



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS I**

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**“EVALUACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD DEL
CONCRETO PREMEZCLADO, USADO EN OBRA CIVÍL
EN EL PROYECTO:
HOSPITAL GENERAL DE ZONA No. 1, TAPACHULA,
CHIAPAS. DE 180 CAMAS.”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERÍA
CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN**

PRESENTA

ING. CARLOS EDUARDO HIDALGO GÓMEZ 08012009

DIRECTOR DE TESIS

DR. FRANCISCO ALBERTO ALONSO FARRERA



TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS, NOVIEMBRE 2018



Universidad Autónoma de Chiapas

Facultad de Ingeniería C-I



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
06 de noviembre de 2018
Oficio No. F I 01.975/18.

Ing. Carlos Eduardo Hidalgo Gómez
Alumno de la Maestría en Ingeniería con
Formación en Construcción
Universidad Autónoma de Chiapas
Presente:

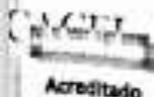
Por este medio comunico a usted, que le autorizo la impresión de su trabajo de tesis denominado: "Evaluación del control de calidad del concreto premezclado, usado en obra civil en el proyecto: Hospital General de Zona No. 1, Tapachula, Chiapas. De 180 camas" para que pueda continuar con los trámites de titulación para la obtención del grado.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"


Dr. José Ernesto Castellanos Castellanos
DIRECTOR


C. p. Dr. Juan José Cruz Solís. Coordinador de Investigación y Progreso. Facultad de Ingeniería.
C. p. Archivista
JCS/ajj



Av. General Beltrán (Antigua). Km 2007, Sta. Milerma, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C.P. 29010
Tels. (961) 61 7-65-00 ext. 1500, (961) 61 3-03-23 ext. 107
www.uach.mx
www.informacion@uach.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
SECRETARÍA ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE DESARROLLO BIBLIOTECARIO



Código: FO-113-09-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) CARLOS EDUARDO HIDALGO GÓMEZ
Autor (a) de la tesis bajo el título de "EVALUACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO PREMEZCLADO, USADO EN OBRA CIVIL EN EL PROYECTO: HOSPITAL GENERAL DE ZONA No. 1, TAPACHULA, CHIAPAS. DE 180 CAMAS" presentada y aprobada en el año 2018 como requisito para obtener el título o grado de MAESTRO EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 22 días del mes de Febrero del año 2021.

Carlos Eduardo Hidalgo Gómez
Nombre y firma del Tesista o Tesistas

Dedicatoria

A Dios, por darme la fuerza divina que necesito día con día para seguir adelante, quien me regaló a mí familia, me regala cada amanecer y por sobre todo quien me regala la sabiduría y el entendimiento para realizar cada reto de vida.

A mis padres: José María y Marilú, por haberme forjado como la persona que soy, me formaron con reglas y libertades, pero al final, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

A mi esposa: María del Carmen, por ser paciente y comprensiva en aquellos momentos en que el estudio y el trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo, hoy quiero decirte que hemos alcanzado un triunfo más y que eres parte esencial en el logro de mis metas.

A mis hijos, que son lo más importante en mi vida, ustedes son mi principal motivación y me impulsan a cada día a superarme en el trayecto de la vida, para ofrecerles siempre lo mejor con responsabilidad. Los amo hijos: José Carlos y Gloria África

A mi hermana: Yadira Isabel y mi hermano; Isidro Gerardo, por creer en mí.

A mis suegros, gracias por estar siempre apoyándome siempre de una o de otra manera con mis hijos.

Tabla de Contenido

Índice	Página
Dedicatoria.....	II
Índice	V
Nomenclatura.....	VII
Índice de figuras.....	IX
Índice de tablas	XI
I. Introducción.....	1
II. Antecedentes.....	3
2.1. Concreto hidráulico.....	3
2.2. Características de la estructura del concreto	3
2.2.1. El cemento	3
2.2.2. Agregados	12
2.2.3. Agua.....	17
2.3. Concreto Premezclado	19
III. Resistencia del concreto	24
3.1. Relación agua/cemento	24
3.2. Agua efectiva en la mezcla	25
3.3. Relación gel/espacio	25
IV. Importancia y control de calidad en obra	28
4.1. Requisitos del concreto en estado fresco	29
4.2. Requisitos del concreto en estado endurecido	31

V. Desarrollo del proyecto	34
5.1. Ubicación de caso en estudio.....	34
5.2. Planos.....	35
5.3. Ensayos de control de calidad en la obra del concreto premezclado	37
VI. Análisis y evaluación de resultados	54
VII. Conclusiones	59
Referencias Bibliográficas	61
Apéndices.....	63

Nomenclatura

kg	Kilogramo
mm	Milímetros
mm ²	Milímetro cuadrado
cm	Centímetros
cm ²	Centímetro cuadrado
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cubico
pulg	Pulgadas
°C	Centígrados
gf	Grados Fahrenheit
Mpa	Megapascales
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Puzolánico
CPEG	Cemento Portland Puzolánico con escoria Granulada de alto horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland Con humo de sílice
CEG	Cemento Portland Con escoria granulada de Alto horno
RS	Resistencia a los sulfatos
BRA	Baja reactividad álcali-agregado
BCH	Bajo calor de hidratación
B	Blanco
AF	Arenas finas
AG	Arenas gruesas
MF	Módulo de finura
f'c	Resistencia del concreto
k1 y k2	Constantes empíricas
a/c	Relación agua/cemento
c,w y a	Proporciones volumétricas absolutas del cemento
k	Constante
ppm	Partes por millón
ASTM	American Society for Testing Materials

NMX	Normas Mexicanas
ACI	American Concrete Institute
EMA	Entidad Mexicana de Acreditación
IMCYC	Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto

Índice de figuras

Figura 2.1. Representación esquemática de la fabricación del cemento: a) Proceso húmedo b) Proceso seco. (IMCYC, 1999).

Figura. 2.2. Componentes del concreto.

Figura. 2.3. Proporciones volumétricas de los materiales usados en un concreto normal.

Figura 5.1. Predio donde se construye el Hospital General de Zona No.1, de 180 camas.

Figura 5.2. Distribución de cuerpos del Hospital General de Zona No.1, de 180 camas.

Figura 5.3. Muestreo del concreto fresco en obra.

Figura 5.4. Remezclado del concreto fresco en obra.

Figura 5.5. Temperatura del concreto fresco en obra.

Figura 5.6. Revenimiento del concreto fresco en obra (llenado del cono en 3 capas del mismo volumen).

Figura 5.7. Revenimiento del concreto fresco en obra (compactado con 25 penetraciones).

Figura 5.8. Revenimiento del concreto fresco en obra (18 cm).

Figura 5.9. Masa unitaria del concreto fresco en obra.

Figura 5.10. Elaboración de especímenes cilíndricos del concreto fresco en obra (llenado).

Figura 5.11. Elaboración de especímenes cilíndricos del concreto fresco en obra (varillado).

Figura 5.12. Elaboración de especímenes cilíndricos (descimbrado después de 24 horas).

Figura 5.13. Elaboración de especímenes cilíndricos (curado en laboratorio, $t = 23 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$).

Figura 5.14. Cabeceo de especímenes cilíndricos (recipiente para fundir azufre, $140 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10$).

Figura 5.15. Cabeceo de especímenes cilíndricos (plato metálico y alineador).

Figura 5.16. Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Figura 5.17. Especímenes cilíndricos ya cabeceados.

Figura 5.18. Determinación de la resistencia a la compresión (colocación del espécimen).

Figura 5.19. Determinación de la resistencia a la compresión.

Figura 5.20. Determinación de la resistencia a la compresión (tipo de falla o ruptura, conos formados en ambos extremos).

Figura 6.1. Gráfica de resistencia a compresión de contratrabes y losa de cimentación.

Figura 6.2. Gráfica de resistencia a compresión de muros y columnas, losa y trabes de entre piso, (nivel sótano).

Figura 6.3. Gráfica de resistencia a compresión de muros y columnas, losa y trabes de entre piso, (nivel planta baja).

Figura 6.4. Gráfica de resistencia a compresión de muros y columnas, losa y trabes de entre piso, (primer nivel).

Figura 6.5. Gráfica de resistencia a compresión de contratrabes y losa de cimentación.

Figura 6.6. Gráfica de resistencia a compresión de muros y columnas, losa y trabes de entre piso, (nivel sótano).

Figura 6.7. Gráfica de resistencia a compresión de muros y columnas, losa y trabes de entre piso, (nivel planta baja).

Figura 6.8. Gráfica de resistencia a compresión de muros y columnas, losa y trabes de entre piso, (primer nivel).

Figura 6.9. Gráfica de resistencia a compresión de muros y columnas, losa y trabes de azotea, (segundo nivel).

Índice de tablas

Tabla 2.1. Componentes del cemento Portland. (IMCYC, 1999).

Tabla 2.2. Composición típica y finura de los cementos Portland. (González, 2009).

Tabla 2.3. Resistencia relativa aproximada del concreto según el tipo de cemento. (González, 2009).

Tabla 2.4. Cemento Portland y campos de aplicación.

Tabla 2.5. Tipos de rocas de agregados naturales. (IMCYC, 1999).

Tabla. 2.6. Granulometría de las arenas. (González, 2009).

Tabla. 4.1. Valor nominal del revenimiento y tolerancias. (NMX-C-155-ONNCCE).

Tabla. 4.2. Temperatura del concreto fresco durante su colocación en clima frío. (NMX-C-155-ONNCCE).

Tabla 4.3. Valores fp mín. (NMX-C-155-ONNCCE).

Tabla 4.4. Frecuencias mínimas de muestreo para control de producción. (NMX-C-155-ONNCCE).

Tabla 4.5. Frecuencia mínima de muestreo en obra. (NMX-C-155-ONNCCE).

Tabla 5.1. Capacidad mínima del recipiente recomendadas.

Tabla 5.2. Números de capas requeridas para los especímenes.

Tabla 5.3. Resistencia a la compresión y espesor máximo del compuesto para cabeceo.

Tabla 5.4. Tolerancias para ensayo.

I. Introducción

Es bien sabido que hoy en día las estructuras de concreto de cualquier obra civil debe de llevarse un control de calidad adecuado de los elementos que integran la estructura, principalmente si se trata de estructuras donde va hacer un lugar muy concurrido por ejemplo: Hospitales, Escuelas, Mercados, etc. Este control se aplica para verificar que cumplan con las especificaciones de proyecto, como también deben cumplir con las normas nacionales.

Es de vital importancia conocer las características del concreto y los componentes que lo integran para analizar si algunos de ellos afectan la resistencia del concreto.

En este trabajo se desarrollan las pruebas básicas del concreto, con la aplicación de normas nacionales (NMX).

En el capítulo 2 se describe lo que es el concreto hidráulico, los materiales que lo componen, los procesos de fabricación, así como del concreto premezclado y su utilización en la obra de gran magnitud y las características de los agregados.

El capítulo 3 habla de la característica principal del concreto para este trabajo que es su resistencia a 28 días en concreto normal y a 14 días en concreto de resistencia rápida y de algunos factores que componen dicha resistencia.

En el capítulo 4 se habla de la gran importancia de llevar un control de calidad en obra y de los requisitos que debe de cumplir el concreto premezclado en estado fresco y endurecido.

El capítulo 5 describe la ubicación de la obra, los planos estructurales utilizados en la construcción y los ensayos realizados al concreto premezclado (muestreo, temperatura, revenimiento, masa unitaria, elaboración y curado de especímenes de ensayo, cabeceo de especímenes y la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos).

En el capítulo 6 se realiza el análisis y evaluación de los resultados de las resistencias a compresión de cilindros de concreto de dos cuerpos E y D, ya que son los únicos que se cuenta con todos los datos de resistencia a compresión a la edad de aceptación cuando se dio inicio con este proyecto, ya que la obra se encuentra en proceso de construcción, se realiza mediante promedios de cilindros compañeros a la edad de 28 días en concreto normal y a 14 días en concreto de resistencia rápida, representados en gráficas.

El capítulo 7 final, se presentan las conclusiones de este trabajo, para que se tomen en cuenta las discrepancias de resistencias entre los elementos estructurales.

En este trabajo se desarrollan las pruebas básicas del concreto, con la aplicación de normas nacionales (NMX).

II. Antecedentes

2.1. Concreto hidráulico

El concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de cemento, agregados y agua.

El cemento y agua forman una pasta que rodea a los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden sustancias, llamadas aditivos y/o adiciones, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto.

El peso volumétrico del concreto es elevado en comparación con el de otros materiales de construcción, y como los elementos estructurales de concreto son generalmente voluminosos, el peso es una característica que debe tomarse en cuenta. Su valor oscila entre 1.9 y 2.5 t/m³ dependiendo principalmente de los agregados pétreos que se empleen. Algunas de las otras características del concreto se ven influidas por su peso volumétrico. Por esta razón, algunos reglamentos de construcción establecen disposiciones que dependen del peso volumétrico. El reglamento del Distrito Federal, por ejemplo, define dos clases de concreto: clase 1, que tiene un peso volumétrico en estado fresco superior a 2.2 t/m³, y clase 2, cuyo peso volumétrico está comprendido entre 1.9 y 2.2 t/m³. (RCDF, 2017).

2.2. Características de la estructura del concreto

Es bien sabido, lo que principalmente constituye al concreto son: cemento, agregados y agua. Por ello hablaremos sobre algunas características de cada elemento del concreto.

2.2.1. El cemento

Es el conglomerante hidráulico que está compuesto principalmente por silicatos y aluminatos de cal y pueden clasificarse, en general, como cementos naturales, cementos portland y cementos de alta alúmina.

Está compuesto principalmente de materiales calcáreos tales como caliza, y por alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla o pizarra.

El cemento Portland está hecho básicamente de la combinación de un material calcáreo como piedra caliza y yeso y una base de sílice y alúmina, como arcilla o esquito. El proceso de elaboración consiste en moler las materias primas que pueden efectuarse tanto en condiciones húmedas como secas; hasta lograr un polvo muy fino, mezclarlas perfectamente en proporciones establecidas y quemarlas en un horno rotatorio a una temperatura de 1450 °C. (2550 gf). El material se incrusta y se funde parcialmente hasta convertirse en escorias.

Cuando la escoria se enfría, se muele hasta convertirla en polvo fino y se le agrega un poco de yeso. Este es el cemento Portland comercial que se usa en todo el mundo. (IMCYC, 1999).

En la actualidad el proceso de fabricación depende también de la dureza de la materia prima empleada y de su contenido de humedad. La cal, sílice, alúmina y óxido de hierro, estos componentes actúan entre sí en el horno para formar una serie de productos más complejos y, aparte de un pequeño residuo de cal no combinado que no tuvo suficiente tiempo para reaccionar, se logra un estado de equilibrio químico. Sin embargo, el equilibrio no se mantiene durante el enfriamiento, y el índice de enfriamiento afectará el grado de cristalización y la cantidad de material amorfo presente en el Clinker enfriado. Las propiedades de este material amorfo, conocido como cristales, difieren considerablemente de las de otros componentes cristalinos de una composición química nominalmente similar. El cemento puede considerarse en equilibrio cuando se encuentran en estado congelado, es decir, se supone que los productos enfriados deben reproducir el equilibrio existente a la temperatura de las escorias. Este supuesto se basa de hecho en el cálculo de la composición de cementos comerciales: la composición “potencial “se calcula a partir de las cantidades medidas de óxidos presentes en las escorias, como si hubiera tenido lugar una cristalización total de los productos en equilibrio.

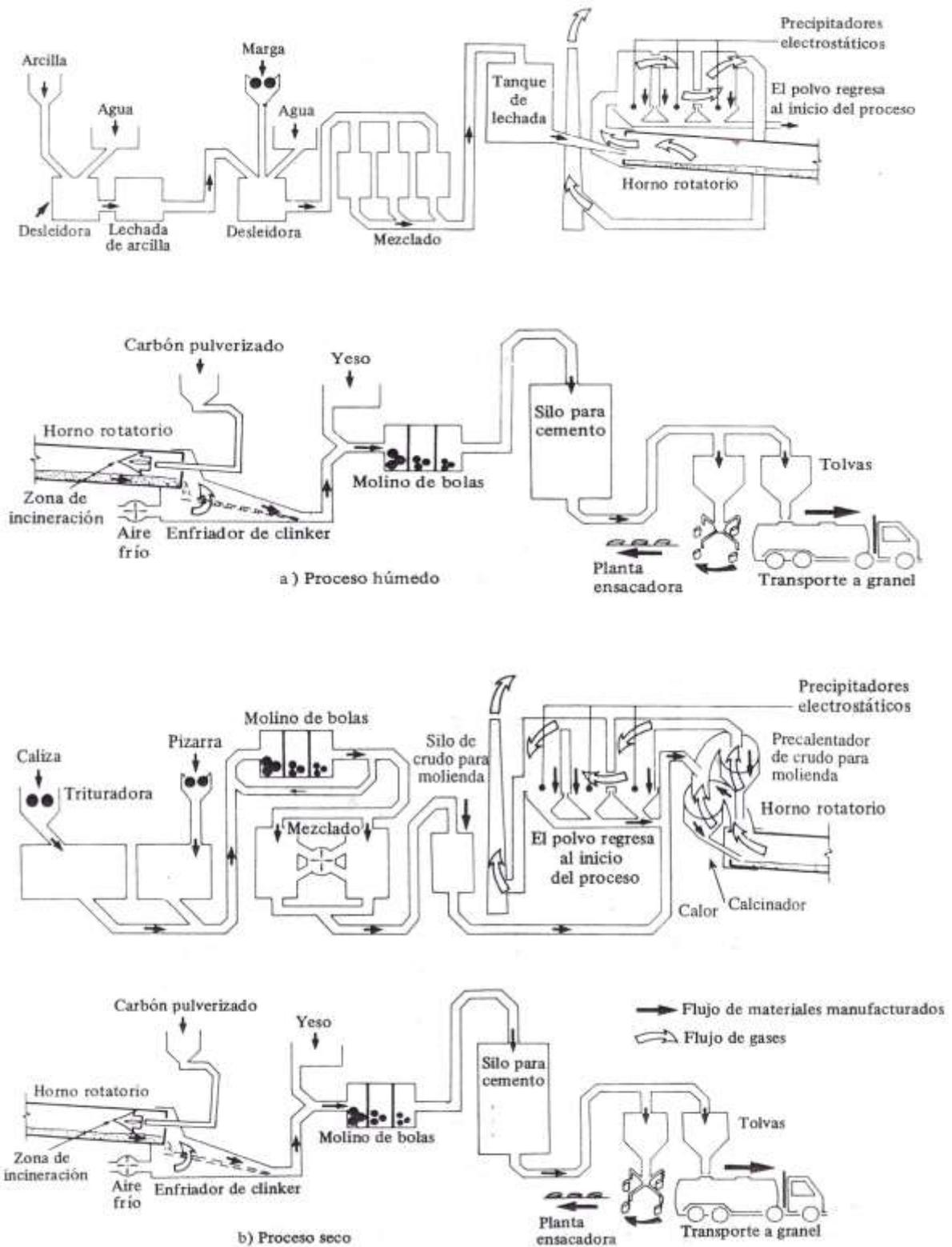


Figura 2.1. Representación Esquemática de la Fabricación del Cemento: a) Proceso Húmedo b) Proceso Seco. (IMCYC, 1999).

La composición química del cemento portland consiste principalmente en cal, sílice, alúmina y óxido de hierro, como se ha visto anteriormente.

Se suele considerar cuatro compuestos como los componentes principales del cemento; se enumera en la tabla 2.1, junto con sus símbolos de abreviación.

Esta notación abreviada, utilizada por los químicos del cemento, describe cada óxido con una letra, a saber: CaO=C; SiO₂=S; Al₂O₃=A, y Fe₂O₃=F. Análogamente, el H₂O del cemento hidratado, se indica por una H, y SO₃ por S.

Tabla 2.1

Componentes del Cemento Portland. (IMCYC, 1999)

Nombre	Composición Oxida	Abreviatura
Silicato de tricalcico	3CaO.Si ₂	C ₃ S
Silicato de dicalcico	2CaO.SiO ₂	C ₂ S
Aluminio de tricalcico	3CaO.Al ₂ O ₃	C ₃ A
Aluminoferrato	4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Los cálculos de composición potencial del cemento portland se basan en el trabajo de R.H. Bogue y otros, y a menudo se denominan “composición de Bogue”.

Tabla 2.2

Composición Típica y Finura de los Cementos Portland. (González, 2009)

Tipo de cemento	Composición típica				Finura cm ² /g
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
I	50	24	11	8	1800
II	42	33	5	13	1800
III	60	13	9	8	2600
IV	26	50	5	12	1900
V	40	40	4	9	1900

El silicato tricalcico endurece rápidamente y es el factor principal del fraguado inicial y del rápido endurecimiento. La resistencia prematura del cemento es mayor al aumentar los porcentajes de C₃S.

Silicato dicálcico C₂S endurece lentamente y contribuye en gran parte al aumento de resistencias a edades mayores de una semana.

El aluminato tricálcico C₃A libera gran calor y contribuye ligeramente a la resistencia temprana. Cementos con bajos porcentajes de C₃A son resistentes a los suelos y aguas que contengan sulfatos. En concentraciones de sulfatos moderados deben usarse cementos con menos de 8% de C₃A. Las concentraciones son moderadas cuando los sulfatos solubles en el suelo varían 0.10 a 0.20 %, o cuando el sulfato en aguas freáticas es de 150 a 1000 ppm.

Cuando se exceden estos límites SO₄ deberá usarse cemento con C₃A en proporción no mayor al 5 %.

Tabla 2.3

Resistencia Relativa Aproximada del Concreto Según el Tipo de Cemento. (González, 2009)

De la resistencia a la compresión del concreto en comparación
Con la obtenida con cemento tipo I.

Tipo de cemento	1 día	7 días	28 días	3 meses
I (normal)	100	100	100	100
II (Modificado)	75	85	90	100
III (Rápida resistencia alta)	190	120	110	100
IV (Bajo calor)	55	55	75	100
V (Resistencia a sulfatos)	65	75	85	100

Clasificación de los cementos según Normas NMX-C-414-ONNCCE:

CPO.- Ordinario.

CPP.- Puzolánico.

CPEG.- Puzolánico con escoria granulada de alto horno.

CPC.- Compuesto.

CPS.- Con humo de sílice.

CEG.- Con escoria granulada de alto horno.

En esta clasificación la letra C significa cemento y la letra P Portland.

Adicionalmente puede presentarse una o más características especiales que se clasifican como:

RS: Resistencia a los sulfatos

BRA.- Baja reactividad álcali-agregado.

BCH.- bajo calor de hidratación

B.- Blanco.

Por otra parte, se incluye la sub clasificación en clases resistentes 20, 30 o 40 (en N/mm^2 ; $1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$) que es la mínima resistencia normal o resistencia mecánica a la compresión a los 28 días. También se considera la resistencia inicial o resistencia mecánica a la compresión a los 3 días. Para indicar una resistencia inicial especificada se agrega la letra R, de rápido, después de la subclase. Solo se definen valores de resistencia inicial a 30R y 40R, las cuales son respectivamente de 20 y 30 N/mm^2 .

Hasta ahora hemos hablado sobre el cemento en polvo, pero en la práctica, el material de mayor interés es la pasta de cemento, la cual es el producto de la reacción de cemento con agua. En presencia de agua, los silicatos y aluminatos del cemento Portland forman productos de hidratación o hidratos, que resultan en una masa firme y dura: la pasta endurecida de cemento. Los dos silicatos de calcio (C_3S y C_2S) son los principales compuestos aglutinantes en el cemento, de los cuales el primero se hidrata más rápidamente que el segundo.

En cementos comerciales, los silicatos de calcio contienen pequeñas impurezas de algunos de los óxidos presentes en las escorias. Estas impurezas contienen un poderoso efecto en las propiedades de los silicatos hidratados. El C_3S “impuro” se le conoce como alita, y el C_2S “impuro”, como belita.

El producto de la hidratación del C_3S es el hidrato microcristalino $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$, con un poco de cal separada como $\text{Ca}(\text{OH})_2$ cristalino. El C_2S se comporta de manera similar, pero contiene menos cal. Actualmente, los hidratos de silicato de calcio se describen como C-S-H (los que se referían previamente como gel tobermorita).

Como muchas reacciones químicas, la hidratación de los compuestos del cemento es exotérmica, y la cantidad de calor (en joule) por gramo de cemento no hidratado, desarrolla hasta una hidratación total a una temperatura dada, se define esto como calor de hidratación.

Puesto que la calidad del cemento es esencial para la elaboración de un buen concreto, la fabricación requiere un estricto control.

Se han establecidos un conjunto de pruebas para laboratorios de plantas de cemento, con el propósito de asegurar que éste tenga la calidad deseada y que se ajuste a las especificaciones de las normas nacionales como internacionales. También es deseable que el comprador, o un laboratorio independiente, efectúen pruebas de aprobación periódicas, o bien que se examinen las propiedades de un cemento que se va emplear para un propósito específico. Las pruebas relacionadas con la composición química van más allá del alcance de este trabajo. Remitimos al lector a la bibliografía o a las normas pertinentes.

Puesto que la hidratación se inicia en las partículas de la superficie del cemento, el área de la superficie total del cemento representará el material disponible para hidratación. Así, el índice de hidratación dependerá de la finura de las partículas del cemento y para el rápido desarrollo de la resistencia será necesaria una gran finura. Sin embargo, debe tenerse en cuenta el costo del molido y el efecto de la finura en otras propiedades como, por ejemplo, los requerimientos del yeso, la manejabilidad del concreto fresco y su desempeño en el largo plazo.

Tiempo de fraguado, este término se utiliza para describir el endurecimiento de la pasta de cemento. En sentido amplio, se refiere al cambio del estado fluido al estado rígido. El fraguado se debe principalmente a la hidratación selectiva del C_3A y del C_3S , acompañada de una elevación de la temperatura de la pasta de cemento. El fraguado inicial corresponde a un incremento rápido, y el fraguado final a la temperatura pico. El fraguado inicial y final deben diferenciarse del fraguado falso, que ocurre a veces a los pocos minutos de mezclarse con agua. Durante el fraguado falso no se desprende calor alguno y el concreto puede remezclarse sin añadir agua. El fraguado instantáneo, caracteriza por la liberación de calor.

Es esencial que la pasta de cemento fraguado no sufra un cambio notable de volumen, que en condiciones limitantes dé el lugar a expansión apreciable que ocasione ruptura de la pasta endurecida. Esta expansión puede ocurrir debida a reacciones de cal activa, magnesio y sulfato de calcio. Los cementos que presentan este tipo de expansión son clasificados como cementos no sólidos.

Las pruebas de resistencia no se hacen en la pasta simple de cemento debido a las dificultades para obtener buenas muestras y para probarlas con la consiguiente variabilidad de resultados.

Para determinar la resistencia del cemento se emplea un mortero, cemento-arena y, en algunos casos, concretos de proporciones prescritas, hecho con materiales específicos y en condiciones estrictamente controladas.

Hay varias formas de pruebas de resistencia: a la tensión directa, a la compresión y a la flexión. En los últimos años, la prueba de compresión se ha reemplazado gradualmente a la prueba de tensión.

Este elemento puede describirse como un material con propiedades adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto.

El cemento debe corresponder en marca y en tipo con el usado para calcular la dosificación. Cualquier cambio durante una construcción obliga a diseñar un nuevo proporcionamiento.

Tipos de Cementos Portland, características y campos de aplicación.

Tabla 2.4
Cemento Portland y Campos de Aplicación

Producto	Normas de Calidad	Características y campos de aplicación
<i>Cemento Portland Ordinario</i>	NMX-C-414-ONNCCE	El Cemento Portland Ordinario es excelente para construcciones en general, zapatas, columnas, travesaños, castillos, dadas, muros, losas, pisos, pavimentos, guarniciones, banquetas, muebles municipales (Bancas, mesas, fuentes, escaleras), etc. Ideal para la elaboración de productos prefabricados (Tabicones, adoquines, bloques, postes de luz, lavaderos, balaustradas, piletas etc.
<i>Cemento Portland Compuesto</i>	NMX-C-414-ONNCCE	Presenta excelente durabilidad en prefabricados para alcantarillados y a los concretos les proporciona una mayor resistencia química y menor desprendimiento de calor. Este cemento es compatible con todos los materiales de construcción convencionales como arenas, gravas, piedras, cantera, mármol, etc.; así como con los pigmentos (preferentemente los que resisten la acción solar) y aditivos, siempre que se usen con los cuidados y dosificaciones que recomienden sus fabricantes.
<i>Cemento Portland Puzolánico</i>	NMX-C-414-ONNCCE	Ideal para la construcción de zapatas, pisos, columnas, castillos, dadas, muros, losas, pavimentos, guarniciones, banquetas, muebles municipales (Bancas, mesas, fuentes, escaleras), etc. Especialmente diseñado para la construcción sobre suelos salinos. El mejor para obras expuestas a ambientes químicamente agresivos. Alta durabilidad en prefabricados para alcantarillados como. Brocales para pozos de visita, coladeras pluviales, registros y tubería para drenaje.
<i>Cemento Portland Ordinario Blanco</i>	NMX-C-414-ONNCCE	Excelente para obras ornamentales o arquitectónicas como fachadas, monumentos, lápidas, barandales, escaleras, etc. Gran rendimiento en la producción de mosaicos, terrazos, balaustradas, lavaderos, W.C. rurales, tiroles, pegazulejos, junteadores, etc. En fachadas y recubrimiento de muros, ahorra gastos de repintado. Este producto puede pigmentarse con facilidad; para obtener el color deseado se puede mezclar con los materiales de construcción convencionales, siempre y cuando estén libres de impurezas. Por su alta resistencia a la compresión tiene los mismos usos estructurales que el cemento gris.
<i>Cemento Portland Ordinario Resistente a los Sulfatos</i>	NMX-C-414-ONNCCE	El Cemento Portland Ordinario Resistente a los sulfatos proporciona mayor resistencia química para concretos en contacto con aguas o suelos agresivos (aguas marinas, suelos con alto contenido de sulfatos o sales), recomendable para la construcción de presas, drenajes municipales y todo tipo de obras subterráneas.
<i>Cemento para albañilería (Mortero)</i>	NMX-C-021-ONNCCE	Diseñado especialmente para trabajos de albañilería: junto o pegados de bloques, tabiques, ladrillos, piedra y mampostería; aplanados, entortados, enjarres, repellados y resanes; firmes, plantillas y banquetas. No debe utilizarse en la construcción de elementos estructurales.

2.2.2. Agregados

Porque al menos tres cuartas partes del volumen del concreto están ocupadas por agregado, no es de extrañar que la calidad de éste sea de suma importancia. Los agregados no sólo pueden limitar la resistencia del concreto, puesto que agregados débiles no pueden constituir un concreto resistente, sino que además sus propiedades afectan en gran medida tanto la durabilidad como el comportamiento estructural del concreto.

Antiguamente se decía que los agregados eran elementos inertes que se repartían en toda la pasta de cemento, la tecnología moderna se establece que siendo este material el que mayor % de participación tendrá dentro de la unidad cúbica de concreto sus propiedades y características diversas influyen en todas las propiedades del concreto.

La influencia de este material en las propiedades del concreto tiene efectos importante no sólo en el acabado y calidad final del concreto sino también sobre la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, así como sobre la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del concreto endurecido.

Estos proporcionan además al concreto una enorme ventaja técnica, al darle mayor estabilidad volumétrica y más durabilidad que si se empleara solamente pasta de cemento.

Los agregados deben estar limpios, sin materia orgánica, polvo o arcilla; contener poco porcentaje de partículas planas; ser durables; de granulometría adecuada; redondeados. Si el $f'c > 300 \text{ kg/cm}^2$, prefieranse las formas cúbicas y angulosas. Las partículas de superficie rugosa o las planas y alargadas requieren más agua para producir un concreto manejable, por lo tanto, requiere más cemento para mantener la misma relación agua/cemento. Las piezas en forma de astillas, planas o alargadas se deben limitar a un 15% en peso del agregado total. (González, 2009).

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 10mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm o el de 25 mm.

Desde el punto de vista petrográfico, los agregados pueden dividirse en varios grupos de rocas con características comunes. La clasificación en grupo no significa que unos sean más convenientes que otros para la elaboración de concreto. En cualquier grupo puede haber

material no conveniente, aunque algunos grupos, en general, son mejores que otros. Los detalles de los métodos petrológicos y mineralógicos quedan fuera del enfoque de este trabajo, pero es importante considerar que un examen geológico del agregado constituye una ayuda útil para evaluar su calidad, especialmente en la comparación de un agregado nuevo con otro cuyos registros de servicios son conocidos. Más aún, pueden detectarse propiedades negativas, como la presencia de formas inestables de sílice; en el caso de agregados artificiales, también pueden estudiarse la influencia de los métodos de fabricación y de procesamiento.

Clasificación de los agregados naturales de acuerdo al tipo de roca

Tabla 2.5

Tipos de Rocas de Agregados Naturales (IMCYC, 1999)

<i>Grupo Basáltico</i>	<i>Grupo Pedernalino</i>	<i>Grupo Gábrico</i>
Andesita	Horsteno	Diorita básica
Basalto	Pedernal	Gneis básico
Profiritas básicas		Gabro
Diabase		Roca de hornblenda
Doleritas de todos tipos, incluidas teralita y tesquerita		Norita
Epidiorita		Peridotita
Lamprófiro		Picrita
Dolerita de cuarzo		Serpentinita
Espilita		

Tabla 2.5

Tipos de Rocas de Agregados Naturales. Continuación (IMCYC, 1999)

<i>Grupo Granítico</i>	<i>Grupo Arenisco (incluye rocas volcánicas fragmentadas)</i>	<i>Grupo Hornfésico</i>
Gneis		Rocas alteradas de todos los tipos, excepto mármol.
Granito		
Granodiorita		
Granulita	Arcosa	
Pegmatita	Grauvaca	
Diorita-cuarzo	Arenilla	
Sienita	Arenisca	
	Tufa	
<i>Grupo Calizo</i>	<i>Grupo Porfirítico</i>	<i>Grupo Cuarzoso</i>
Dolomita	Aplita	Arcilla refractaria
Caliza	Dacita	Areniscas Cuarzosas
mármol	Felsita	Cuarcita recristalizada
	Granófiro T	
	Queratófiro	
	Microgranito	
	Porfiria	
	Porfirita-cuarzo	
	Riolita	
	Traquita	
<i>Grupo esquitoso</i>		
	Filita	
	Esquistos	
	Pizarra	
	Todos las rocas muy agrietadas	

Las características externas del agregado, en particular la forma de la partícula y la textura superficial, influyen en las propiedades del concreto fresco y endurecido. Aunque la forma de los cuerpos tridimensionales es difícil de describir, es conveniente definir algunas características geométricas de dichos cuerpos.

La redondez mide la angulosidad o agudeza relativa de las orillas y las esquinas de una partícula. La redondez real es consecuencia de la resistencia al desgaste y la abrasión de la roca de origen, y al grado de desgastes a que ha sido sometida la partícula. En caso de agregado triturado, la forma dependerá de la naturaleza del material de origen y del tipo de triturador y su proporción de reducción; es decir, la relación del tamaño inicial respecto al del producto triturado.

Otros aspectos de la forma del agregado grueso es su esfericidad, que se define como la función de la relación del área de superficie de la partícula a su volumen (superficie específica). La esfericidad se relaciona con la estratificación y la división de la roca original; se relaciona también con el tipo de equipo de trituración, cuando el tamaño de las partículas se ha reducido artificialmente. Las partículas con una alta proporción de área de superficie con respecto al volumen son de partículas de interés, ya que disminuyen la manejabilidad de la dureza. Las partículas alargadas y las escamosas son de este tipo. Las últimas pueden afectar negativamente la durabilidad del concreto, pues tienden a orientarse en un plano, en cuya parte inferior se forman huecos de aire y agua. Un exceso de más de 15 a 20 % de partículas alargadas o escamosas en la masa de agregado grueso es, por lo general, indeseable, aunque no se han establecido límites reconocidos.

Tanto la forma de la partícula como la textura de la superficie de agregado influyen considerablemente en la resistencia de los concretos, especialmente en los de alta resistencia y afectan más a la resistencia a la flexión que a la compresión. Una textura más áspera dará por resultado una mayor adhesión entre las partículas y la matriz de cemento. Igualmente la mayor área de superficie de un agregado más angular propiciara una mejor adherencia.

Generalmente, las características de textura que no permiten la penetración de la pasta en la superficie de las partículas no favorecen una buena adherencia; por el contrario, las partículas más suaves, porosas y mineralógicamente heterogéneas contribuirán a una mejor adherencia.

La porosidad, la permeabilidad y la capacidad de absorción del agregado influyen en la adherencia con la pasta de cemento, en la resistencia del concreto al congelamiento y

deshielo, en la estabilidad química, en la resistencia a la abrasión y en la gravedad específica. Puesto que la absorción representa el agua contenida en agregado en condición saturada y de superficie seca, podemos definir el contenido de humedad como el exceso de agua en un estado saturado y con una superficie seca, así, el contenido total de agua de un agregado húmedo será igual a la suma de la absorción y del contenido de humedad.

Hay tres propiedades térmicas que pueden influir en el desempeño del concreto. El coeficiente de expansión térmica, el calor específico y la conductividad. Los dos últimos son importantes en la masa del concreto que se aísla, pero no se puede generalizar para trabajos estructurales ordinarios. El coeficiente de expansión térmica del agregado determina el valor correspondiente para el concreto, y su influencia depende del contenido de agregado en la mezcla y en las proporciones de la mezcla en general.

Granulometría. Deben cumplir los valores siguientes:

Tabla. 2.6

Granulometría de las Arenas (González, 2009)

AF: arenas finas; AG: arenas gruesas.

Malla No.	% que pasa en peso		% retenido acumulado	
	AG	AF	AF	AG
3/8"	100	100	0	0
4 (5mm)	95	100	0	5
8	80	100	0	20
16	50	85	15	50
30	25	60	40	75
50	10	30	70	90
100	2	10	90	98
200 (charola)				100

Módulo de finura (MF)

Indica si un agregado es más fino o más grueso que otro; cuando mayor sea el MF, más grueso es el agregado. Se usa para controlar la granulometría y la uniformidad y para calcular el proporcionamiento del concreto. En las arenas el MF podrá variar entre 2.3 arenas finas y 3.1 arenas gruesas. (González, 2009).

La arena se rechaza cuando el MF sea menor que 2 o mayor que 3.5. La granulometría podrá corregirse cuando $3.1 < MF < 3.5$ o cuando $2.0 < MF < 2.3$. (González, 2009).

Los cambios de granulometría afectan la cantidad de agua requerida por lo que será necesario diseñar un nuevo proporcionamiento cuando las variaciones del MF sean mayores que 0.20.

La frecuencia con que se debe de realizar esta prueba es una o dos veces por día, o cada vez que se aprecie un cambio en la granulometría.

Cada nueva prueba debe promediarse con al menos dos análisis inmediatos anteriores para efectuar ajustes de las mezclas o para determinar si cumple los requisitos de granulometría.

El concreto más compacto se logra con el mínimo de arena y de agua, lográndose menor agrietamiento y más impermeabilidad. La granulometría que da más impermeabilidad es la continua, como las de las arenas o gravas para subdrenes o capas filtrantes. Con granulometría discontinua es posible lograr mejores concretos, con aumentos en la resistencia mayores al 20% y ahorros en el consumo de cemento del orden del 5%, siempre y cuando se diseñen las mezclas adecuadas y se evite la segregación con el empleo de aditivos apropiados, especialmente en los concretos sin aire incluidos con revenimiento mayores de 7.5 cm. Los agregados con granulometría discontinua se han usado con éxito en concretos sin revenimiento, donde era posible consolidar el concreto mecánicamente.

2.2.3. Agua

La calidad del agua es importante, ya que las impurezas que contengan pueden interferir el endurecimiento del cemento, afectar negativamente la resistencia del concreto u ocasionar el manchado de superficie, así como llevar a la corrosión del refuerzo. Por estas razones, debe evaluarse su conveniencia para fines de mezclado y curado. Debe hacerse una distinción clara entre los efectos del agua para mezclas y el ataque de aguas agresivas al concreto endurecido, ya que algunas de estas últimas son inofensivas e incluso benéficas si se usan en el mezclado. En muchas especificaciones de proyectos, la calidad del agua está cubierta por una cláusula que dice que el agua deberá ser apropiada para beber o potable. Esta agua muy rara vez contendrá sólidos disueltos.

El agua potable es por lo general segura, pero también la no potable suele ser adecuada para elaborar concreto. Como regla, cualquier agua con un pH (grado de acidez) de 6.0 a 9.0 que no tenga sabor salubre es útil; el color oscuro o un cierto olor no indican necesariamente la presencia de sustancias deletéreas. Las aguas naturales ligeramente ácidas son inofensivas, pero las que contengan ácido húmico u otros ácidos orgánicos pueden afectar negativamente

el endurecimiento del concreto; esta agua, así como las muy alcalinas, deben ser probadas previamente.

El agua para curado por lo general es la misma que se utiliza en las mezclas. Sin embargo, el hierro y la materia orgánica pueden ocasionar manchas, especialmente si el agua fluye lentamente sobre el concreto y se evapora rápidamente. En algunos casos la decoloración es insignificante y cualquier agua adecuada para mezcla, incluso de calidad ligeramente menor, es adecuada para curado, sin embargo, es esencial que esté libre de sustancias que ataquen al concreto endurecido.

Aditivos

Se puede definir como un producto químico que, excepto en casos especiales, se agrega a la mezcla de concreto en cantidades no mayores de 5 por ciento por masa de cemento durante el mezclado o durante una operación adicional de mezclado antes de la colocación del concreto, para el propósito de realizar una modificación específica, o modificaciones, a las propiedades normales del concreto.

El aditivo no es un componente esencial en la mezcla de concreto.

La razón para utilizarlos es que son capaces de impartir beneficios físicos y económicos considerables con respecto al concreto.

Componentes del concreto

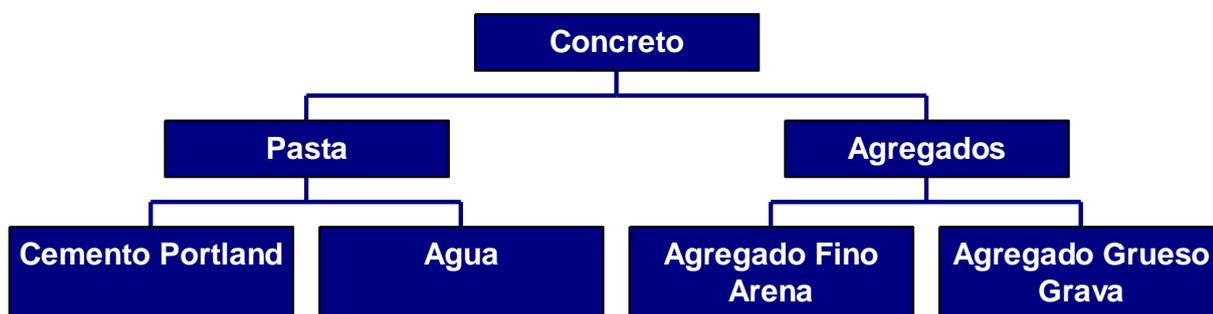


Figura. 2.2. Componentes del Concreto.

Se pueden modificar las propiedades del concreto mediante el uso de aditivos, que se emplean principalmente para:

- Ajustar el tiempo de fraguado.
- Reducir la demanda de agua.
- Aumentar la trabajabilidad.

Proporciones en volumen de los materiales usados en un concreto

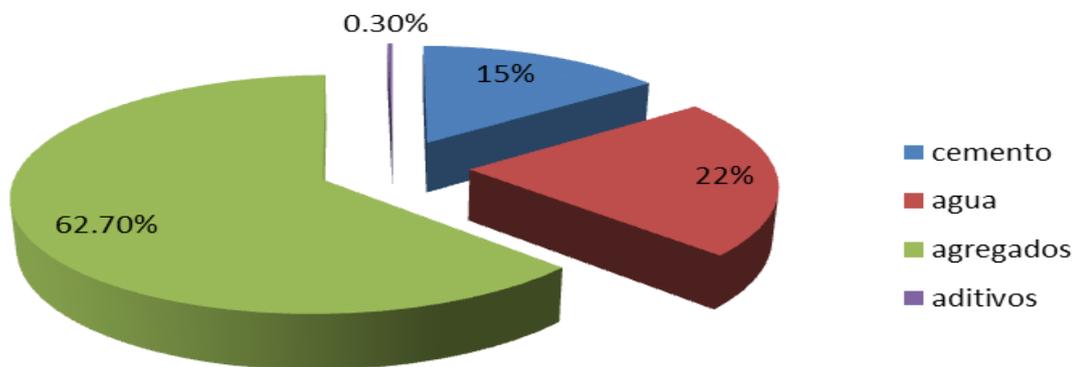


Figura. 2.3. *Proporciones Volumétricas de los Materiales Usados en un Concreto Normal.*

2.3. Concreto Premezclado

El concreto premezclado es aquel que es entregado al cliente como una mezcla en estado no endurecido (mezcla en estado fresco), de forma homogénea hasta que es descargado en el lugar de la colocación (vaciado o colado).

Los expertos en tecnología del concreto pueden modificar las propiedades del concreto mediante el uso de innovadoras mezclas químicas, combinadas con las proporciones correctas de los diversos elementos que constituyen el concreto. Por ejemplo, dependiendo del tipo de aplicación y los requerimientos de la obra, se puede diseñar concreto más fluido, resistente, que desarrolle resistencia de manera más rápida y que además retenga su trabajabilidad más tiempo.

La elección del concreto premezclado se basa en las circunstancias particulares de la obra en cuestión, en los aspectos técnicos y en los costos beneficios asociados con cada uno de ellos.

Atendiendo a que ciertos elementos estructurales de una obra, como vigas, castillos y pisos, etc., que ocupan volúmenes pequeños, es común que muchas veces, y a solicitud del director de obra se requieran fabricar in situ. Pero cuando se necesite un concreto homogéneo de calidad controlada que cuente con el respaldo de la asistencia técnica del proveedor especializado, se deberá recurrir al concreto premezclado.

La ventaja más sobresaliente en el empleo de concreto premezclado es la garantía de su producción en cuanto a las propiedades mecánicas del material, avalado no sólo por un riguroso control mediante continuas pruebas realizadas sobre el producto final, sino que además se realizan diferentes controles de los componentes, a través de un tratamiento estadístico de los mismos, y la capacitación permanente del personal involucrado en dichas tareas.

Todo proveedor de concreto premezclado antes de decidir el uso de una fuente de agregados pétreos, debe determinar sus diversas características físicas, como: peso específico, absorción, humedad y composición granulométrica. Luego de ser aceptados, se debe continuar con ensayos periódicos para volver a evaluar que esas mismas características perduren al recibir nuevos materiales y asegurar la homogeneidad del concreto durante todo el proceso de elaboración. Su almacenamiento se ha de realizar con métodos adecuados para que no se modifiquen las propiedades indicadas. Los controles periódicos sobre la humedad de los diferentes agregados que intervendrán en la preparación del concreto son muy importantes para considerar la posible modificación de la relación agua-cemento que interviene en forma directa sobre la resistencia del concreto.

El cemento también se controla mediante ensayos normalizados referentes a la finura, resistencia a la compresión, tiempos de fraguado, etc., y con menor frecuencia se realizan análisis químicos dado que, en la actualidad, se trata de un material debidamente controlado por la industria del cemento y que es respaldado por un protocolo de calidad. En el caso de que se decida emplear aditivos químicos, se realizan ensayos en los laboratorios de planta, lo que permite efectuar la mejor elección y dosificación de los mismos de acuerdo con la mezcla de cemento y agregados que se vaya a emplear.

El concreto es un material que presenta la particularidad de que puede ser realizado en cualquier lugar y de cualquier manera, pero se debe tener bien en claro que de la forma de ejecución, del control de los materiales, de su colocación y curado, depende la calidad futura

de la estructura de concreto en toda su vida útil. El concreto es uno de los pocos materiales o productos que no son almacenables; por lo tanto, no se puede producir y mantener para comprobar su calidad antes de ser utilizado en la obra (con excepción de los elementos prefabricados).

Esto requiere un cuidado extremo en la selección de las materias primas antes de su utilización y en los criterios de elaboración.

Si se mezclan con pala o con revolvedora uno o dos sacos de cemento, agregados pétreos, arena y algunas cubetas con agua, se obtiene concreto. A este material preparado en obra solamente se le puede exigir una resistencia acorde a estructuras de menor importancia con resistencias a la compresión bajas. Pero si hablamos de estructuras complejas y con requerimientos especiales debemos de alguna manera apuntar a un eficiente control de la calidad, resistencia y durabilidad. Muchas veces se cree que un determinado consumo de cemento por metro cúbico de concreto asegure una resistencia a la compresión especificada en el proyecto. Pero esto, generalmente, trae aparejado un elevado contenido de cemento en detrimento de la seguridad que proporciona un buen estudio y control de la dosificación más adecuada para ese concreto que permite, seguramente, optimizar su costo.

La dosificación del concreto premezclado se realiza siempre por peso en las plantas premezcladoras. El operador de la planta recibe del personal del laboratorio las dosificaciones finales con las que debe trabajar, cuyos contenidos están dentro de los límites establecidos por las normas en vigencia, determinando la humedad de los materiales y garantizando de esta manera una proporción adecuada de agregado grueso y fino, lo que redundará en un concreto más homogéneo, cohesivo en estado plástico y más durable en estado endurecido. Las balanzas de reloj y las celdas de carga que se emplean como sistema de pesaje de las plantas dosificadoras se revisan y calibran periódicamente, quedando siempre una constancia de dicho procedimiento. Las cantidades utilizadas en cada entrega quedan registradas en la parte de carga emitida por el sistema de automatización, con el objetivo de revisar que realmente se emplearon las cantidades indicadas en las dosificaciones.

Uno de los aspectos más destacables en la producción de concreto premezclado es el elemento humano. Las empresas premezcladoras ponen especial atención en la capacitación y experiencia del personal encargado de manejar la planta, teniendo éste por lo general muchos años de experiencia en el medio. Es así que el encargado conoce a simple vista la

trabajabilidad y cohesión del concreto que está produciendo, y junto con el responsable del laboratorio de la planta realizan los ajustes adecuados, si son necesarios, para no alterar el contenido de cemento y producir un concreto de calidad. El control de calidad sobre el producto terminado se realiza de manera rigurosa mediante muestreos en la planta premezcladora o en la obra misma, determinando primero el revenimiento, la trabajabilidad, la cohesión y la elaboración continuas de cilindros de ensaye para determinar la resistencia a la compresión del concreto. Con los resultados obtenidos de estas determinaciones se realiza un registro estadístico para verificar la uniformidad y el cumplimiento de las normas en vigencia de concreto premezclado (Normas NMX).

Factores importantes

1. La ubicación de la obra, accesibilidad y relación con el entorno urbano circundante.
2. Las clases de concreto y el propósito de las estructuras
3. Requerimientos técnicos
4. Calidad
5. Cantidad total a ser producida
6. Tipo y tamaño de cada elemento estructural
7. Disponibilidad de concreto premezclado en el ámbito local
8. Programa

Ventajas del concreto premezclado.

- Considerables avances en la tecnología y el equipamiento.
- Adecuado control de calidad sobre el concreto suministrado.
- Provisión de materiales componentes con pesadas controladas y precisas.
- Suministro constante las 24 horas.
- No se requiere espacio de almacenamiento para los agregados y el cemento en la obra.
- Eliminación de desperdicios o fugas de materiales.
- Menor control administrativo por el volumen y dispersión de compras de agregados y cemento.
- Mayor limpieza en la obra, evitando multas por invadir frecuentemente la vía pública con los materiales.

-
- Asesoramiento técnico especializado sobre cualquier aspecto relacionado con el uso característica del concreto.
 - La máxima experiencia trasladada al producto y puesta al alcance del usuario.
 - conocimiento real del costo del concreto.
 - Mayores velocidades de colado y por consecuencia un avance en la terminación de la obra.
 - Reducción de colados suspendidos, ya que el productor normalmente cuenta con más de una planta premezcladora.
 - Disponibilidad de bombas de concreto para concreto bombeado.

Según la industria del concreto premezclado, éste es más que un producto; es un paquete completo de servicios y proporciona un conjunto importante de beneficios al usuario, sea contratista, director técnico o propietario de la obra. Como son tantas las variables involucradas en el producto concreto, hay muchas condicionantes para producir un concreto de calidad, por lo que debe considerarse a la producción de concreto premezclado como un servicio complejo y de carácter dinámico que tiene que ser realizado por especialistas. El concreto premezclado es un material a entregarse en un sitio determinado que debe llegar con la frecuencia estipulada a su destino y con la calidad adecuada, que es producto del resultado de la logística propia del proveedor.

El servicio de la industria del concreto premezclado establecido formalmente no sólo otorga la facilidad de tener volúmenes importantes en un determinado momento sino que además, detrás de cada entrega, hay detalles complementarios al servicio que son motivo de una Preparación y acumulación de experiencias importantes.

En 1872 el ingeniero Deacon expresó que el concreto premezclado, preparado especialmente para ser empleado directamente en la obra sería una gran ventaja para la industria de la construcción y así nació la idea del concreto premezclado. Ese mismo año se estableció en Inglaterra la primera planta de concreto premezclado en el mundo. Se continuó en Alemania en 1903, Estados Unidos en 1913, Dinamarca en 1926, Noruega y Suecia en 1937, Australia en 1939, Islandia en 1943, Holanda en 1948, México 1950, Bélgica en 1956, Finlandia y Sudáfrica en 1958, Austria en 1961, Italia en 1962, Israel en 1963 y en Argentina en 1964.

La necesidad de obtener elevadas resistencias y reducir los tiempos de colado hace del concreto premezclado una buena opción.

III. Resistencia del concreto

Es comúnmente considerada como la característica más valiosa aunque en muchos casos son otras, como la durabilidad, impermeabilidad y estabilidad de volumen, las que pueden ser importantes. Sin embargo, la resistencia suele dar un panorama general de la calidad del concreto, por estar directamente relacionada con la estructura de la pasta del cemento hidratada. Más aún, la resistencia del concreto es, casi invariablemente, un elemento vital del diseño estructural y se especifica con fines de cumplimiento.

Se explicarán algunas de las relaciones empíricas acerca de la resistencia del concreto.

3.1. Relación agua/cemento

Dentro de la práctica de la ingeniería, se supone que la resistencia del concreto de una determinada edad, y curado en agua a una temperatura prescrita depende primariamente de dos factores: de la relación agua/cemento y el grado de compactación.

Cuando un concreto es totalmente compactado, su resistencia es inversamente proporcional a la relación agua/cemento. Esta relación fue precedida por una así llamada “ley”, pero realmente era una regla, establecida por Duff Abrams en 1919. Estableció que la resistencia es igual a:

$$f_c = k_1/k_2^{a/c} \quad (\text{ecuación 3.1.})$$

Donde a/c representa la relación agua/cemento de la mezcla (tomada originalmente por volumen) k_1 y k_2 son constantes empíricas.

La ley de Abrams, aunque se estableció en forma independiente, es similar a una regla general formulada por René Féret en 1896, en que ambas relacionan la resistencia del concreto con los volúmenes de agua y cemento. La regla de Féret es:

$$f_c = k(c/c+w+a)^2 \quad (\text{ecuación 3.2.})$$

Donde f_c es la resistencia del concreto, c , w , y a son las proporciones volumétricas absolutas de cemento, agua y aire respectivamente, y k es una constante. La relación agua/cemento determina la porosidad de la pasta de cemento endurecida en cualquier etapa de hidratación. Así, la relación agua/cemento y el grado de compactación afecta al volumen de vacíos en el concreto.

3.2. Agua efectiva en la mezcla

Las relaciones prácticas estudiadas hasta ahorita incluyen la cantidad de agua en la mezcla. Esto requiere una definición más cuidadosa. Se considera efectiva el agua que ocupa espacio fuera de las partículas de agregado cuando se llega a estabilizar el volumen bruto del concreto, es decir, aproximadamente en el tiempo de fraguado. Por eso se llaman relación agua/cemento efectiva, libre, o neta.

Por lo general, el agua del concreto comprende la que se añade a la mezcla y la que retiene el agregado al entrar en las mezcladoras. Una parte de la última agua la absorbe la estructura de poros del agregado mientras que algo existe como agua libre sobre la superficie del agregado y, por lo tanto, no se diferencia en nada del agua que se añade directamente en la mezcladora. Por el contrario, cuando el agregado no está saturado y algunos de sus poros están por lo tanto llenos de aire, una parte del agua agregada a la mezcla será absorbida por el agregado durante la primera media hora o algo así después de mezclar. En tales circunstancias, la de marcación entre agua libre y agua absorbida es un poco difícil.

Por regla general, el agregado en la obra esta mojado, y el agua que excede de aquélla que se requiere para que el agregado esté en una condición de saturado y superficialmente seco, se considera agua efectiva de la mezcla. Por esta razón, los datos de proporciones de la mezcla, normalmente, se basa en el agua que excede de la absorbida por el agregado, que es el agua libre. Por otro lado, algunas pruebas de laboratorio se refieren al agua total añadida a un agregado seco. Por lo tanto, es necesario tener cuidado al transferir los resultados del laboratorio a las proporciones de mezcla que se utilizarán en la obra, y toda referencia a la relación agua/cemento debe ser clara si se va a considerar el agua total en vez del agua libre.

3.3. Relación gel/espacio

La influencia de la relación agua/cemento en la resistencia no constituye realmente una ley, ya que la regla de dicha relación no incluye muchas calificaciones necesarias para su validez. En particular, la resistencia a cualquier relación agua/cemento depende del agregado de hidratación del cemento, y de sus propiedades físicas y químicas; de la temperatura a la que ocurre la hidratación, del contenido de aire del concreto, y también, del cambio en la relación efectiva agua/cemento y de la formación de grietas por causa del sangrado. El contenido de cemento de la mezcla y las propiedades de la interface de la pasta de cemento y el agregado también son importantes.

Por lo tanto, es más correcto relacionar resistencia con la concentración de productos sólidos de la hidratación del cemento dentro del espacio disponible para estos productos; en este sentido, puede ser importante referirse a la relación de, el desarrollo de la resistencia y la relación gel/espacio. Esta relación se define como la relación del volumen de la pasta de cemento hidratada respecto de la suma de los volúmenes del cemento hidratado y de los poros capilares.

Los hidratos de cemento ocupan más del doble de su volumen original.

A valores muy bajos de la relación agua/cemento, la curva deja de seguirse cuando ya no es posible la compactación total; la posición real del punto de desviación depende del medio de compactación disponible. Parece también que las mezclas con una relación agua/cemento muy baja y un contenido de cemento extremadamente alto (probablemente por encima de 530 kg/m³) exhiben una retrogresión de resistencia cuando se usa agregado de gran tamaño. Además, a edades posteriores, en este tipo de mezcla, una relación más baja de agua/cemento no conduciría a una resistencia más alta.

Puede ser que este comportamiento se deba a los esfuerzos inducidos por la contracción, cuya restricción por las partículas del agregado causa agrietamiento de la pasta de cemento o pérdida de adherencia del cemento y agregado.

De cuando en cuando, a la regla de la relación agua/cemento, se le ha hecho la crítica de no ser suficientemente fundamental. No obstante, en la práctica, la relación agua/cemento es el factor individual más grande dentro de la resistencia del concreto totalmente compactado. Tal vez, la mejor exposición de la situación es la de Gilkey.

Para un determinado cemento y agregados aceptables, la resistencia que pueda ser desarrollada por una mezcla trabajable, adecuadamente colocada, de cemento, agregado y agua (con las mismas condiciones de mezclado, curado y de pruebas) está influida por los siguientes factores:

- a) relación cemento/agua de mezcla,
- b) relación cemento/agregado,
- c) granulometría, textura superficial, forma, resistencia y rigidez de las partículas del agregado,

d) el tamaño máximo del agregado.

Se puede agregar que los factores del b) al d) son de menor importancia que el factor a) cuando se emplean agregados comunes de hasta 40mm (1 ½ pulg.) como tamaño máximo. Sin embargo, dichos factores están presentes porque como señalaron Walker y Bloem; “la resistencia del concreto resulta de:

- la resistencia del mortero;
- la adherencia entre el mortero y el agregado grueso, y
- la resistencia de la partícula del agregado grueso, es decir, su capacidad para resistir los esfuerzos que se le apliquen.

IV. Importancia y control de calidad en obra

En la actualidad en las construcciones donde se requiere de un diseño estructural o no, es necesario llevar un estricto control de calidad de los materiales en el proceso de la construcción, ya que este tipo de control de calidad le dará seguridad al usuario así como a la misma construcción, existen muchos métodos de ensayos de control de calidad, tanto nacionales como internacionales.

Para asegurar el estricto cumplimiento, es importante seguir con precisión los métodos y procedimientos de ensayo requeridos por los documentos del contrato de la obra. Si los documentos del contrato no describen o especifican directamente los métodos de ensayos que han de ser usados, entonces deben de aplicarse los métodos de ensayo de las normas NMX o ASTM. Algunos de los métodos de ensayo requieren que el técnico sea certificado. El ASTM C1077 Y E329 define las obligaciones y las responsabilidades y establecen los requisitos mínimos para las agencias y personal de ensayos, incluyendo la acreditación de laboratorios, certificación de técnicos y requisitos del equipo para las pruebas e inspección del concreto y los materiales del mismo.

La construcción y el desempeño satisfactorios del concreto requieren un concreto con propiedades específicas. Para garantizar que se logren estas propiedades, los ensayos (pruebas, experimentaciones) de control de calidad y aceptación son partes indispensables del proceso constructivo. Los resultados de los ensayos proporcionan informaciones importantes para basar las decisiones con respecto a los ajustes del diseño de la mezcla. Sin embargo, la experiencia basada y el buen juicio se deben basar en la evaluación de las pruebas y de su significado en el control de los procesos de diseño, mezclado y colocación, los cuales influyen el comportamiento final del concreto.

De acuerdo a lo estipulado en el contrato, se realizaron varios métodos de ensayos que son medibles y cuantificables.

El control de calidad en obra es un conjunto de procedimientos técnicos planeados cuya práctica permite que el concreto cumpla con los requisitos especificados, al menor costo posible.

Todos los concretos se diseñan para cumplir con características específicas y estas dependen de la función que ocupa el concreto en su vida útil.

Contenido de aire, resistencia a la compresión, resistencia a la tensión, temperatura, revenimiento, masa unitaria, entre otras características es importante evaluar el concreto y así tomar una decisión importante en la aceptación o rechazo del concreto en la obra. Una de las características importantes que se evaluó en el concreto premezclado es la resistencia, de acuerdo al método de prueba de ensayo a compresión de cilindros de concreto, llevándose de las normas nacionales (NMX).

Se realizaron los ensayos para verificar la trabajabilidad del concreto que no varié de manera considerable a la estipulada en el proyecto, revenimiento de proyecto 18 ± 3 cm (ver tabla 4.1.), de la misma manera se realizó los ensayos a la compresión para verificar que no se encuentre por debajo de la resistencia de proyecto. $f_c = 350$ kg/cm² resistencia de proyecto.

Para realizar el *control de calidad* del concreto premezclado en obra, se realiza un plan de calidad y de monitoreo del concreto y sus agregados, todo esto bajo las normas NMX para este proyecto.

4.1. Requisitos del concreto en estado fresco

El contenido de agua debe limitarse de manera que el revenimiento nominal no exceda de 100 mm. Si se requiere aumentar el revenimiento, este se debe obtener mediante el uso de los aditivos.

Para que el concreto cumpla con el requisito de *revenimiento*, el valor determinado debe concordar con el nominal especificado en la tabla 4.1, con sus respectivas tolerancias.

Tabla. 4.1

Valor Nominal del Revenimiento y Tolerancias (NMX-C-155-ONNCCE)

Revenimiento nominal (mm)	Tolerancia (mm)
Menor que 50	± 15
De 50 a 100	± 25
Mayor de 100	± 35

Al concreto en estado fresco, antes de su colocación en las cimbras, se le deben hacer pruebas para verificar que cumple con los requisitos especificados para su aceptación. La prueba de revenimiento al concreto muestreado en obra se hace de acuerdo al método de prueba NMX-C-156-ONNCCE.

En el caso de que el revenimiento sea inferior al límite especificado, puede aceptarse el concreto si no existen dificultades para su colocación.

El revenimiento del concreto debe estar dentro de los valores permisibles, durante los primeros 30 minutos medidos a partir de que llega a la obra.

El concreto debe tener una masa unitaria entre $1,800 \text{ kg/m}^3$ y $2,400 \text{ kg/m}^3$ esta especificación se verifica de acuerdo al método de prueba NMX-C-162-ONNCCE.

La temperatura del concreto fresco, en el caso de climas fríos, el consumidor debe procurar mantener la temperatura del concreto arriba de los límites indicados en la tabla siguiente.

Tabla. 4.2

Temperatura del Concreto Fresco Durante su Colocación en Clima Frío (NMX-C-155-ONNCCE)

1) dimensión de la sección, en mm	2) Temperatura mínima del concreto °C
Menos de 300	13
300 a 900	10
901 a 1,800	7
Mayor que 1,800	5

Para aquellos casos en que se proceda a calentar los materiales para compensar las bajas temperaturas ambientales, la temperatura máxima del concreto hidráulico en el momento de la producción y colocación no debe exceder en ningún momento de ($32 \text{ }^\circ\text{C}$).

En climas cálidos, la temperatura del concreto hidráulico en el momento de su producción y colocación debe ser la más baja posible alcanzable en forma práctica, de común acuerdo con el comprador.

No es conveniente exceder la temperatura de ($38 \text{ }^\circ\text{C}$).

Para contrarrestar el efecto de las temperaturas ambientales altas el director responsable de obra debe determinar la pertinencia de enfriar los materiales y la posibilidad de enfriar el agua, sin que la temperatura del concreto fresco descienda a menos de (10 °C).

Esta especificación se verifica de acuerdo al método de prueba NMX-C-435-ONNCCE.

4.2. Requisitos del concreto en estado endurecido

La resistencia debe de ser igual o mayor a (200 kg/cm²), a menos que de común acuerdo productor, estructurista y usuario establezcan otra.

El concreto debe alcanzar la resistencia especificada a la compresión ($f'c$) a la edad de 28 días u otra edad convenida y cumplir con lo siguiente:

a) se acepta que no más del 10% del número de pruebas de resistencia a compresión, tengan valores inferiores a la resistencia especificada $f'c$.

Se requiere un mínimo de 30 pruebas.

b) se permite no más del 1% de los promedios de 3 pruebas de resistencia a compresión consecutivas, puede ser inferior a la resistencia especificada.

Se requiere un mínimo de 30 pruebas.

Para eliminar la ocurrencia de resultados excesivamente bajos, es conveniente tener como valor máximo para operación de producción de concreto, una desviación estándar (s) de 3.43 MPa (35 kg/cm²) en el caso de resistencia a la compresión.

Además, deberá cumplirse con todos los promedios consecutivos de las muestras anotadas en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 4.3
Valores fp Mín. (NMX-C-155-ONNCCE)

Número de pruebas consecutivas	Resistencia a la compresión promedio	
	MPa	(kg/cm ²)
1	$f'c - 3.43$	$(f'c - 35)$
2	$f'c - 1.27$	$(f'c - 13)$
3	$f'c$	$(f'c)$

Cada uno de estos valores se calculó utilizando las siguientes expresiones:

$$f'c_{\min} = f'c - s \left\{ \left(\frac{t_1}{\sqrt{n}} \right) - t_{10} \right\} \quad (\text{ecuación 4.1}).$$

$f'p_{\text{Mín}}$ es el valor mínimo aceptable del promedio de pruebas consecutivas, en MPa (kg/cm²).

$f'c$ es la resistencia a la compresión especificada en Mpa (kg/cm²).

t_{10} es 1,282

t_1 es 2,326

s es la desviación estándar para resistencia a la compresión, 3,43 MPa (35 kgf/cm²)

n es el número de pruebas consecutivas

Esto se verifica de acuerdo con el método de prueba establecido Resistencia a la compresión NMX-C-083-ONNCCE.

En el muestreo, el productor debe de facilitar en la planta la toma de muestras necesarias al comprador o al laboratorio autorizado por las partes que intervienen en la obra, a fin de determinar si el concreto está produciéndose de acuerdo con los requisitos señalados en la norma NMX-C-155-ONNCCE, con la frecuencia de muestreo sugerida en la tabla a continuación.

Tabla 4.4
Frecuencias Mínimas de Muestreo Para Control de Producción (NMX-C-155-ONNCCE)

Prueba y método	Concreto industrializado
Revenimiento (NMX-C-156-ONNCCE)	Al inicio del colado y cuando se detecte visualmente cambio de consistencia, pero no menos de una por cada 100 m ³ o fracción.
Masa unitaria (NMX-C-162-ONNCCE)	Una por cada día de colado
Temperatura si la temperatura ambiente es menor de 280k (7°C) o mayor de 305k (32°C) (NMX-C-435-ONNCCE)	No menos de una por cada 60 m ³ o fracción. Una por cada entrega
Contenido de aire, en concretos con aire incluido (NMX-C-162-ONNCCE)	Cada entrega. En caso de producción continua, cada 12 m ³
Resistencia a la compresión (NMX-C-083-ONNCCE)	Cada 100 m ³ o fracción
Módulo de elasticidad (NMX-C-128-ONNCCE)	Cuando lo solicite el usuario (cliente)

En la tabla siguiente se especifica la frecuencia de muestreo mínimo en la obra.

Tabla 4.5

Frecuencia Mínima de Muestreo en Obra (NMX-C-155-ONNCCE)

Prueba y método	Concreto industrializado
Revenimiento (NMX-C-156-ONNCCE)	En todas las entregas, o de acuerdo con especificaciones de obra.
Masa unitaria (NMX-C-162-ONNCCE)	Una por cada día de colado
Temperatura si la temperatura ambiente es menor de 280k (7°C) o mayor de 305k (32°C) (NMX-C-435-ONNCCE)	Cada entrega. En caso de producción continua, cada 12 m ³
Contenido de aire, en concretos con aire incluido (NMX-C-162-ONNCCE)	Cada entrega. En caso de producción continua, cada 12 m ³
Resistencia a la compresión	Cada 40 m ³ o fracción
Resistencia a la compresión en columnas y muros (NMX-C-083-ONNCCE)	Cada 14 m ³ o fracción
Módulo de elasticidad (NMX-C-128-ONNCCE)	Tres determinaciones por obra como mínimo y cuando lo solicite el director responsable de obra.

Las normas nos ayudan a llevar un estricto control de calidad de los materiales de construcción en el proceso de la obra.

V. Desarrollo del proyecto

5.1. Ubicación de caso en estudio

El predio donde se construye el Hospital General de Zona No. 1, de 180 camas, del Instituto Mexicano del Seguro Social. Se encuentra ubicado en una fracción del predio denominado “Los Flamboyanes”, ubicado en la Carretera Costera Federal 200, tramo Arriaga-Tapachula km. 289+000, entre entronques con la Av. Central Poniente y la 4ª. Calle Poniente. En la ciudad de Tapachula, Chiapas.

Coordenadas del predio: Latitud: 14°91'05.96"N Longitud: 92°27'59.79"O

Colindancias:

Norte - propiedad privada

Sur – Propiedad Privada

Este - Carretera Costera

Oeste – Propiedad Privada

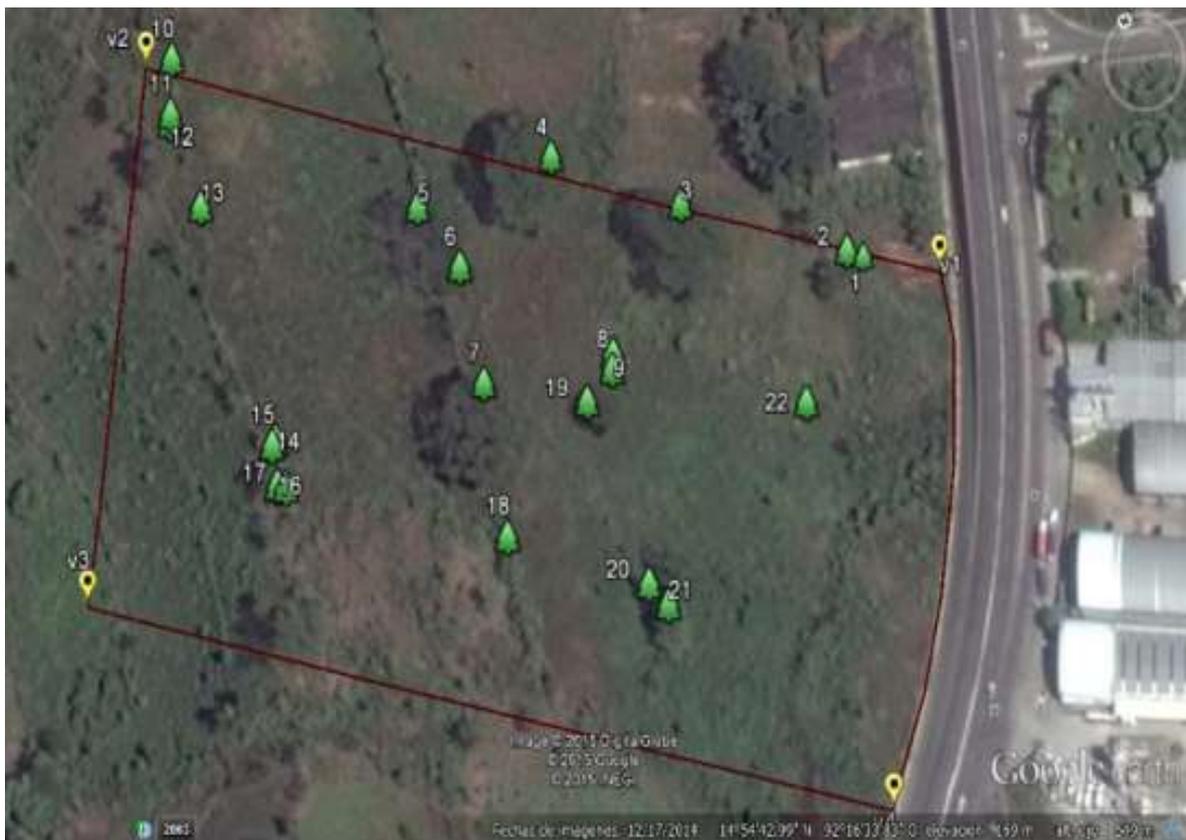


Figura 5.1. Predio Donde se Construye el Hospital General de Zona No. 1, de 180 camas.

5.2. Planos

Para fines de diseño estructural se han considerado los siguientes cuerpos independientes:

- Cuerpo A.- Cirugía ambulatoria
- Cuerpo B.- Urgencias y tococirugía
- Cuerpos C y D.- Gobierno
- Cuerpo E.- Consulta Externa

Los planos estructurales se encuentran en el anexo D y E de este trabajo.



Figura 5.2. Distribución de Cuerpos del Hospital General de Zona No. 1, de 180 camas.

Documentación Recopilada.

Con el objeto de realizar el anteproyecto estructural se recopiló la siguiente documentación:

- a) Planos arquitectónicos básicos del hospital (plantas y cortes de cada uno de los cuerpos)
- b) Estudio preliminar de mecánica de suelos.

Clasificación de la Estructura

El Reglamento de Construcciones para el Municipio de Tapachula clasifica en el artículo 141 a estas construcciones por su uso (hospitales) como del Grupo A, es decir que son las más importantes que se pueden construir. De la misma forma, el resto de la normatividad en materia de construcción del país hace la misma clasificación.

Descripción del Sistema Estructural Adoptado

Aunque varía el número de niveles y las dimensiones en planta de los diferentes cuerpos, desde el punto de vista estructural el sistema elegido consistirán en marcos de concreto reforzado en ambas direcciones rigidizados con algunos muros diafragma de concreto reforzado. Por las dimensiones de los tableros se pondrán trabes secundarias de concreto reforzado que soportarán a los sistemas de piso de losa maciza.

Todos los muros de las edificaciones serán divisorios de tabique confinados con dalas y castillos en el perímetro, así como en núcleos sanitarios y cuartos especiales. El resto de los muros serán divisorios de tabla roca o similar.

Las cimentaciones serán del tipo superficial mediante una losa de cimentación rigidizada con contratraves, las cuales se construirán sobre un relleno de material de banco compactado de acuerdo con las especificaciones del informe geotécnico.

Materiales.

La calidad de los materiales considerada en los cálculos a continuación se resume:

Concreto reforzado:

- a) Concreto con una resistencia mínima a la compresión a los 28 días de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$, y tamaño máximo de agregado de $\frac{3}{4}$ ". Concreto clase 1.
- b) Plantilla de 5 cm de espesor elaborada con concreto $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$.
- c) Acero de refuerzo en varillas con un esfuerzo de fluencia mínimo de $f'y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

5.3. Ensayos de control de calidad en la obra del concreto premezclado

Los ensayos que se realizaron en el proyecto: Hospital general de zona No. 1, Tapachula, Chiapas. De 180 camas, fueron los siguientes:

Muestreo en concreto fresco

Según la norma establece el método para obtener muestras representativas de concreto fresco y con el cual se realizan los ensayos para determinar el cumplimiento de los requisitos de calidad convenidos.

Para verificar el revenimiento en obra, con la finalidad de aceptar o rechazar el concreto se debe tomar una muestra al inicio de la descarga, después de despuntar y verificar que el concreto esté homogéneo. Realizar el despunte de 10 L, procede a tomar la muestra interceptando con el recipiente totalmente el flujo de la descarga del canalón.

Después de que el concreto haya sido aceptado, la muestra para los demás ensayos tomar entre el 15% y el 85% de la descarga, interceptando con el recipiente el flujo completo de descarga o desviando el flujo sin segregar el concreto.

La velocidad de descarga debe controlarse con el número de revoluciones de la olla y no por la mayor o la menor abertura de la compuerta.

Esta toma de muestra de concreto fresco se realizó en la olla del camión mezclador o agitador.

Todos los detalles referente al muestreo de concreto fresco, se puede encontrar en la norma NMX-C-161-ONNCCE.

Para realizar los ensayos se ubicó un área donde no se interrumpiera con la construcción de la obra, ya que al muestrear al camión mezclador tendría que pararse por unos minutos y en suministro constante podría ocasionar tráfico por tener una sola entrada de vehículos a la obra y que al momento de dichos ensayos no se nos interrumpiera de la misma manera.



Figura 5.3. Muestreo del Concreto Fresco en Obra.



Figura 5.4. Remezclado del Concreto Fresco en Obra.

Determinación de la temperatura del concreto fresco

Según la norma establece el método de ensayo para determinar la temperatura del concreto fresco. Y es aplicable para verificar el cumplimiento de un requisito específico de la temperatura del concreto hidráulico.

El dispositivo de medición de temperatura con una resolución de $\pm 1,0$ k (1,0 °C) o menos, con un intervalo mínimo de 273 k a 323 k (0°C a 50 °C), debe ser de inmersión parcial de al menos 75 mm. Este dispositivo debe de ser calibrado anualmente.

La temperatura del concreto fresco puede ser medida en el equipo de transportación o de colocación, el sensor del dispositivo de medición de temperatura debe de estar cubierto por concreto en todas sus direcciones a su alrededor por lo menos 75 mm.

Si el equipo de transportación o de colocación no es usado como recipiente para determinar la temperatura del concreto, se debe muestrear el concreto fresco de acuerdo con la norma NMX-C-161-ONNCCE, si el único propósito es determinar la temperatura, la muestra puede disminuirse en volumen y no necesariamente debe ser una muestra compuesta.

Todos los detalles referente a la temperatura del concreto fresco, se puede encontrar en la norma NMX-C-435-ONNCCE



Figura 5.5. *Temperatura del Concreto Fresco en Obra.*

Determinación del revenimiento en el concreto fresco

De acuerdo a la norma mexicana establece los procedimientos para determinar la consistencia del concreto hidráulico en estado fresco mediante el método de ensayo conocido como revenimiento. En éste se obtiene valores confiables de revenimiento en el intervalo de 2 cm a 20 cm, es aplicable al concreto fresco industrializado o hecho en obra con tamaño máximo nominal del agregado menor de 50 mm.

El revenimiento es una medida de la consistencia del concreto fresco en término de la disminución de altura.

La muestra debe obtenerse y prepararse de acuerdo con lo indicado en la norma NMX-C-161-ONNCCE, después de haber obtenida la muestra, se remezcla el concreto con una pala o cucharón lo necesario para garantizar uniformidad en la mezcla y se procede a hacer el ensayo inmediatamente.

Este ensayo no debe efectuarse en condiciones climáticas que puedan contaminar el concreto tales como: vientos que contenga polvo, lluvia, etc.

Los Valores nominales del revenimiento y sus tolerancias se encuentran en la tabla. 4.1.

Todos los detalles referente a la Determinación del revenimiento del concreto fresco, se puede encontrar en la norma NMX-C-156-ONNCCE.



Figura 5.6. *Revenimiento del Concreto Fresco en Obra. (Llenado del Cono en 3 Capas del Mismo Volumen).*



Figura 5.7. *Revenimiento del Concreto Fresco en Obra (Compactado con 25 Penetraciones).*



Figura 5.8. Revenimiento del Concreto Fresco en Obra (18 cm).

Determinación de la masa unitaria

Según la norma establece el procedimiento para la determinación de la masa unitaria, cálculo del rendimiento y contenido de aire por el método gravimétrico.

La masa unitaria es la cantidad de materia contenida en un metro cúbico de concreto fresco (kg/m^3).

Se debe de emplear un recipiente cilíndrico de metal no atacable por la pasta de cemento, estanco que conserve sus dimensiones bajo condiciones de uso.

En la tabla siguiente se observa la capacidad que debe de tener el recipiente.

Tabla 5.1
Capacidad Mínima del Recipiente Recomendadas

Tamaño máximo nominal del agregado grueso mm (Pulgadas)	Capacidad del recipiente (L)
25 (1)	5
38 (1 ½)	10
50 (2)	14
75 (3)	28

Todos los detalles referente a la Determinación de la masa unitaria del concreto fresco, se puede encontrar en la norma NMX-C-162-ONNCCE.



Figura 5.9. Masa Unitaria del Concreto Fresco en Obra.

Elaboración y curado de especímenes de ensayo

Según esta norma establece los procedimientos para elaborar y curar ya sea en obra o en el laboratorio, los especímenes de concreto utilizados para los ensayos que se requieran.

Esta norma mexicana es aplicable a concretos cuyo tamaño máximo nominal de agregado no exceda de los 50 mm y cuya fluidez permita compactarlos por medio de varillado o por vibradores de inmersión o utilizando una mesa vibratoria; esta norma no es aplicable a los concretos autoconsolidables.

El curado es el proceso mediante el cual, en un ambiente especificado (humedad y temperatura) y en un tiempo determinado, se favorece la hidratación del cemento o de los materiales cementantes en la mezcla.

Para realizar esta prueba se realizó con moldes cilíndricos de 15 * 30 cm.

Se debe de elaborar para los ensayos de compresión, módulo de elasticidad, flujo plástico y de tensión por compresión diametral, con una longitud igual al doble de su diámetro, con una dimensión mínima de 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso diámetro mínimo de 5 cm y una longitud mínima de 10 cm.

Los especímenes cilíndricos para ensayos anteriores, deben elaborarse y dejarse endurecer con el eje del cilindro en posición vertical.

Este método de ensayo se realiza de acuerdo con las condiciones ambientales prevalecientes en el lugar en el que se elaboran los especímenes; se debe registrar la temperatura y cuando se requiera, registrar la humedad.

En el laboratorio la temperatura se debe mantener uniforme, de preferencia entre 293 K y 298 K (20 °C y 25°C), durante la fabricación del concreto y elaboración de los especímenes de ensayo.

Para el llenado de los cilindros se debe de hacer en 3 capas aproximadamente del mismo espesor de acuerdo al tipo y tamaño de espécimen.

Tabla 5.2
Números de Capas Requeridas Para los Especímenes

Tipo y tamaño de espécimen	Modo de compactación	Numero de capas de aproximadamente igual espesor
Cilindros: diámetro, mm		
75 a 100	varillado	2
150	varillado	3
225	varillado	4
Hasta 225	vibrado	2

Todos los detalles referente a la Elaboración y curado de especímenes del concreto fresco, se puede encontrar en la norma NMX-C-159-ONNCCE.



Figura 5.10. *Elaboración de Especímenes Cilíndricos del Concreto Fresco en Obra (Llenado).*



Figura 5.11. *Elaboración de Especímenes Cilíndricos del Concreto Fresco en Obra (Varillado).*



Figura 5.12. *Elaboración de Especímenes Cilíndricos (Descimbrado Después de 24 Horas).*



Figura 5.13. *Elaboración de Especímenes Cilíndricos (Curado en Laboratorio, Temperatura. $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$).*

Concreto endurecido

Cabeceo de especímenes

Según la norma establece los procedimientos de cabeceo en especímenes con el fin de obtener la planicidad y perpendicularidad en su base para su ensayo.

El compuesto para el cabeceo es una mezcla de material de azufre y una adición de otros materiales para mejorar sus propiedades de resistencia a compresión, adherencia y plasticidad.

Debe de utilizarse un alineador en unión con las placas de cabeceo, para que las capas no se aparten de la perpendicularidad en relación al eje del espécimen cilíndrico con más de 0,5° (aproximadamente 3 mm en 300 mm).

También deben utilizar un recipiente para fundir azufre que controle automáticamente la temperatura.

La resistencia del compuesto para cabeceo y el espesor de la capa deben cumplir con lo indicado en la siguiente tabla.

Tabla 5.3
Resistencia a la Compresión y Espesor Máximo del Compuesto para Cabeceo

Resistencia del concreto en MPa (kgf/cm ²)	Resistencia mínima del compuesto para cabeceo, en MPa (kgf/cm ²)	Espesor promedio de cada capa de cabeceo en mm	Espesor máximo de cada capa de cabeceo en cualquier punto de oquedad en la misma en mm
3,5 a 50 (35 a 500)	35 MPa (350) o la del concreto, cualquiera que sea mayor	6	8
Más de 50 (más de 500)	No menor que la resistencia del concreto	3	5

Todos los detalles referente al *Cabeceo de especímenes*, se puede encontrar en la norma NMX-C-109-ONNCCE.



Figura 5.14. Cabeceo de Especímenes Cilíndricos (Recipiente Para Fundir Azufre, $140\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10$).



Figura 5.15. Cabeceo de Especímenes Cilíndricos (Plato Metálico y Alineador).



Figura 5.16. Cabeceo de Especímenes Cilíndricos.



Figura 5.17. Especímenes Cilíndricos Cabeceados.

Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes

Según la norma establece el método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto.

Esta norma es aplicable a especímenes cilíndricos moldeados, corazones de concreto y cubos, con masa unitaria mayor a 900 kg/m³.

Se debe de tener una máquina de ensayo con la capacidad y característica necesaria para la resistencia de los especímenes a ensayar. Debiendo estar calibrada.

En caso de cilindros se determinan el diámetro y la altura del espécimen de ensayo, promediando según sea el caso, 2 medidas perpendiculares entre sí a la altura media del espécimen y 2 alturas apuestas con una aproximación de 1 mm.

Estando el cilindro cabeceado y las placas de la maquina limpias se procede al ensayo, se debe de aplicar la carga con una velocidad continua sin producir impacto, ni pérdida de carga.

Se permite una velocidad controlada mayor durante la aplicación de la primera mitad de la carga máxima esperada siempre y cuando durante la segunda mitad se mantenga la velocidad especificada.

En 1 de cada 10 especímenes se continúa la carga hasta mostrar de forma definida el tipo de falla (ruptura).

Los especímenes para la aceptación o rechazo de concreto deben ensayarse a la edad especificada con las siguientes tolerancias.

Tabla 5.4
Tolerancias Para Ensayo

Edad de ensayo especificada	Tolerancia permisible
24 h	± 0.5 h
3 días	± 2 h
7 días	± 6 h
14 días	± 12 h
28 días	± 20 h
90 días	± 48 h

Para aquellos especímenes en los cuales no se tenga una edad de ensayo dentro de la tabla anterior, se debe ensayar con las tolerancias que se fijan en común acuerdo por los interesados.

Todos los detalles referente al Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes, se puede encontrar en la norma NMX-C-083-ONNCCE.



Figura 5.18. *Determinación de la Resistencia a la Compresión (Colocación del Espécimen).*



Figura 5.19. *Determinación de la Resistencia a la Compresión.*



Figura 5.20. *Determinación de la Resistencia a la Compresión (Tipo de Falla o Ruptura, Conos Formados en Ambos Extremos).*

Cabe mencionar que los ensayos fueron realizados por un laboratorio acreditado por la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación)

Los equipos menores para la realización de los ensayos, todos están verificados mediante su método acreditado, así como los equipos mayores (prensa de compresión) esta calibrada.

El técnico que realizó estos ensayos está certificado ante el ACI (American Concrete Institute).

En su momento se le requirió los certificados que le acredita como técnico del concreto en grado I, así como el laboratorio de control de calidad, se le solicito los alcances de los métodos acreditados, así como todas las calibraciones de sus equipos. Cumpliendo con todos los requisitos para ejercer los trabajos de control de calidad de los materiales de construcción.

VI. Análisis y evaluación de resultados

Se realiza un proceso de organización y procesamiento de los datos obtenidos de la resistencia a compresión a la edad de 28 días en concreto normal y 14 días en resistencia rápida, lo cual es la edad aceptable para que un concreto se aceptado o rechazado, según las normas.

Se realiza las gráficas con los datos obtenidos de los resultados de ensaye a compresión en cilindros de concreto hidráulico, a la edad de 28 días en concreto normal y de 14 días en concreto de resistencia rápida.

En todos los cuerpos, las losas, traves de entrepiso y azoteas son de resistencia rápida (R.R.) a 3 días.

Los muros y columnas son de resistencia normal a 28 días.

Cuerpo E

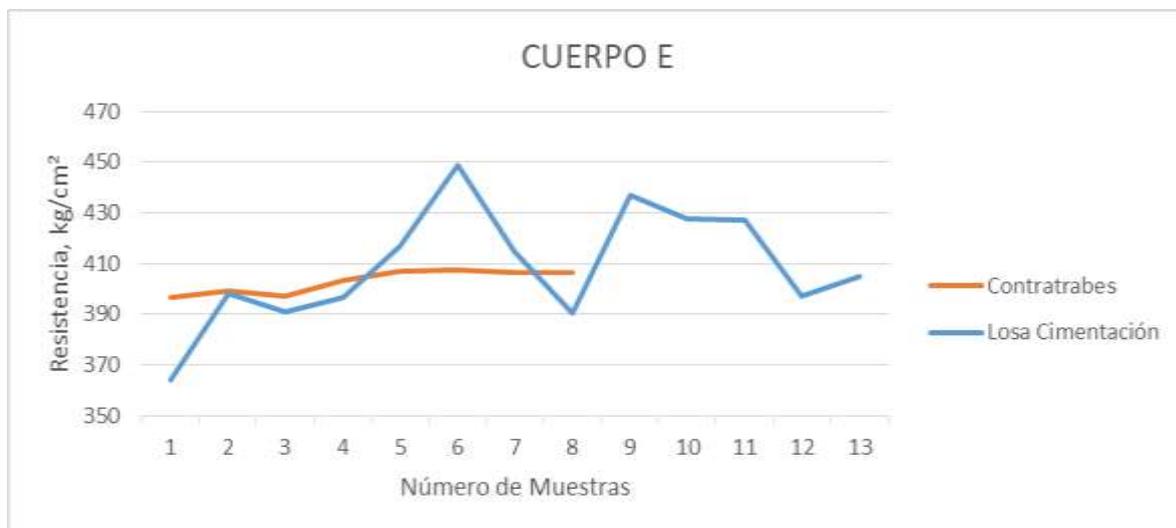


Figura 6.1. Gráfica de Resistencia a la Compresión de Contratraves y Losa de Cimentación.

Se observa, la que presenta una mayor uniformidad de la resistencia del concreto son las contratraves, la Losa de Cimentación presenta discrepancia entre una muestra y otra, aunque algunas muestras son de mayor resistencia que las contratraves.



Figura 6.2. Gráfica de Resistencia a la Compresión de Muros y Columnas, Losa y Trabes de Entrepiso, (Nivel Sótano).

Se observa, el concreto que presenta una resistencia elevada son las trabes y losas de entrepiso en el nivel de Sótano.



Figura 6.3. Gráfica de Resistencia a la Compresión de Muros y Columnas, Losa y Trabes de Entrepiso, (Nivel Planta Baja).

Se observa, el concreto que presenta más resistencia son las trabes y losa de entrepiso en el nivel de planta baja.



Figura 6.4. Gráfica de Resistencia a la Compresión de Muros y Columnas, Losa y Trabes de Entrepiso, (Primer Nivel).

Se observa, al inicio de las muestras las que presenta más resistencia son las trabes y losa de azotea, luego cambia a los muros y columnas.

Cuerpo D



Figura 6.5. Gráfica de Resistencia a la Compresión de Contratraves y Losa de Cimentación.

La que presenta la resistencia más alta, es la losa de cimentación con respecto a las contratraves.



Figura 6.6. Gráfica de Resistencia a la Compresión de Muros y Columnas, Losa y Trabes de Entrepiso, (Nivel Sótano).

Se observa, las columnas y muros presentan una resistencia inferior a la de las trabes y losa.



Figura 6.7. Gráfica de Resistencia a la Compresión de Muros y Columnas, Losa y Trabes de Entrepiso, (Nivel Planta Baja).

De la misma manera que la gráfica anterior las columnas y muros presentan resistencias inferiores a la de las trabes y losa.



Figura 6.8. Gráfica de Resistencia a la Compresión de Muros y Columnas, Losa y Trabes de Entrepiso, (Primer Nivel).

En esta gráfica se observa lo mismo que las columnas, presenta resistencias inferiores a la de las trabes y losa.

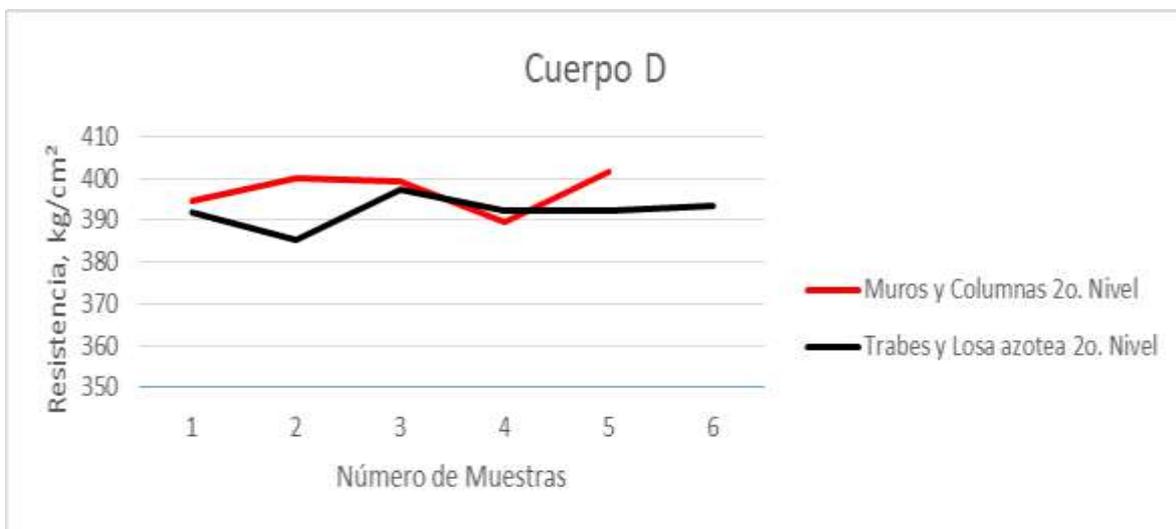


Figura 6.9. Gráfica de Resistencia a la Compresión de Muros y Columnas, Losa y Trabes de Azotea, (Segundo Nivel).

Se observa, la mayoría de las muestras de columnas y muros su resistencia es mayor que la de las trabes y losa de azotea.

VII. Conclusiones

Es de gran importancia llevar un control de calidad al inicio de la obra, con ello, tendremos un nivel de confianza aceptable en los materiales utilizados, ya que sabremos que cumplen con los mínimos requisitos de calidad.

Durante la construcción de la obra, el control de calidad es de gran utilidad, ya que nos permite modificar las hipótesis preliminar y con ello tener al concreto dentro de sus límites permitidos.

Al observar las gráficas se ve que en la mayoría de los niveles (sótano, planta baja, primer nivel y segundo nivel), la resistencia de las losas y trabes es mayor que la de las columnas, esto se puede considerar como columna débil ya que su resistencia es inferior a la resistencia de las trabes que se apoyan en ellas.

Ya que, en un diseño sismorresistente adecuado, se debe garantizar que las columnas sean más fuertes que las vigas y/o trabes, y no el caso contrario. De esta manera, se prefiere que de ocurrir una falla, esta se genere en las vigas y/o trabes y no en las columnas.

Si las columnas tienen menor resistencia que las vigas y/o trabes, las primeras fallarán primero, lo que provoca que la estructura colapse.

La falla principal de las columnas débiles, es que se excede la resistencia por cortante, antes que por flexión. En casos de sismos o sobrecargas, se originan severos daños en la edificación llegando a la inutilización.

Por lo tanto, el suministro del concreto en la obra en estudio, refiriéndose a la resistencia (pero no de proyecto), no es el adecuado desde el punto de vista columna fuerte viga débil.

Existen factores que pueden intervenir en el informe final de la resistencia del concreto, como son: La presión de compresión, el operador de la prensa, el técnico que elabora los cilindros, el método de curado. Esta se puede catalogar como incertidumbre de lo ya mencionado.

Por esta razón, en este tipo de obra se pide que el laboratorio que lleve el control de calidad de los materiales de construcción sea un laboratorio acreditado ante la EMA (Entidad Mexicana de Acreditación) en todas las pruebas que se van a realizar, para asegurar la confiabilidad de los ensayos.

El concreto premezclado es bueno, como ya se mencionó antes, pero debe de asegurarse en obra que llegue con los requerimientos del cliente y tener cuidado en la resistencia de los elementos estructurales.

Cabe mencionar que la resistencia de proyecto de la obra en cuestión es de $f'c=350$ kg/cm², por lo tanto, ni una de las muestras obtenidas en obra es inferior a esta resistencia de proyecto.

Toda obra se debe de llevar un estricto control de calidad, tanto de los materiales, como de los procesos constructivos, así como aplicar la Ley y el reglamento de construcción, normas, experiencia y todo aquello que nos ayude a realizarla con seguridad, calidad, economía, funcionalidad y duradera.

Referencias Bibliográficas

1. (C.F.E., 1994). “Manual de Tecnología del Concreto” Comisión Federal de Electricidad. Instituto de Ingeniería, UNAM. México, D.F.: Limusa, S. A de C.V.
2. (IMCYC, 1999). Tecnología del Concreto, (1ª ed.) Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. México, D.F.
3. (IMCYC, 2016). Manual del Técnico Para Pruebas al Concreto en Obra Grado I. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. México, D.F.
4. NMX-C-161-ONNCCE. Muestreo.
5. NMX-C-435-ONNCCE. Determinación de la Temperatura del Concreto Fresco.
6. NMX-C-156-ONNCCE. Determinación del Revenimiento en el Concreto Fresco.
7. NMX-C-162-ONNCCE. Determinación de la Masa Unitaria, Cálculo del Rendimiento y Contenido de Aire del Concreto Fresco por el Método Gravimétrico.
8. NMX-C-159-ONNCCE. Elaboración y Curado de Especímenes de Ensayo.
9. NMX-C-109-ONNCCE. Cabeceo de Especímenes.
10. NMX-C-083-ONNCCE. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes.
11. NMX-C-414-ONNCCE. Cemento Hidráulico – Especificaciones y Métodos de Ensayo.
12. NMX-C-155-ONNCCE. Concreto Hidráulico Industrializado-Especificaciones.
13. (S.O.P., 1974). Especificaciones Generales de Construcción”. Talleres Gráficos de la Nación. Secretaría de Obras Públicas. México, D.F.

-
14. Gonzáles, F. (2009). Manual de Supervisión de Obras de Concreto.(2ª ed.). México, D.F.: Limusa, S.A. de C.V.
 15. Gonzáles, O. (2006). Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado. (4ª ed.). México: Limusa, S.A. de C.V.
 16. Mcmillan F. y Tuthill. L., (1992). “Cartilla del Concreto” (primera edición). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. México, D.F.
 17. Simón, L. y Betancourt, M. (2017). Reglamento de construcción para el distrito federal, (9ª ed.) México: Trillas.

Apéndices

Apéndice A

Colocación del concreto premezclado en obra

Procesos de colocación del concreto premezclado.

La colocación del concreto es una serie de procesos que se debe realizar teniendo cuidado para no tener retrasos y segregar el concreto.

Los equipos a utilizar deberán de estar limpios y aprobados mecánicamente. Se debe tener equipo extra disponible como reserva, al menos uno por cada tres o cuatro necesarios, los combustibles, lubricantes y refacciones deberán tenerse en cantidad suficiente.

Verificar que los elementos estructurales se encuentre a nivel, a plomo o verticalidad y alineado con el eje de construcción.

Las cimbras deberán de estar limpias, lubricadas, calafateadas y aprobadas.

El acero de refuerzo deberá de estar limpio y aprobado en cuanto a colocación, fijación, grados y diámetro.

Verificar que se encuentre toda la tubería ahogada y ésta deberá de estar probadas y aprobadas.

Para el transporte se utiliza camión mezclador (ollas) y para el vaciado del concreto se utiliza equipo de bombeo (bomba pluma para concreto). Que deberá de ser lubricado con mortero de consistencia semejante al que se usará.

En la compactación se utiliza vibrador de inmersión. En las losas se permite darle una inclinación de 35° a 45°, ya que el espesor es pequeño.

La colocación se hace mediante capas de hasta 50 cm. De espesor, se debe de evitar acumulaciones de concreto en un mismo punto de descarga porque los taludes que se forman provocan segregación.

El curado del concreto se realiza en las losas por medio húmedo y en las columnas y muros por medio de membranas (curacreto).

Apéndice B

Reporte fotográfico



Figura 1. Verificación de Niveles y Centrado del Eje de las Contratabes Para los Dados.



Figura 2. Colado de Contratraves.



Figura 3. Verificación de Niveles del Acero de Refuerzo en Armado de Losa (Esto se Realiza en Todas las Losas).

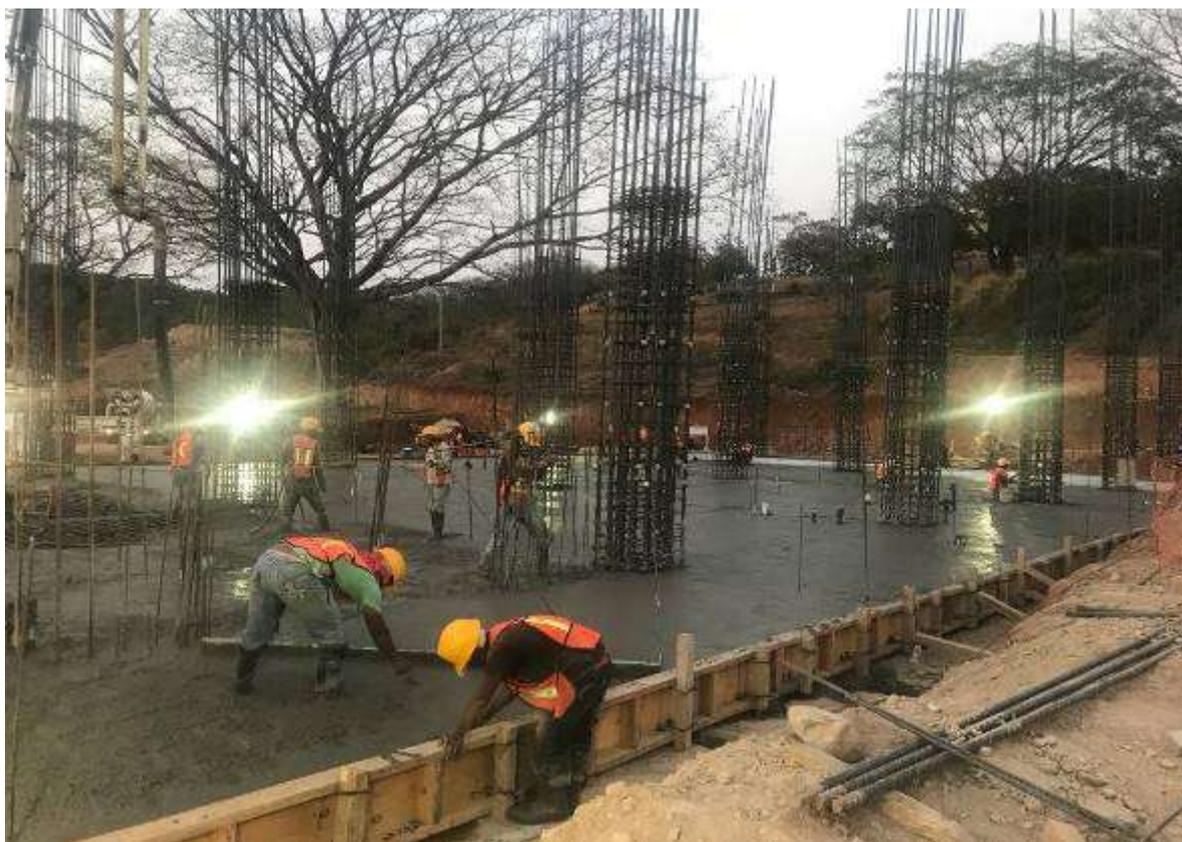


Figura 4. Colado de Losa de Cimentación.



Figura 5. Verificación de Nivel y Plomo de las Cimbras en Columnas (Se Realiza Para Todos los Niveles).



Figura 6. Colado de Columnas.



Figura 7. Colado de Columnas.



Figura 8. Verificación de Nivel y Plomo de las Cimbras en Muros (Se Realiza Para Todos los Niveles).



Figura 9. Colado de Muros y Columnas.



Figura 10. Colado de Muros y Columnas.



Figura 11. Colado de Trabes y Losa.



Figura 12. Colado de Trabes y Losa.



Figura 13. Colado de Trabes y Losa (Acabado).



Figura 14. *Acabado Final del Colado de Losa.*



Figura 15. *Curado de Losa en Humedo.*



Figura 16. Curado de Losa en Humedo.

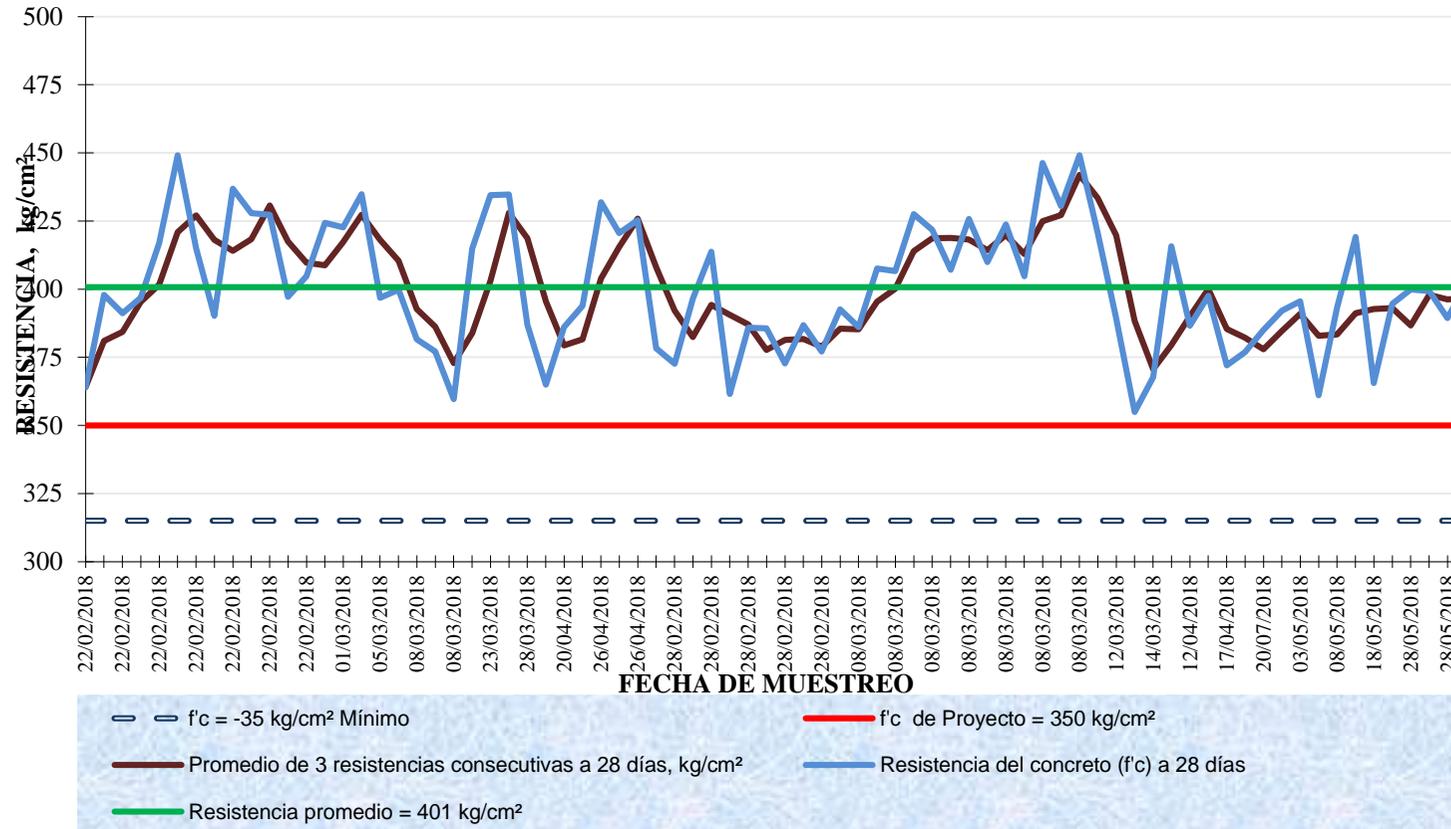


Figura17. Curado de Columnas a Base de Curacreto.

Apéndice C

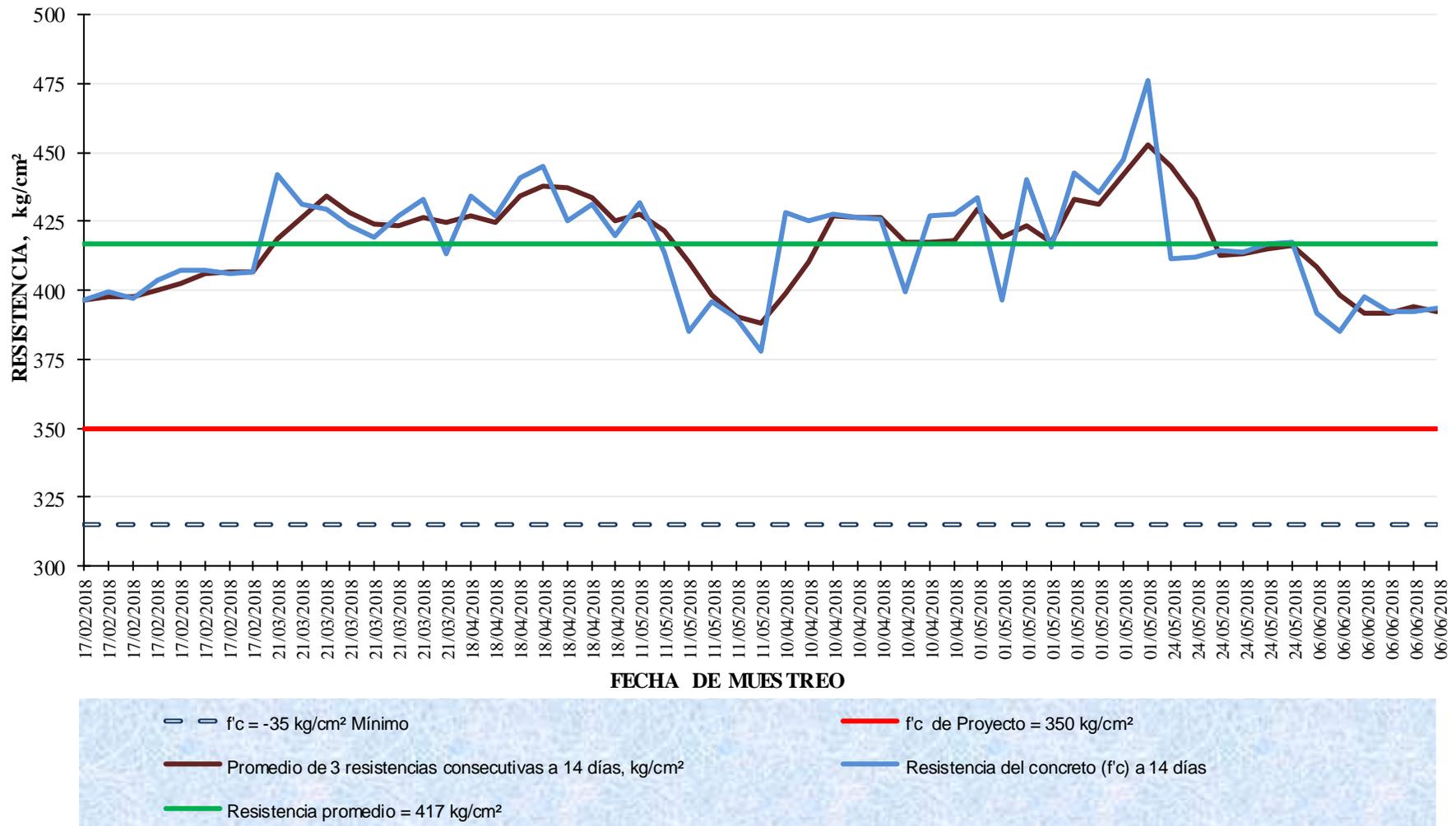
Control estadístico del concreto premezclado en la obra: Hospital general de zona no. 1 Tapachula, Chiapas. De 180 camas.

Resistencia a compresión a 28 días, del cuerpo D y E.



Control estadístico del concreto premezclado en la obra: Hospital general de zona no. 1 Tapachula, Chiapas. De 180 camas.

Resistencia a compresión a 28 días, del cuerpo D y E.



Resultados de Estándares de control de análisis estadístico de los cuerpos D y E.

Estándares de control, cuerpo D y E							
Edad (Días)	No. De Muestras	Promedio de resistencias (kg/cm ²)	Desviación Estándar (kg/cm ²)	Coeficiente de Variación (%)	Valor Mínimo (kg/cm ²)	Valor Máximo (kg/cm ²)	Rango (kg/cm ²)
28	76	401	23	6	355	449	94

Estándares de control, cuerpo D y E							
Edad (Días)	No. De Muestras	Promedio de resistencias (kg/cm ²)	Desviación Estándar, s (kg/cm ²)	Coeficiente de Variación (%)	Valor Mínimo (kg/cm ²)	Valor Máximo (kg/cm ²)	Rango (kg/cm ²)
14	57	417	19	5	378	476	98

Para la calificación de una obra ($f_c > 20$ Mpa). Basada en la resistencia a la compresión. El A.C.I. Relaciona la desviación estándar s , con la calidad de una obra:

Desviación estándar, s (kg/cm²)	Grado de control
< 28	Excelente
28 a 35	Muy bueno
35 a 42	Bueno
42 a 49	Regular
> 49	Pobre

Apéndice D

Planos estructurales del cuerpo D

No.	Plano	Cuerpo
1	Estructuración Planta de Cimentación	D
2	Complemento Planta de Cimentación	D
3	Estructuración Planta Baja	D
4	Complemento Planta Baja	D
5	Estructuración Planta Nivel 1	D
6	Complemento Planta Nivel 1	D
7	Estructuración Planta Nivel 2	D
8	Complemento Planta Nivel 2	D
9	Estructuración Planta Azotea	D
10	Complemento Planta Azotea	D

VER ANEXOS

Apéndice E

Planos estructurales del cuerpo E

No.	Plano	Cuerpo
1	Estructuración Planta de Cimentación	E
2	Complemento Planta de Cimentación	E
3	Estructuración Planta Baja	E
4	Complemento Planta Baja	E
5	Estructuración Planta Nivel 1	E
6	Complemento Planta Nivel 1	E
7	Estructuración Planta Azotea	E
8	Complemento Planta Azotea	E

VER ANEXOS