directamente las cantidades de materiales necesarios para elaborar concreto.

El procedimiento es:

1. De la muestra cuarteada, se dividió, y las dos cuartas partes restantes después de realizar la prueba de m.v.s.s, se utilizan para el llenado de la tara.
2. Una vez cuarteada la muestra, se llena la tara con el cucharón, vaciando el material a una altura de aproximadamente 5 cm. (alternado las dos cuartas partes de muestra elegidas para el llenado), en tres capas iguales y cada una de ellas con 25 golpes (en forma concéntrica) con la varilla punta de bala.
3. Cuando la tara está completamente llena se enrasa la superficie con la mano.
4. Estando la tarra llena, compacta y enrasada, se pesa en la báscula y se registrara la medición como Masa bruta.
5. De manera análoga se repite para las tres mediciones tabuladas.



Ilustración 4-XI "Registro de masa para m.v.s.v"



4.2.4. Capacidad de absorción

La absorción es una propiedad física muy importante en los agregados, al igual que en la arena, conociendo la capacidad de absorción de la grava podemos calificarla como buena o mala, una absorción alta indica una cantidad grande de poros y como ya se mencionó, estos poros deben ser cubiertos por lechada y la grava es el agregado que más abunda en el concreto por lo tanto tendrá mayor impacto en las propiedades del concreto.

El equipo necesario para esta prueba es:

- Muestra representativa de grava, aproximadamente 2 kilos.
- Charolas.
- Parrilla.
- Franela, espátula y cristal.

Procedimiento.

1. La muestra de 2000 gramos se pone a saturar durante 24 horas.
2. Pasadas las 24 horas, se seca el material superficialmente, con la ayuda de la franela.
3. Se pesan 300 gr de agregado seco superficialmente, registrándolo como masa húmeda (mh).
4. Los 300 gr se ponen a secar en la parrilla por medio de las charolas, se secan hasta que no aparente humedad. Se puede comprobar poniendo un cristal sobre la grava, si este se empaña se sigue secando, si no, se deja enfriar para pasar al siguiente paso.
5. Una vez seco, se pesa el agregado registrándolo como masa seca (ms).
6. Se repiten los mismos pasos para tres mediciones (a partir de la grava seca superficialmente).
7. La absorción se calcula como el porcentaje de agua que puede retener con respecto a su masa seca.

$$\% \text{ de absorción} = \frac{mh - ms}{ms} * 100$$

De acuerdo con el resultado promedio, se clasifica a la propiedad de la grava como absorción baja, esto se debe a que es un agregado triturado y generalmente estos



agregados proceden de una matriz rocosa sana. Esta prueba fue realizada en base a la norma (NMX-C-164-ONNCCE, 2004)

4.2.5. Densidad de la grava

Recordando que la densidad es la masa por unidad de volumen, podemos predecir que la densidad será alta observando el valor de la absorción. Esta prueba se realizó en base a la norma (NMX-C-164-ONNCCE, 2004)

Equipo:

- Muestra representativa de grava, aproximadamente 2 kilos (la misma muestra usada en absorción).
- Picnómetro
- Probeta de 250 ml.
- Franela

Procedimiento:

1. Se deja saturando la muestra durante 24 horas.
2. Después de saturar, se seca superficialmente con la ayuda de la franela.
3. Se miden 300 gramos de grava seca superficialmente, registrándola como masa húmeda (mh)
4. Se llena el picnómetro, se deja reposar hasta que deje de gotear por el orificio.
5. Se coloca la probeta de 250 ml por debajo del orificio, después se vierte la muestra (mh) sobre el picnómetro procurando no salpicar el agua contenida en el picnómetro.
6. Se deja reposar hasta que el goteo sea prácticamente nulo, se mide el volumen desalojado y se registra como vf.
7. De manera análoga se realiza la prueba para las otras dos mediciones tabuladas.

$$densidad = \frac{mh}{vf}$$



4.2.6. Granulometría en gravas

La granulometría en las gravas sirve para saber el acomodo que tendrá en el concreto pues una granulometría escalonada tendrá consecuencias no solo de resistencia sino también de durabilidad, recordando que la grava es el agregado que le da la resistencia al concreto, si el tamaño máximo del agregado crece la resistencia del concreto crece. Lo ideal sería tener una granulometría uniforme, de acuerdo a lo establecido en la tabla 1.1 de la norma (NMX-C-111-ONNCCE, 2004), en donde de acuerdo al tamaño máximo del agregado estable un rango del porcentaje que pasa para cada malla.

Equipo necesario para esta prueba.

- Muestra representativa de 16 kilos.
- Juego de mallas (1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, $\frac{1}{4}$ y n°4)
- Charolas.
- Cucharón
- Báscula

Procedimiento:

- De una de las muestras usadas en la prueba de m.v.s.s se deposita en una bolsa para conocer su masa inicial.
- Después se hace pasar el material por la malla más pequeña y los retenidos en esa malla se pasan por las siguientes mallas en el mismo orden.
- De esta manera se tienen los retenidos de cada malla, procediendo a pesar cada retenido.



Ilustración 4-XII "Prueba de granulometría en arenas"



4.3. Caracterización física del cemento

4.3.1. Densidad del cemento

La densidad del cemento es una propiedad importante para la dosificación del concreto y a diferencia de los agregados, esta propiedad física no varía de forma drástica en las diferentes marcas que se dedican a la producción de cemento portland. El método de prueba se rige por la norma mexicana (NMX-C-152-ONNCCE, 2010)

Equipo necesario:

- Frasco de Le Chatelier
- Muestra representativa de cemento
- Balanza con aproximación al décimo de gramo
- 250 ml de petróleo
- Un recipiente con agua
- Termómetro
- Embudo no absorbente

Procedimiento:

- Se vierte el petróleo en el frasco de Le Chatelier hasta un nivel de 1 ml, se sumerge el bulbo del frasco en agua y se gira sobre un círculo horizontal con la finalidad de establecer el nivel del petróleo.

Nota: La temperatura del agua debe ser la del ambiente del laboratorio y no debe haber una variación de temperatura ambiente mayor a 0.2°C entre la toma de la lectura inicial y la de la final.

- Se toma la lectura del petróleo y se anota como lectura inicial, L_i (ml).
- Se pesan aproximadamente 60 gr de cemento, procurando que la masa del cemento eleve al petróleo después del segundo bulbo para poder tomar lecturas y se registra la masa como M_c (gr)
- Se vacían los 60 gr de cemento lentamente, de manera que no se obstruya en el primer bulbo.
- Se mueve el frasco de forma lenta para que el aire atrapado entre el cemento y el petróleo salga.
- Se toma la lectura al nivel del petróleo y se registra como L_f (ml).

$$densidad = \frac{M_c}{L_f - L_i}$$



4.3.2. Consistencia normal

La prueba de consistencia normal se utiliza para conocer la cantidad de agua necesaria en porcentaje con respecto a la masa del cemento necesaria para que sea una pasta bien hidratada y poder realizar las pruebas de sanidad del cemento y tiempos de fraguado. Con la ayuda del aparato de vicat podemos determinar si la pasta tiene la cantidad suficiente de agua, esto se logra si la aguja de mayor área del aparato de vicat penetra la pasta 10 mm durante 30 segundos. La norma que rige esta prueba es la (NMX-C-057-ONNCCE, 2010)

Equipo necesario:

- Muestra representativa de cemento
- Agua potable o limpia
- Bascula con aproximación al décimo de gramo
- Recipiente no absorbente para elaborar la pasta de cemento
- Probeta graduada de 250 mililitros.
- Aparato de vicat
- Cristal liso de 15 cm x 15 cm

Procedimiento:

- Se coloca en el anillo cónico sobre el cuadro de cristal y se coloca la aguja de mayor área sobre el anillo para ajustar el aparato de vicat en ceros.
- Se pesan 350 gramos de cemento de la muestra representativa y se vacían en el recipiente formando un cráter con la ayuda de una espátula.
- Se propone un porcentaje para medir el agua a utilizar, se recomienda 30%, este volumen se mide en la probeta y vacía dentro del cráter de cemento.
- Se deja reposar durante un máximo de 60 segundos con la finalidad de que el cemento absorba toda el agua.
- Después del primer minuto en el que entró en contacto el agua con el cemento, se realiza el amasado de la mezcla de la siguiente manera:
 - En 30 segundos se homogeniza la pasta de cemento presionándola con la palma de las manos.
 - En otros 30 segundos con la pasta homogénea se forma una esfera y se pasa de mano en mano 6 veces.



- En los últimos 30 segundos se vierte la pasta de cemento en el anillo cónico, apoyado sobre el cuadro de cristal, del aparato de vicat con la ayuda de las manos y el excedente se retira con la espátula.
- Se coloca el anillo con la pasta por debajo de la aguja que ya previamente se puso en ceros, y se suelta la aguja a la vez que se inicia el cronometro, después de 30 segundos se mide la penetración de la aguja.
- Si la penetración de la aguja está entre los 9 y 11 mm, se encontró la consistencia normal, si no se realizan otros tanteos hasta que la penetración de la aguja sea la indicada.

4.3.3. Tiempos de fraguado

Los tiempos de fraguado en el cemento hidráulico son importantes ya que nos permite conocer que tanto tiempo se tiene para manejar al concreto en estado fluido y en que tanto tiempo alcanza dureza, aunque las condiciones en las que se encuentre el concreto afectan demasiado estos tiempos, el tiempo de fraguado del cemento en laboratorio nos permite saber que marcas de cemento fraguan más rápido.

Para poder realizar esta prueba se necesita el aparato de Guillmore (ilustración X), este tiene dos agujas, la de menor área para determinar el fraguado inicial y la de mayor área para el fraguado final.

Procedimiento:

- Con la pasta que se obtuvo de la prueba anterior, consistencia normal, se aplana la muestra de la pasta sobre el cuadro de cristal formando una circunferencia de aproximadamente 12 cm de diámetro y 1 cm de espesor.
- Para determinar el fraguado inicial se coloca la circunferencia por debajo de la aguja, se deja caer la aguja a ras de la pasta y si ésta ya no deja marca se mide el tiempo en el que entró en contacto el agua con el cemento y en el que ya no dejó marca la aguja sobre la pasta, de igual manera se realiza para el fraguado final, solo que ahora se utiliza la aguja de menor área.

Se recomienda realizar la penetración cada 15 minutos para el fraguado inicial y después de 5 horas cada media hora para el fraguado final.

La norma que rige esta prueba es la (NMX-C-059-ONNCCE, 2010) y establece que el tiempo del fraguado inicial debe ser mayor a 45 minutos y el fraguado final no debe exceder las 7 horas.



4.4. Diseño de mezcla

Todos los métodos que existen para la dosificación de mezclas son empíricos, esto significa que estos métodos son elaborados a prueba y error, por lo tanto cuando se diseña concreto se debe comprobar la resistencia con la prueba a la compresión a los 28 días de edad. Generalmente se debe corregir la primera dosificación, ya sea porque el revenimiento estuvo fuera de norma o porque la resistencia no es la esperada. Para este trabajo de investigación se utilizó el método que establece el ACI. Para este caso, en donde se utilizó arena volcánica y grava triturada, no hubo la necesidad de corregir las cantidades dadas por el método.

Es importante mencionar que se puede realizar un proporcionamiento para ciertas características de agregados sin la necesidad de utilizar algún método ya establecido, un parámetro que afecta demasiado la trabajabilidad del concreto es la relación grava/arena en volumen, dependiendo del tamaño máximo, una relación grava/arena por encima del 1.5 se vuelve áspera y difícil de trabajar. Debido a que la relación grava/arena obtenida por el método del ACI fue de 1.0, se tomaron los valores de este método para la elaboración del concreto utilizado en este estudio.



4.5. Pruebas al concreto fresco

4.5.1. Prueba de fluidez

La prueba de fluidez utilizada fue la prueba de revenimiento, se realizó con la intención de corroborar la dosificación. El revenimiento de diseño fue de 10 cm y el revenimiento de las muestras estuvo entre los 9 cm y los 12 cm, estos valores están permitidos de acuerdo a la norma mexicana (NMX-C-156-ONNCCE, 2010) que establecen los parámetros indicados en la tabla 4-I.

Tabla 4-I "Tolerancia para revenimiento"

Revenimiento	Tolerancia
$R < 5 \text{ cm}$	+/- 1.5
$5 \text{ cm} < R < 10 \text{ cm}$	+/- 2.5
$R > 10 \text{ cm}$	+/- 3.5

El equipo necesario para realizar la prueba es:

- Placa metálica para revenimiento
- Molde troncocónico para revenimiento
- Cucharón de 1 lt
- Varilla punta de bala de 5/8 de pulgada
- Flexómetro
- Esponja para humedecer el material necesario

Procedimiento:

- Una vez que se tiene completamente homogénea la mezcla, ya sea en una carretilla o una charola, se coloca la placa en una superficie completamente uniforme y horizontal lo más próximo a la mezcla y se humedecen la herramienta que entrará en contacto con el concreto.
- Se coloca el molde troncocónico al centro de la placa, pisando las orejas del molde
- Se llena la primera capa del molde con un cucharón y medio de mezcla y se realizan 25 penetraciones, con la varilla punta de bala, distribuidas sobre toda la superficie del concreto.



- Se repite el paso anterior para la segunda y tercera capa, a diferencia que en la tercera capa se debe enrasar la superficie con la ayuda de la varilla punta de bala.
- Una vez enrasado el molde, este se debe levantar de forma lenta (procurando hacerlo en no más de segundos)
- Se coloca el molde con el diámetro menor hacia arriba, se coloca la varilla sobre el molde de forma horizontal y se mide la distancia entre el concreto y la varilla, como se muestra en la ilustración 4-IX y 3-III.



Ilustración 4-XIII "Prueba de revenimiento"



4.6. Pruebas al concreto endurecido

4.6.1. Resistencia a la compresión

La prueba de resistencia a la compresión se realizó en una máquina universal “Forney” Modelo Tb- todas la pruebas a la compresión se realizaron en el rango de 75 toneladas. Esta prueba se realizó de acuerdo a la norma mexicana (NMX-C-083-ONNCCE, 2002).

Antes de realizar la prueba de compresión, se cabecean los especímenes y para lo cual se requiere el siguiente equipo y procedimiento.

Equipo:

- Mortero de azufre
- Parrilla de gas
- Jarra para fundir azufre
- Mascarilla con filtro
- Guías metálicas para cabeceo, junto con su plato metálico con diámetro superior al del espécimen
- Diésel para lubricación del plato metálico

Procedimiento

- Se coloca la cantidad necesaria de mortero de azufre en la jarra para cabecear los especímenes necesarios.
- Se pone la jarra sobre la parrilla a fuego alto hasta que alcance la temperatura de 95°C para que se funda y sea trabajable el líquido.
- Se coloca el plato metálico en la parrilla durante unos segundos con la intención de calentarlo ligeramente para evitar choques térmicos entre el metal y el azufre.
- Una vez fundido el azufre, se vacía sobre en el plato precalentado, lubricado y apoyado sobre las guías hasta la mitad del nivel del plato.
- Enseguida se desliza el espécimen sobre las guías metálicas hasta que éste siente sobre el azufre.
- Después de un tiempo, el azufre se vuelve sólido de nuevo y se retira el cilindro con la primera cara cabeceada.
- Se repiten los pasos anteriores para la segunda cara del espécimen



Una vez cabeceado el espécimen a probar, se deja enfriar durante unos minutos y se lleva a la máquina universal (ilustración para realizar la prueba de compresión siguiendo el siguiente procedimiento.



Ilustración 4-XIV "Máquina universal Forney"

- Se colocan los aditamentos para la prueba de compresión y se enciende la máquina universal.
- Se mueve la platina azul hasta la altura donde quede una separación de 2.5 cm aproximadamente entre el cilindro y el disco de compresión.
- Se abren las dos llaves de la máquina para permitir el flujo aceite y que levante la platina gris para comprimir al cilindro.
- Se comprime el cilindro hasta notar una clara falla del espécimen, esto con la finalidad de determinar la calidad del cabeceo y se registra la carga máxima



Ilustración 4-XV "Prueba de compresión"

Es importante mencionar que la velocidad de aplicación de carga es importante en la ejecución de esta prueba, la establece un rango de velocidad (kg/cm²/s) que para el área



de especímenes de 15 cm de diámetro equivale a un rango 100 kg/s y 550 kg/s, dicha velocidad se puede medir con la maquina Forney.

4.6.2. Prueba de los tercios medios

Esta prueba se realizó en la misma máquina que la prueba de compresión, solo que con la ayuda de los aditamentos para flexión. El rango de la maquina con el cual se probaron las vigas fue el de 7.5 toneladas. El método de prueba está basada en la norma mexicana (NMX-C-191-ONNCCE, 2004) y para la cual se sigue el siguiente procedimiento:

- En cuanto se retiran de la pila de curado, se marcan los apoyos y las líneas de los rodillos donde se aplicará la carga.
- Se colocan los apoyos, con una abertura de 45 cm entre si, sobre la platina de la máquina, se pone el espécimen sobre los apoyos guiados por las marcas.
- Se centra el espécimen y los apoyos para posteriormente colocar los rodillos sobre las líneas marcadas (centradas, con una separación entre sí de 15 cm) y encima de los rodillos la placa metálica como se muestra en la figura inferior.



Ilustración 4-XVI"Prueba de los tercios medios"

- Se aplica carga de forma lenta hasta la falla y se registra la carga última.

La mejor falla es cuando el espécimen se parte por la mitad o cuando menos en el tercio medio. La norma establece otra fórmula para determinar el módulo de ruptura cuando la falla se presenta entre el apoyo y el extremo del tercio medio, cuando la falla se presenta sobre o fuera de los apoyos, la prueba debe repetirse.

Debido a que la norma no estable una velocidad de prueba, en este trabajo la prueba se realizó en un rango de 70 segundos y 100 segundos teniendo un rango de velocidad de carga entre 25 kg/s y 40 kg/s.



4.6.3. Velocidad de pulso ultrasónico

La prueba de velocidad se realizó con el equipo “” utilizando gel para cabello como liquido estabilizador. Se tomó un promedio de 10 lecturas y cada una con un pulso por segundo. La norma que rige esta prueba es la (NMX-C-255-ONNCCE, 2013)

Equipo

- Especimen cilíndrico de concreto
- Equipo de velocidad de pulso
- Gel

Para los especímenes curados; se retiran de la pila y se realiza la prueba lo antes posible de la siguiente manera

- Se enciende el equipo y se calibra con la barra, la cual debe durar 58.4 us en transmitir el pulso.
- Se coloca el especimen de forma horizontal
- Se agrega gel en los transductores y se colocan en la parte central de la circunferencia del cilindro como se muestra en la ilustración inferior.



Ilustración 4-XVII"Prueba de velocidad de pulso"

- Se introduce la altura del cilindro en el equipo y se toman las 10 lecturas, el equipo realiza un promedio con 8 lecturas, despreciando el mayor y el menor de los 10 valores obtenidos.

Es importante mencionar que se tiene que adicionar una buena cantidad de gel para que las lecturas no varíen de forma drástica, de hecho, el equipo no debería mostrar oscilaciones de lecturas si el contacto entre el concreto y los transductores fuera el correcto.



4.6.4. Resistividad eléctrica

Esta prueba fue realizada con el equipo “” con el cual se puede determinar la resistencia eléctrica en ohm, esta prueba solo se realizó en los especímenes curados, debido a que lecturas en especímenes secos no son representativas como parámetro de durabilidad.

Equipo.

- Resistometro
- Placas de cobre de igual diámetro al del cilindro
- Cable del N° 12 AWG con punta banana y punta caimán
- Almohadilla de tela saturada de agua

Desafortunadamente, no existe norma mexicana para el método de prueba, aunque la red temática establece especificaciones con respecto al riesgo a la corrosión. Sin embargo, debido a pruebas realizadas con anterioridad se siguió el siguiente procedimiento:

- Una vez sacado de la pila el espécimen, esta debe ser la primera prueba que se le debe realizar con la intención de que no pierda humedad. Si por alguna razón perdiera humedad se debe humedecer superficialmente para que esté completamente saturado y poder realizar la prueba.
- Se conectan los cables al equipo y a las placas de cobre como se ilustra en la siguiente figura.
- Se coloca una almohadilla de tela completamente saturada por debajo del espécimen y otra por encima sirviendo como material de cabeceo para las placas de cobre y poder tomar la lectura sin que esta oscile demasiado.

Se debe tomar en cuenta que la fuerza con la que se presionen las placas afecta la lectura, además del grado de saturación del espécimen.

4.6.5. Porosidad total

La prueba de porosidad total se realizó con forme al método de prueba establecido por la norma mexicana (NMX-C-263-ONNCCE, 2010) en rodajas de 3 cm de altura, provenientes de corazones de 3 pulgadas de diámetro, extraídos de vigas ya falladas.

Equipo

- Muestras de concreto de 7.0 cm de diámetro y 3.0 cm de altura
- Recipiente con agua (cubeta de 19 lt)
- Báscula mecánica con aproximación al décimo de gramo



- Canastilla metálica

Procedimiento

- Las muestras se ponen a saturar en un recipiente con agua procurando un tirante de agua de 2.5 cm sobre las muestras.
- Después de 24 horas, se secan superficialmente y se pesan. Se debe registrar la masa cada 24 horas hasta que no varíe en un 1% con respecto a la masa anterior.
- Cuando ya no varíe la masa en 1% en 24 horas, se registra la última masa como masa saturada (mst).
- Una vez que se tenga la masa saturada, se coloca la báscula en el extremo de una mesa, de tal manera que al colgar la canastilla ésta quede dentro de la cubeta con agua, como se ilustra en la siguiente imagen



Ilustración 4-XVIII "Prueba de porosidad total"

- Se determina la masa de la canastilla cuando está sumergida.
- Se coloca la muestra en la canastilla y se determina la masa, a la cual se le resta la masa de la canastilla y se obtiene la masa sumergida (mss)
- Después de determinar la masa sumergida, se dejan las muestras a la intemperie durante 24 horas. Después se meten a horno a una temperatura de 100°C y al igual que para la masa saturada; se registran las masas secas cada 24 horas y cuando ésta ya no varíe en 1% se registra la última como masa seca (ms)

Cálculos

$$\% \text{ de vacíos} = \frac{mst - ms}{mst - mss} \times 100$$



4.6.6. Porosidad efectiva

La prueba de porosidad total no cuenta con alguna norma que establezca el método de prueba pero la Red Temática DURAR establece especificaciones para porosidad efectiva con respecto a la durabilidad del concreto.

Equipo

- Muestras de concreto de 7.0 cm de diámetro y 3.0 cm de altura.
- Recipiente de plástico, con el área suficiente para colocar las muestras a probar.
- Esponja de 2 cm de alto, que cubra el área del recipiente.
- Mezcla de cera con brea; parafina
- Recipiente para la parafina y una brocha de 1 pulgada.

Procedimiento.

- Se prepara la parafina utilizando 80% de cera y 20% de brea respecto a la masa, colocándolas en el recipiente y poniéndolas a fuego lento hasta que se fundan y mezclen.
- Al término de la prueba de porosidad total, las muestras se encuentran secas, se registra la masa seca (ms)
- Teniendo la parafina líquida y las muestras secas, con la ayuda de la brocha se unta parafina sobre el perímetro de las muestra, como se muestra en la figura inferior.

Se emparafina con la intención de que la muestra solo entre en contacto con el agua por la parte diametral y por su perímetro, generalmente son necesarias tres manos de parafina.

- Cuando la parafina haya enfriado, se colocan las muestras sobre la esponja en el recipiente con agua, se registra el tiempo en el que la muestra entra en contacto con el agua. La muestra debe tener un tirante de 5 mm por encima de la esponja.
- Se deben registrar las masas a 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 1 h, 2h, 3h, 4h, 6h, 24h después de haber entrado en contacto con el agua. Después de las primeras 24 horas las masas se registran cada 24 horas hasta que la masa ya no aumente.



5. Resultados

5.1. Diseño de mezcla

Los diseños de mezclas son métodos de dosificación de concreto basados en experimentación, por lo que independientemente del método que se use se deberá corregir realizando especímenes de prueba a distintas edades, según se requiera. Como se ha mencionado en otros capítulos la edad comercial del concreto, a no ser que se especifique otra edad, es a los 28 días. Existen distintas marcas de cemento en el mercado y cada una de ellas reacciona de distinta manera, aunque todas estas marcas indiquen ser CPC 30 R (Cemento Portland Compuesto de resistencia Rápida) la resistencia evoluciona de distinta manera según la marca. Para este trabajo de investigación no se realizó ninguna corrección para el método de dosificación debido a que lo que interesaba era la relación agua-cemento y no el $f'c$ del concreto.

El método utilizado fue el método del ACI, considero uno de los más populares en la actualidad. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos por el método del ACI.

Tabla 5-I "Dosificación para un m³ de concreto por el método del ACI"

Materiales	<i>Cantidades por m³ de concreto (kg)</i>
Cemento	342
Grava	869
Arena	749
Agua	205
Masa total	2223

Tabla 5-II "Dosificación para un bulto de cemento por el método del ACI"

Materiales	<i>Cantidades para un bulto de cemento (50 kg)</i>
Grava (botes)	4.5
Arena (botes)	4.5
Agua (l)	30



5.2. Agregado finos

5.2.1. Masa volumétrica seca suelta

Tabla 5-III "Masa Volumétrica Seca Suelta en arenas"

	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>
Masa bruta (gr)	5300	5380
Masa de la tara (gr)	2783	2783
Masa neta (gr)	2517	2597
Volumen (cm ³)	1874	1874
M.V.S.S (kg/m ³)	1343	1385
Promedio (kg/cm ³)	1364	

5.2.2. Masa volumétrica seca varillada

Tabla 5-IV "Masa Volumétrica Seca Varillada en arenas"

	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>
Masa bruta (gr)	5600	5670
Masa de la tara (gr)	2783	2783
Masa neta (gr)	2817	2887
Volumen (cm ³)	1874	1874
M.V.S.S (kg/m ³)	1503.2	1540.6
Promedio (kg/cm ³)	1522	

5.2.3. Capacidad de absorción

Tabla 5-V "Capacidad de Absorción en arenas"

	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>	<i>Muestra 3</i>
Masa húmeda (gr)	300	300	300
Masa seca (gr)	280	284	285.5
Absorción (gr)	20	16	14.5
Capacidad de absorción (%)	7.1	5.6	5.1
Promedio (%)	6.0		



5.2.4. Densidad

Tabla 5-VI "Densidad por medio del picnómetro y la probeta"

	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>	<i>Muestra 3</i>
Masa húmeda (gr)	300	250	228.5
Volumen desalojado (cm ³)	127	102	97
Densidad (gr/cm ³)	2362	2451	2355
Promedio (gr/cm ³)	2.39		

Tabla 5-VII "Densidad por medio del frasco de Chapman"

	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>
Masa húmeda (gr)	303.4	303.0
Masa del frasco y agua (gr)	748.2	748.2
Masa del frasco, arena y agua (gr)	922.4	925
Densidad (gr/cm ³)	2.38	2.40
Promedio (gr/cm ³)	2.39	

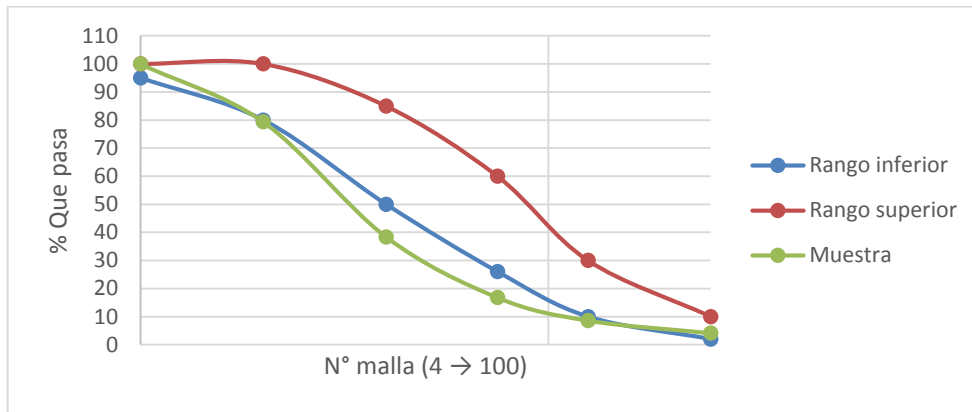
5.2.5. Granulometría

Tabla 5-VIII "Granulometría promedio en arenas"

	<i>Masa retenida (gr)</i>	<i>Masa retenida Acumulada (gr)</i>	<i>Retenido (%)</i>	<i>Retenido Acumulado (gr)</i>	<i>Que pasa (%)</i>	<i>Límites de norma</i>	
4	0.0	0.0	0.00	0.00	100	95	100
8	194.5	194.5	20.62	20.62	79.38	80	100
16	385.5	385.5	40.87	61.49	38.51	50	85
30	203.6	203.6	21.58	83.07	16.93	26	60
50	77.6	77.6	8.23	91.30	8.70	10	30
100	42.6	42.6	4.52	95.81	4.19	2	10
200	22.5	22.5	2.39	98.20	1.80		
Charola	17.0	17.0	1.80	100.00	0.00		



Gráfica 5-1 "Análisis granulométrico en arenas"



5.2.6. Colorimetría

La tabla colorimétrica (ver ilustración 5.I) cuenta con 5 circunferencias de distinta tonalidad, en valor de 1 corresponde a la tonalidad más clara y el número 5 a la tonalidad más oscura, el valor de 1 corresponde a un contenido de materia orgánica muy bajo y el 5 a un contenido muy alto. El resultado obtenido fue similar al número 2 por lo que se considera un contenido de materia orgánica bajo en el agregado en estudio.



Ilustración 5-I "Comparación colorimétrica"



5.3. Agregado grueso

5.3.1. Masa volumétrica seca suelta

Tabla 5-IX" Masa volumétrica Seca Suelta en gravas"

	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>
Masa bruta (gr)	18800	18800
Masa de la tara (gr)	2930	2930
Masa neta (gr)	15870	15870
Volumen (cm ³)	10600	10600
M.V.S.S (kg/m ³)	1497	1497
Promedio (kg/cm ³)	1497	

5.3.2. Masa volumétrica seca varillada

Tabla 5-X" Masa Volumétrica Seca Suelta en gravas"

	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>
Masa bruta (gr)	19800	20100
Masa de la tara (gr)	2930	2930
Masa neta (gr)	16870	17170
Volumen (cm ³)	10600	10600
M.V.S.S (kg/m ³)	1591.5	1619.8
Promedio (kg/cm ³)	1606	

5.3.3. Capacidad de absorción

Tabla 5-XI" Absorción en gravas"

	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>	<i>Muestra 3</i>
Masa húmeda (gr)	301.6	300	301
Masa seca (gr)	297.5	296.2	298
Absorción (gr)	4.1	3.8	3
Capacidad de absorción (%)	1.4	1.3	1.0
Promedio (%)	1.2		



5.3.4. Densidad

Tabla 5-XII "Densidad en gravas"

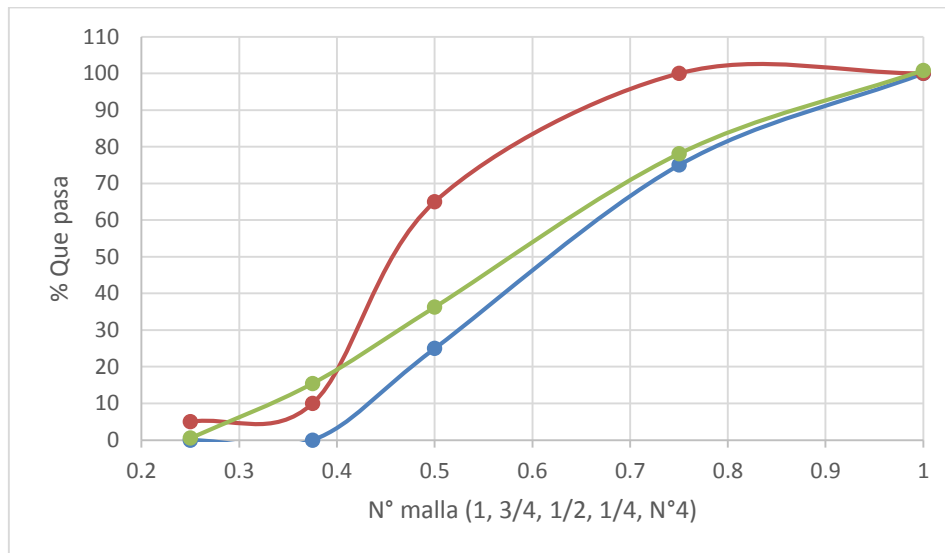
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Masa húmeda (gr)	300	300	303
Volumen desalojado (cm ³)	112	110	115
Densidad (gr/cm ³)	2678.6	2727.3	2634.8
Promedio (gr/cm ³)	2.68		

5.3.5. Granulometría

Tabla 5-XIII "Granulometria en gravas"

	Masa retenida (gr)	Masa retenida Acumulada (gr)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (gr)	Que pasa (%)	Límites de norma	
1	30	0.2	0.2	100.8	100	100	100
¾	3425	22.8	23.0	78.1	79.38	75	100
½	6290	41.8	64.8	36.3	38.51	25	65
3/8	3130	20.8	85.6	15.5	16.93		
¼	2245	14.9	100.5	0.5	8.70	0	10
N° 4	80	0.5	101.0	0.0	4.19	0	5
Pasa N°4	0	0.0	101.0	0.0	1.80		

Tabla 5-XIV "Análisis granulométrico en gravas"





5.4. Cementante

5.4.1. Densidad

Tabla 5-XV "Densidad en cemento"

	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>
Masa cementante (gr)	60.6	60.2
Volumen desalojado (cm ³)	20	20
Densidad (gr/cm ³)	3.00	3.04
Promedio (gr/cm ³)	3.02	

5.4.2. Consistencia normal

Tabla 5-XVI"Consistencia normal del cemento"

	<i>Muestra 1</i>	<i>Muestra 2</i>
Masa cementante (gr)	350	60.2
Cantidad de agua (%)	30	31
Penetración (mm)	7	10
Consistencia normal (%)	31	

5.4.3. Tiempos de fraguado

Tabla 5-XVII"Tiempo de fraguado del cemento"

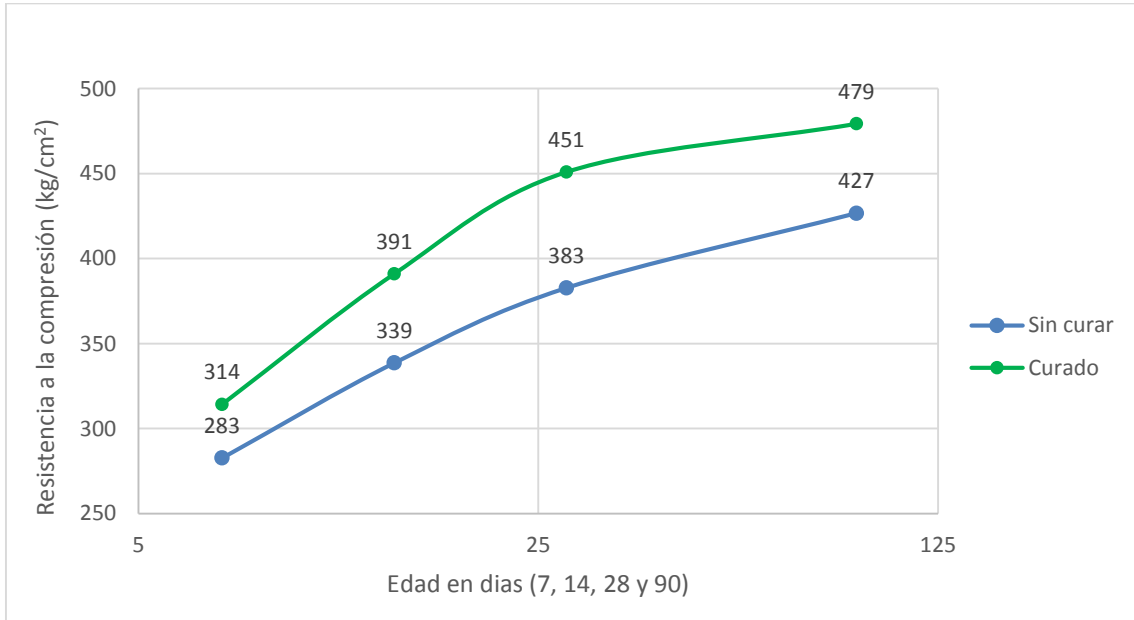
	<i>Muestra 1</i>
Fraguado inicial (min)	76
Fraguado final (min)	450
Temperatura de prueba (°C)	23



5.5. Resistencia a la compresión

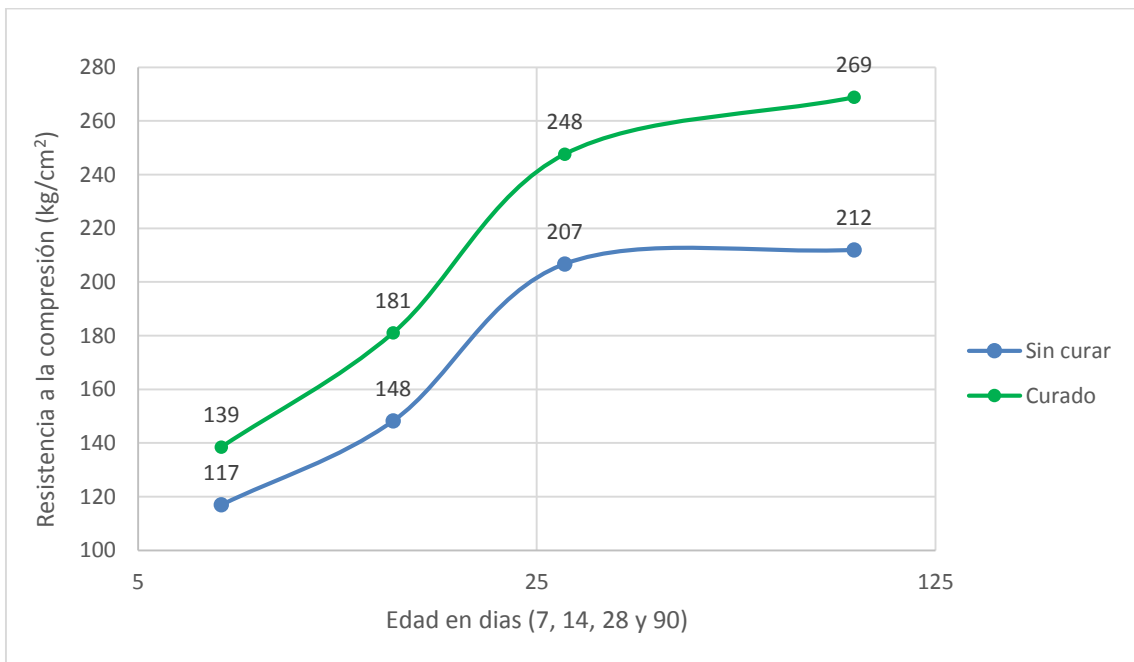
5.5.1. Relación agua/cemento 0.4

Gráfica 5-2 Comparativa de resistencia a la compresión con relación a/c de 0.4



5.5.2. Relación agua/cemento 0.6

Gráfica 5-3 Comparativa de resistencia a la compresión con relación a/c de 0.6

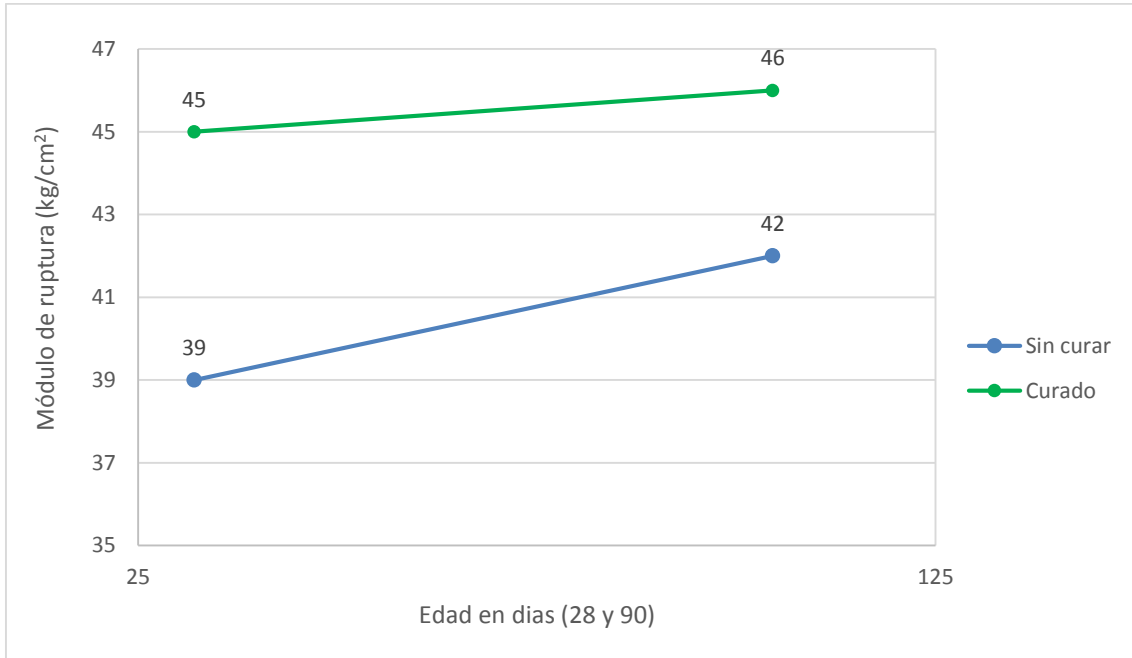




5.6. Resistencia a la flexión

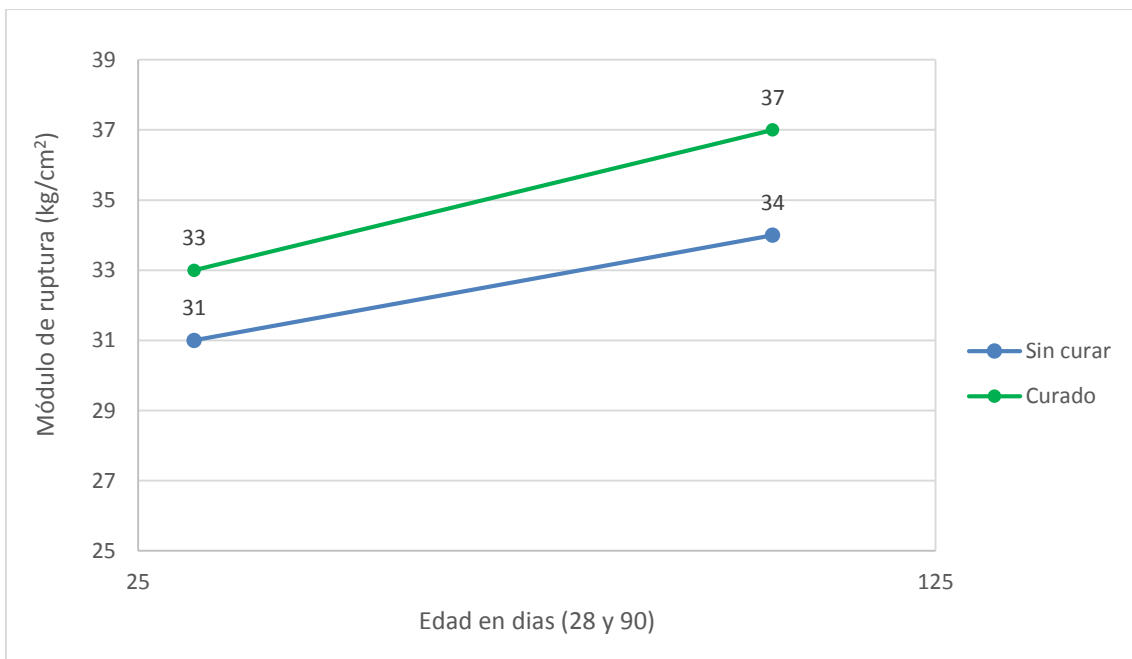
5.6.1. Relación agua/cemento 0.4

Gráfica 5-4 Comparativa de resistencia a la flexión con relación a/c de 0.4



5.6.2. Relación agua/cemento 0.6

Gráfica 5-5 Comparativa de resistencia a la flexión con relación a/c de 0.6

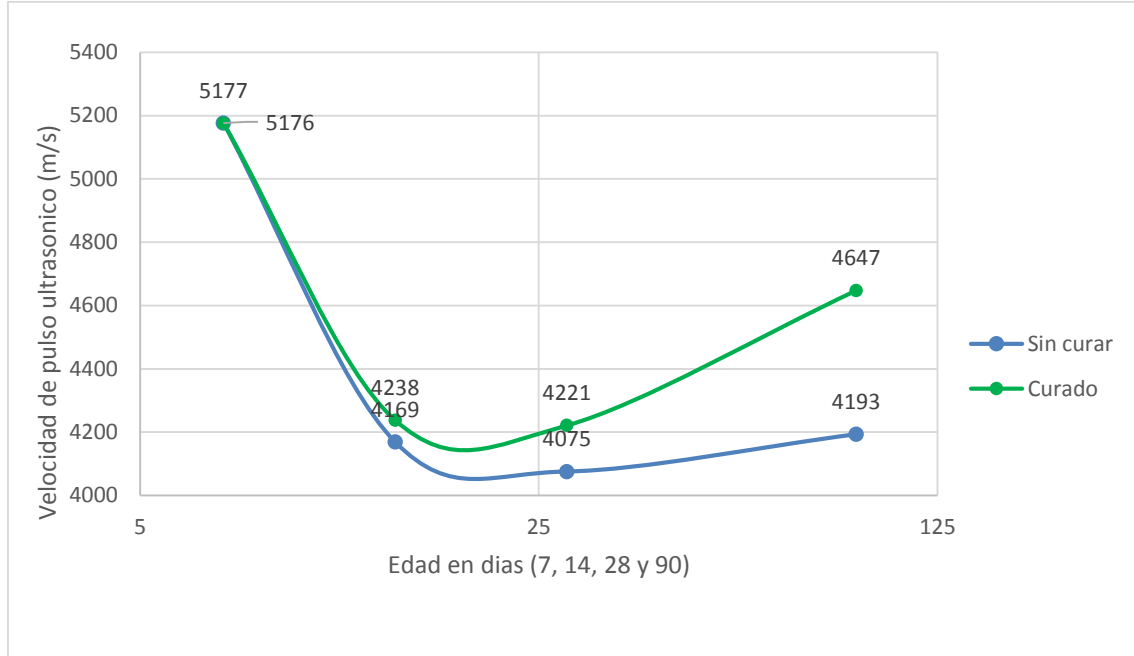




5.7. Velocidad de pulso ultrasónico

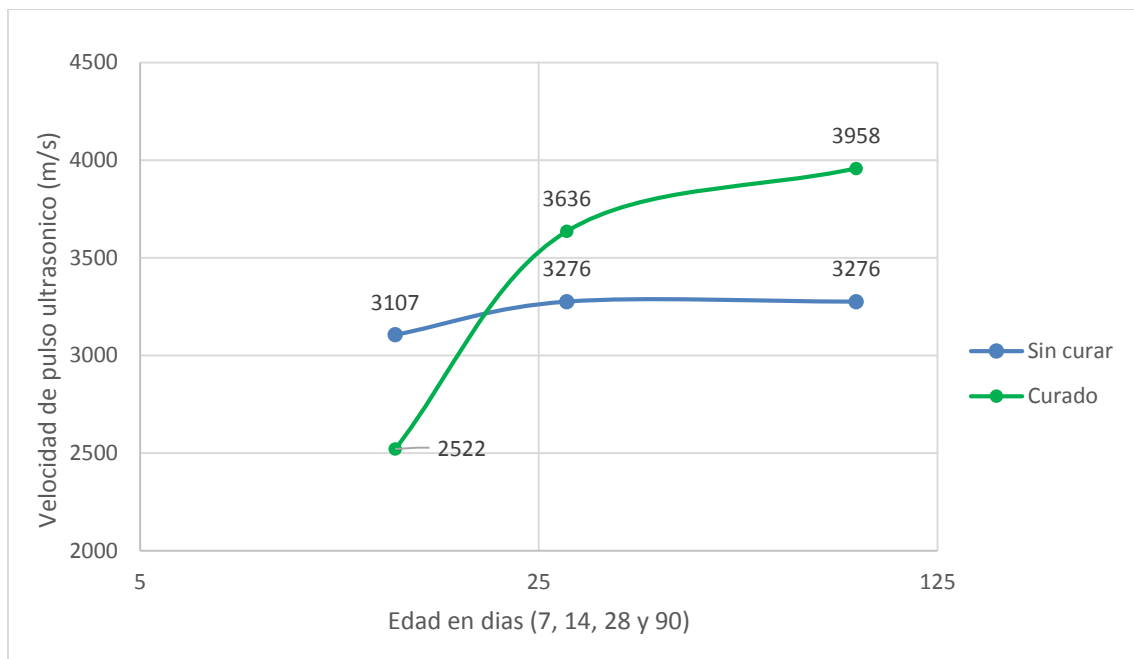
5.7.1. Relación agua/cemento 0.4

Gráfica 5-6 Comparativa de VPU con relación a/c de 0.4



5.7.2. Relación agua/cemento 0.6

Gráfica 5-7 Comparativa de VPU con relación a/c de 0.6

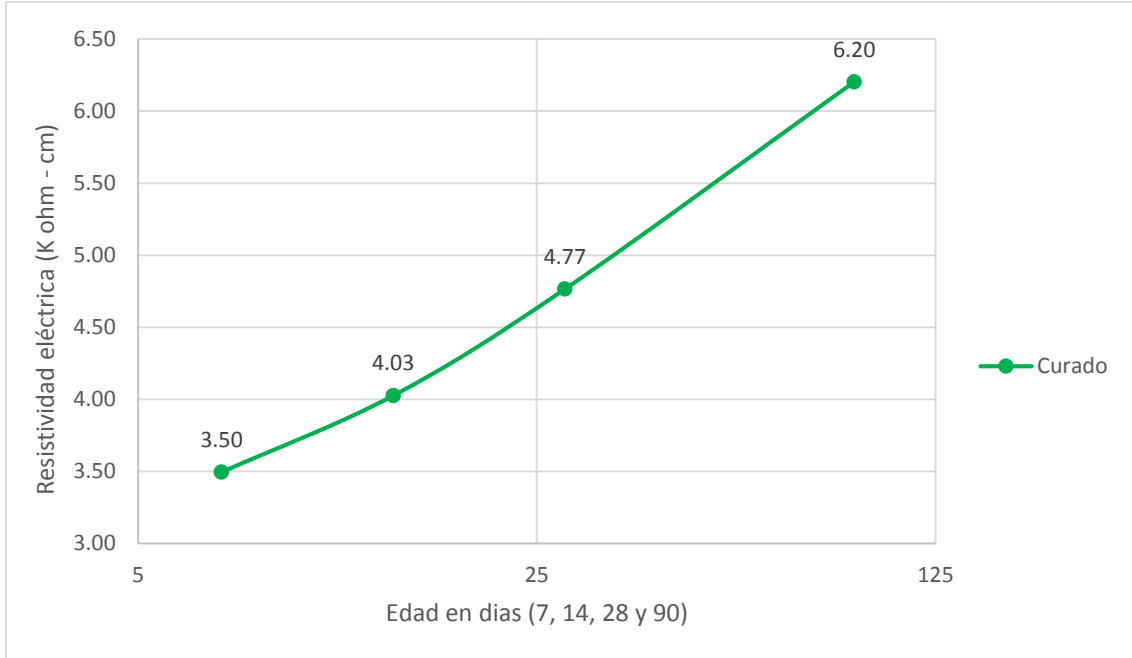




5.8. Resistividad eléctrica

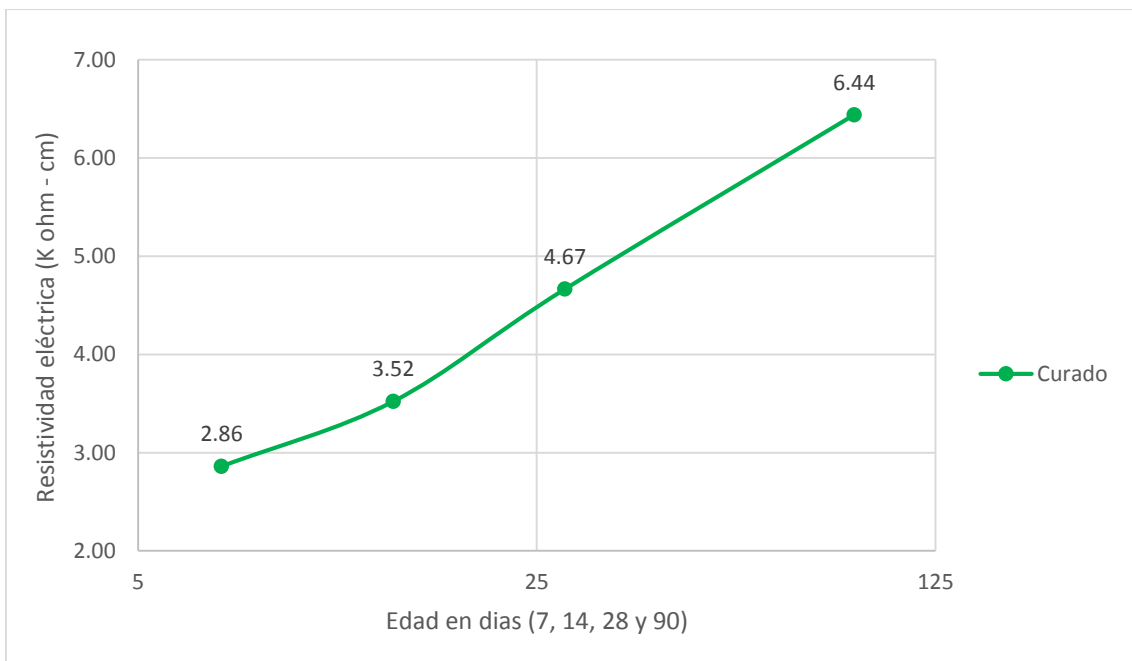
5.8.1. Relación agua/cemento 0.4

Gráfica 5-8 Comparativa de Resistividad eléctrica con relación a/c de 0.4



5.8.2. Relación agua/cemento 0.6

Gráfica 5-9 Comparativa de Resistividad eléctrica con relación a/c de 0.6



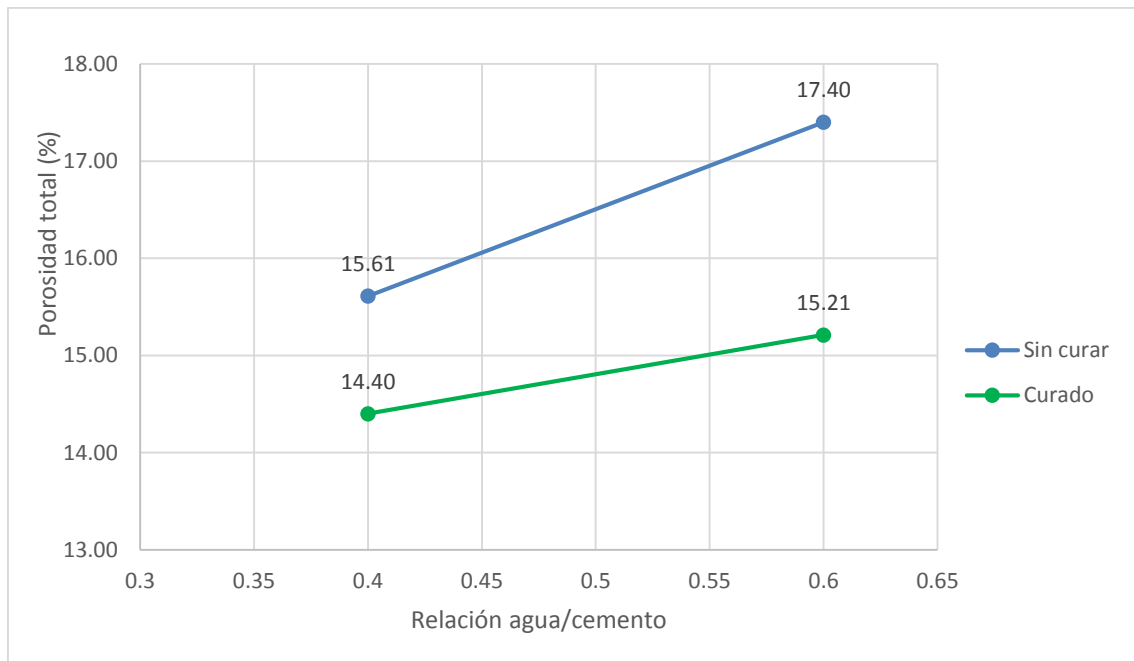


5.9. Porosidad total

Tabla 5-XVIII "Resultados de porosidad total"

Elemento	Muestra No.	Masa saturada	Masa sumergida	Masa seca	% de vacíos	
0.6 I	1	293.3	158.6	269.1	17.97	17.40
0.6 I	2	288.0	156.2	263.8	18.36	
0.6 I	3	297.7	160.7	274.4	17.01	
0.6 I	4	290.4	155.7	268.5	16.26	
0.6 N	12	267.4	145.1	248.6	15.37	15.21
0.6 N	13	281.2	152.7	260.9	15.80	
0.6 N	14	279.2	151.6	259.1	15.75	
0.6 N	15	251.4	134.9	233.3	15.54	
0.4 I	5	242.9	129.5	224.8	15.96	15.61
0.4 I	6	251.0	135.8	233.1	15.54	
0.4 I	7	252.5	138.5	236.4	14.12	
0.4 N	16	275.8	151.1	258.6	13.79	14.40
0.4 N	17	276.5	148.7	258.0	14.48	
0.4 N	18	282.2	154.7	264.2	14.12	
0.4 N	19	349.3	189.4	325.0	15.20	

Gráfica 5-10 Comparativa de porosidad total



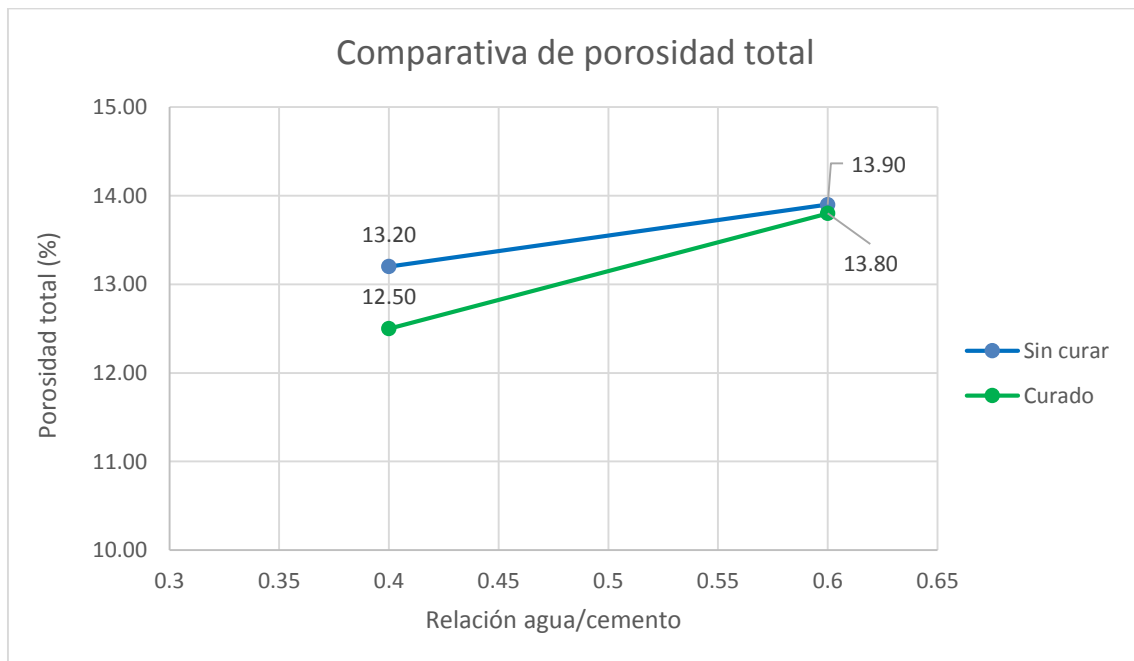


5.10. Porosidad efectiva

Tabla 5-XIX Comparativa de porosidad efectiva

MUESTRA	Tipo	Sm (g/cm2s0.5)	Sm (g/m2s0.5)	t(s1/2)	t(s)	z (m)	z2 (m2)	εε(%)	S(m/s1/2)
1	0.6 I	0.0011	0.0110	345.5	119370	0.03	0.0009	12.7	13.9
2	0.6 I	0.0012	0.0120	267.3	71449	0.03	0.0009	10.7	
3	0.6 I	0.0017	0.0170	351.4	123449	0.03	0.0009	19.9	
4	0.6 I	0.0014	0.0140	264.9	70166	0.03	0.0009	12.4	
12	0.6 N	0.0015	0.0150	232.3	53967	0.03	0.0009	11.6	13.8
13	0.6 N	0.0016	0.0160	263.2	69266	0.03	0.0009	14.0	
14	0.6 N	0.0017	0.0170	253.1	64036	0.03	0.0009	14.3	
15	0.6 N	0.0017	0.0170	265.0	70209	0.03	0.0009	15.0	
5	0.4 I	0.0011	0.0110	386.8	149597	0.03	0.0009	14.2	13.2
6	0.4 I	0.0008	0.0080	449.0	201601	0.03	0.0009	12.0	
7	0.4 I	0.0008	0.0080	499.2	249241	0.03	0.0009	13.3	
16	0.4 N	0.0016	0.0160	216.2	46749	0.03	0.0009	11.5	12.5
17	0.4 N	0.0020	0.0200	196.6	38664	0.03	0.0009	13.1	
18	0.4 N	0.0020	0.0200	185.1	34264	0.03	0.0009	12.3	
19	0.4 N	0.0019	0.0190	203.7	41503	0.03	0.0009	12.9	

Gráfica 5-11 Comparativa de porosidad efectiva





6. Conclusiones

Basándose en las pruebas realizadas en esta investigación, el curado en el concreto hidráulico toma mayor importancia cuando las relaciones agua/cemento son bajas (resistencias mayores a 250 kg/cm²). Cuando se desee utilizar concreto durable, el curado debe ser un proceso que se debe realizar de la mejor manera para optimizar las propiedades del concreto, la porosidad por mencionar algo.

En cuanto a las resistencias convencionales, el curado no impacta en la resistencia a la compresión de forma drástica. Aunque influye mucho el medio en donde se encuentra el concreto, principalmente cuando se están desarrollando sus resistencias. Sin embargo si se desea conocer la resistencia a la compresión del elemento, lo más representativo es que los especímenes de control de calidad se encuentren bajo las mismas condiciones que el concreto colocado en el elemento.

En términos generales, dependiendo del uso y condiciones en las que se encuentre el concreto, tomará mayor o menor importancia el curado. Es importante saber elegir el método para que éste no impacte en el costo del elemento y se pueda realizar de la mejor manera.



Bibliografía

Colegio de Ingenieros Civiles de Michoacán, A., 1999. *Reglamento de Construcción del Estado de Michoacán*. Morelia, Mich: s.n.

González Cuevas, Ó. & Robles Fernández-Villegas, F., 2008. *Aspectos fundamentales del concretoresforzado*. Cuarta ed. México, D. F.: Limusa.

IMCYC, 1988. *Curado Acelerado del Concreto a Presión Atmosférica*. México, D.F: Limusa.

IMCYC, 1989. *Curado del Concreto*. México, D.F: Limusa.

IMCYC, 1989. *Durabilidad del Concreto*. México, D.F: Limusa.

IMCYC, 2007. *Manual para Supervisar Obras de Concreto*. Mexico, D.F: Limusa.

Neville, A. M., 1999. *Tecnología del concreto*. México, D.F: Miembro Nacional de la Industria.

NMX-C-030-ONNCCE, 2004. *Industria de la Construcción-Agregados-Muestreo*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-057-ONNCCE, 2010. *Industria de la Construcción-Cementantes hidráulicos-Determinación de la consistencia Normal*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-059-ONNCCE, 2010. *Industria de la Construcción-Cementantes Hidráulicos-Determinación del Tiempo de Fraguado de Cementantes Hidráulicos (Método de vicat)*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-061-ONNCCE, 2010. *Industria de la Construcción-Cementos Hidráulicos-Determinación de la Resistencia a la Compresión en Cementantes Hidráulicos*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-073-ONNCCE, 2004. *Industria de la Construcción-Agregados-Masa Volumétrica-Método de Prueba*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-077-ONNCCE, 1997. *Industria de la Construcción-Agregados para Concreto-Análisis Granulométrico-Método de Prueba*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-083-ONNCCE, 2002. *Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la Resistencia a la Compresión de cilindros de Concreto-Método de Prueba*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-109-ONNCCE, s.f. *Industria de la Construcción-Concreto Hidráulico-Cabeceo de Especímenes*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-111-ONNCCE, 2004. *Industria de la Construcción-Agregados para Concreto Hidráulico-Especificaciones y Métodos de Prueba*. s.l.:ONNCCE.



NMX-C-122-ONNCCE, 2004. *Industria de la Construcción-Agua para Concreto-Especificaciones*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-152-ONNCCE, 2010. *Industria de la Construcción-Cemento Hidráulico-Determinación de la Densidad*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-156-ONNCCE, 2010. *Industria de la Construcción-Concreto Hidráulico-Determinación del Revenimiento en el Concreto Fresco*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-159-ONNCCE, 2004. *Industria de la Construcción-Concreto-Elaboración y Curado de Especímenes en Laboratorio*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-160-ONNCCE, 2004. *Industria de la Construcción-Concreto-Elaboración y Curado en Obra de Especímenes de Concreto*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-161-ONNCCE, 1997. *Industria de la Construcción-Concreto Fresco-Muestreo*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-164-ONNCCE, 2004. *Industria de la Construcción-Agregados-Determinación de la Masa Específica y Absorción del Agregado Grueso-Método de Prueba*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-165-ONNCCE, s.f. *Industria de la Construcción-Agregados-Determinación de la Masa Específica y Absorción del Agregado Fino-Método de Prueba*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-166-ONNCCE, 2006. *Industria de la Construcción-Agregados-Contenido de Agua por Secado-Método de Prueba*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-170-ONNCCE, 2006. *Industria de la Construcción-Agregados-Recucción de las Muestras de Agregado Obtenidas en Campo al Tamaño Requerido de las Pruebas*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-191-ONNCCE, 2004. *Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la Resistencia a Flexión del Concreto Usando una Viga Simple con Carga en los Tercios Medios del Claro*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-199-ONNCCE, 2010. *Industria de la Construcción-Aditivos para Concreto-Terminología y Clasificación en Concreto Hidráulico y Mortero*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-251-ONNCCE, 1997. *Industria de la Construcción-Concreto-Terminología*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-255-ONNCCE, 2013. *Industria de la Construcción-Aditivos Químicos para Concreto-Especificaciones y Métodos de Ensayo*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-263-ONNCCE, 2010. *Industria de la Construcción-Concreto Hidráulico Endurecido-Determinación de la Masa Específica, Absorción y Vacíos*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-275-ONNCCE, 2004. *Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la Velocidad de Pulso a través del Concreto-Método de Ultrasonido*. s.l.:ONNCCE.

NMX-C-414-ONNCCE, 2003. *Industria de la Construcción-Cementos Hidráulicos-Métodos y Especificaciones*. s.l.:ONNCCE.



Powers, T., 1949. *The non-evaporable water content of hardened cement paste: its significance for concrete research and its method of determination*". s.l.:ASTM.

Steven H. Kosmaka, B. K. W. C. P. y. J. T., 2004. *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Illinois, EEUU: Skokie.