

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY**

**DIVISIÓN DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRUCTURA TIPO CONSTRUIDA CON
CONCRETO NORMAL Y CONCRETO ALIGERADO CON PUMITA**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO ACADÉMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA
CIVIL CON ACENTUACIÓN EN ESTRUCTURAS**

ERNESTO RAÚL LEAL CASAS

MONTERREY, N.L.

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRUCTURA TIPO CONSTRUIDA CON
CONCRETO NORMAL Y CONCRETO ALIGERADO CON PUMITA**

**TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
GRADO ACADÉMICO DE**

**MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA
CIVIL CON ACENTUACIÓN EN ESTRUCTURAS**

ERNESTO RAÚL LEAL CASAS

MONTERREY, N.L.

Agradezco principalmente a Dios por darme la oportunidad de vivir.
A mis padres, Lilia y Ernesto, por su apoyo incondicional y motivación a
continuar con mi preparación académica y profesional.
A mi hermano Eduardo, por sus consejos y puntos de vista de la vida así
como de la Ingeniería Civil.
A mi novia Odra Rocio, por su paciencia, comprensión y apoyo en seguir y
terminar mi tesis.
En memoria de mis abuelos Emilia Barcenás de Casas, Raúl Casas Villalobos
y Guadalupe Garza Vda. de Leal, Ernesto Leal Gomez; que en paz descansen.
A mis tíos, primos y familiares, que en su momento se preocuparon por el
avance en mi proyecto de tesis.
A todos los que confiaron en mí, y a los que no confiaron por que de estos
últimos obtuve fuerzas para acabar.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi asesor, el Dr. Francisco S. Yeomans Reyna, por su valioso respaldo, aliento y consejos para mi preparación académica, más que una relación entre alumno y asesor, fue una relación de amigos. También deseo dar gracias a todos mis maestros de la maestría, ya que sin ellos no hubiera llegado hasta este momento.

Gracias al Depto. de Becas del I.T.E.S.M., por su apoyo financiero para la realización de mi Maestría.

Al Ing. Isidoro Castro Diaz y Sra. Araceli Quintana de Castro, por su motivación y apoyo para la culminación de mi proyecto.

Agradezco al laboratorio de Concretos Monterrey, por la realización de las pruebas, al Ing. Jesus Angel Alatorre, del Area Tecnica; así como de los compañeros de esta empresa que en su momento me dieron sus puntos de vista.

Al Sr. Agustin Villareal Elizondo, al Ing. Isaac Villarreal Budnik, y al Lic. Benjamin Gamez Peña, de Ladrillera Mecanizada, por su apoyo.

Al Arq. Guillermo Wah, Director de la Carrera de Arquitectura de la U.A.N.L., por su apoyo y motivación para continuar.

Al Arq. Jaime Suarez y al Lic. Raúl Chapa, por constante interes en la terminación de mi proyecto.

Para la Arq. Monica Hernandez, por su valiosa orientación en mi proyecto.

Para el Sr. Hugo Villarreal, por su interes en mi desarrollo profesional, el cual lo ha seguido desde mi preparatoria en el sistema I.T.E.S.M., en 1984.

Gracias a todos mis familiares y amigos, que me impulsaban a seguir adelante, con palabras de aliento y motivación.

A todos mis amigos, los cuales en su momento, me alentaron a terminar y seguir adelante en mi carrera profesional.

Por último, deseo dejar un saludo a todos aquellos que no conozco, pero llegare a conocer (a mis hijos y nietos), y decirles que todo se puede lograr con un espíritu emprendedor y siguiendo el ejemplo de la gota, la cual es capaz de perforar la piedra más dura, adelante, y motivarlos a tratar de superarme en lo profesional y académico; por último a estas personas les menciono la frase de John A. Shedd, "*A ship in harbor is safe, but that is not what ships are built for.*"

El día pasara te levantes... o no.

**Nadie puede escapar de la
responsabilidad del mañana
eludiéndola hoy.**

**La diferencia entre lo ordinario
y lo extraordinario
es un pequeño esfuerzo.**

**Si deseas formar parte de la fila
más pequeña del mundo,
colócate entre aquellos
que creen que se les paga
más de lo merecido.**

**Algunas personas triunfan
porque ese es su destino,
pero la mayoría de quienes triunfan;
deciden lograrlo.**

**Prepárate para lograr tu objetivo
ya que es un tormento experimentar
emociones y deseos que exceden
nuestra capacidad.
Es como escuchar a otras personas
en un idioma que no conocemos.**

**Frecuentemente encontramos
grandes oportunidades,
pero las vemos como
problemas sin solución.**

**Todo fracaso, adversidad o aflicción
conlleva la semilla que permitirá
lograr un beneficio
equivalente o mayor.**

**Comenzar de nuevo no es fácil,
pero es necesario superarse constantemente,
solo así vencerás los nuevos retos
con mayor firmeza.**

**No busques el camino
que deba conducirte,
busca el sendero que permita
dejar tu huella.**

**Mi mayor interés esta en el futuro,
porque ahí pasare
el resto de mi vida.....**

**Con pétalos de rosa
jamás edificaras nada.**

**No hay modo más noble de vencer
que morir luchando.**

**Quando hablas
solo dices lo que ya sabes;
cuando escuchas
adquieres el conocimiento
de los demás.**

***Ernesto Raúl Leal Casas*
197249**

INDICE DE TEMAS
TEMA

PAGINA

RESUMEN

XXIII

CAPITULO 1.0.- INTRODUCCIÓN

1

1.1.- INTRODUCCIÓN

1

1.2.- ANTECEDENTES

2

1.2.1.- ESTUDIOS REALIZADOS

3

1.3.- OBJETIVOS DEL PROYECTO

5

1.3.1.- OBJETIVOS GENERALES

5

1.3.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS

6

CAPITULO 2.0.- REVISION BIBLIOGRAFICA

8

2.1.- INTRODUCCIÓN

8

2.2.- CONCEPTOS GENERALES

9

2.3.- CEMENTO

12

2.3.1.- CEMENTO TIPO I

15

2.3.2.- CEMENTO TIPO II

15

2.3.3.- CEMENTO TIPO III

16

2.3.4.- CEMENTO TIPO IV

16

2.3.5.- CEMENTO TIPO V

16

2.4.- AGREGADOS

17

2.4.1.- AGREGADOS LIGEROS

18

2.4.2.- AGREGADOS NATURALES

19

2.4.3.- AGREGADOS ARTIFICIALES

19

2.5.- AGUA DE MEZCLADO PARA EL CONCRETO

20

2.6.- CONCRETO DE AGREGADO LIGERO

21

CAPITULO 3.0.- DISEÑO DEL EXPERIMENTO

25

3.1.- INTRODUCCIÓN

25

3.2.- ANALISIS PREVIOS

26

3.3.- DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

29

3.3.1.- MEZCLADO DEL CONCRETO

29

3.3.1.1.- MEZCLADO MECANICO

29

3.3.1.1.1.- PREPARACIÓN DE LA

REVOLVEDORA

30

3.3.1.2.- MEZCLADO A MANO

31

3.3.2.- COMPACTACIÓN

31

3.3.3.- ACABADO

33

3.3.4.- CURADO

33

3.4.- CONSIDERACIONES EN EL EXPERIMENTO

33

CAPITULO 4.0.- RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

36

4.1.- INTRODUCCIÓN

36

4.2.- CONSIDERACIONES

37

4.3.- RESULTADOS

39

4.4.- ANALISIS ECONOMICO

42

4.4.1.- INTRODUCCIÓN

42

4.4.2.- CONSIDERACIONES

43

4.5.- DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO

EFECTUADO CON CONCRETO NORMAL Y CONCRETO LIGERO

49

CAPITULO 5.0.- CONCLUSIONES

61

5.1.- INTRODUCCIÓN

61

5.2.- COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

62

5.3.- CONSIDERACIONES A FUTURO

65

5.4.- CONCLUSIÓN PERSONAL

65

ANEXOS

67

BIBLIOGRAFIA

170

INDICE DE TABLAS

TEMA	PAGINA
TABLA 2.1.- CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS	14
TABLA 3.1.- RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO NO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTANDAR	26
TABLA 3.2.- FACTOR DE MODIFICACIÓN PARA LA DESVIACIÓN ESTANDAR CUANDO SE DISPONE DE MENOS DE 30 PRUEBAS	27
TABLA 3.3.- RELACIÓN ENTRE EL TAMAÑO DEL AGREGADO Y EL PORCIENTO DE AIRE	35
TABLA 3.4.- RESISTENCIA DEL CILINDRO CONFORME EL CONTENIDO DE CEMENTO	35
TABLA 4.1.- DOSIFICACIÓN PARA CONCRETO LIGERO	42
TABLA 4.2.- DOSIFICACIÓN PARA CONCRETO NORMAL	43
TABLA 4.3.- RESULTADO DE COMPRESIÓN CON AGREGADO LIGERO A 3 DÍAS	45
TABLA 4.4.- RESULTADOS DE COMPRESIÓN CON AGREGADO LIGERO A 7 DÍAS	46
TABLA 4.5.- RESULTADOS DE COMPRESIÓN CON AGREGADO LIGERO A 28 DÍAS	47
TABLA 4.6.- RESULTADOS DE COMPRESIÓN CON AGREGADO NORMAL A 28 DÍAS	48
TABLA 4.7.- RESUMEN DE COSTO Y DIMENSIONES DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	52
TABLA 4.8.- RESUMEN DE COSTO TOTAL Y COSTO POR METRO CUADRADO PARA DIFERENTES RESISTENCIAS	58
TABLA 4.9.- PRIMER NIVEL PARA CONCRETO NORMAL	52
TABLA 4.10.- SEGUNDO NIVEL PARA CONCRETO NORMAL	53
TABLA 4.11.- TERCER NIVEL PARA CONCRETO NORMAL	54
TABLA 4.12.- CUARTO NIVEL PARA CONCRETO NORMAL	55
TABLA 4.13.- QUINTO NIVEL PARA CONCRETO NORMAL	56
TABLA 4.14.- PRIMER NIVEL PARA CONCRETO LIGERO	57
TABLA 4.15.- SEGUNDO NIVEL PARA CONCRETO LIGERO	58
TABLA 4.16.- TERCER NIVEL PARA CONCRETO LIGERO	59
TABLA 4.17.- CUARTO NIVEL PARA CONCRETO LIGERO	60
TABLA 4.18.- QUINTO NIVEL PARA CONCRETO LIGERO	61

INDICE DE FOTOGRAFIAS

TEMA	PAGINA
FOTO 3.1.- ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO LIGERO	34
FOTO 4.1.- PRUEBA DEL REVENIMIENTO	38
FOTO 4.2.- DENSIDAD DEL AGREGADO	41

INDICE DE FIGURAS

TEMA	PAGINA
FIGURA 4.1.- PLANTA DEL EDIFICIO A ANALIZAR EN EL PROYECTO DE TESIS	50
FIGURA 4.2.- ELEVACIÓN DE UN TABLERO INTERIOR	51
FIGURA 4.3.- COSTO TOTAL DE CONCRETO NORMAL Y CONCRETO LIGERO	53
FIGURA 4.4.- COSTO POR METRO CUADRADO DE CONCRETO NORMAL Y CONCRETO LIGERO	54
FIGURA 4.5.- CARGA EN CIMENTACIÓN DE CONCRETO NORMAL Y CONCRETO LIGERO	55
FIGURA 4.6.- ANCHO DE COLUMNAS PARA CONCRETO NORMAL Y CONCRETO LIGERO	56
FIGURA 4.7.- ANCHO DE ZAPATAS PARA CONCRETO NORMAL Y CONCRETO LIGERO	57
FIGURA 4.8.- COSTO TOTAL DE CONCRETO LIGERO Y CONCRETO NORMAL DE DIFERENTES RESISTENCIAS	59
FIGURA 4.9.- COMPARATIVA DE COSTOS POR METRO CUADRADO DE CONCRET LIGERO Y CONCRETO NORMAL PARA DIFERENTES RESISTENCIAS	60

RESUMEN

El hecho de ser pesado no constituye una virtud para un material de construcción, debió de ser la primera lección que aprendieron los antiguos constructores, tal como lo muestran los muros que rodean las modernas residencias en Coyoacán, en la Cd. de México, estas piedras vesiculares o expandidas son no solo ligeras, sino que también tienen una textura superficial placentera a la vista.

Nuestra experiencia en el uso de agregados naturales de baja densidad para hacer concreto se remonta, al menos, a 230 años A.C., cuando los romanos usaban agregados de piedra pómez para hacer cal y concreto con aglutinantes puzolánico para construir lo que, en ese tiempo, era un puerto importante.

En el presente trabajo se efectúan pruebas de ensaye de especímenes a compresión para concreto normal y concreto ligero, se realiza un diseño estructural de un edificio tipo, este diseño se efectúa para realizar una comparativa en costos y costo por metro cuadrado por nivel de ambos concretos; así como la reducción de los miembros estructurales de ambos concretos. De los resultados anteriores se concluye que es factible utilizar concreto aligerado con pumita después del segundo nivel.

1. INTRODUCCIÓN

El presente capítulo describe los antecedentes históricos relacionados con el desarrollo del concreto ligero, la clasificación por parte del A.C.I., así como los estudios realizados hasta la fecha del presente trabajo de investigación. Se plantean los objetivos generales y específicos del proyecto de tesis.

1.1.- INTRODUCCIÓN

En las construcciones generales de concreto, el peso propio representa una gran proporción de la carga total sobre la estructura y existen considerables ventajas al reducir la densidad del concreto, siendo la principal de dichas reducciones el empleo de elementos estructurales de menor tamaño y la correspondiente reducción del tamaño de los cimientos. Además, con concretos ligeros, la cimbra soporta menor presión que la que tendría que resistir con concreto normal y, por otro lado, el peso total de los materiales que se manejan se reduce con un consiguiente incremento en la productividad, sin mencionar el ahorro en el costo de cimbra y materiales. Asimismo, el concreto ligero proporciona mejor aislamiento térmico y acústico que el concreto normal, en el primero se puede medir de dos maneras; la primera como el número de horas necesario para la transmisión de una kilocaloría, a través de un metro cuadrado de material, cuando entre las superficies que limitan a éste existe una diferencia de temperaturas de un grado centígrado, la segunda manera, consiste en el número de grados centígrados de diferencia de temperatura entre las superficies, cuando fluye una kilocaloría a través de un metro cuadrado, en una hora. Para el aspecto acústico, el factor de reducción es la relación de la energía del sonido en su origen a la energía del mismo en cualquier otro lugar, y se expresa en decibeles (dB). En lo referente al rango de densidades del concreto ligero es de 300 a 1,850 Kg/m³, mientras que la densidad del concreto normal se encuentra alrededor de 2,400 Kg/m³.

El Comité del A.C.I. 211, aporta consideraciones para el diseño de concreto con agregado ligero y además clasifica al concreto con agregado ligero de la siguiente manera:

- a).- El fabricado con agregado ligero conforme a la norma A.S.T.M. C330. (Ver Apéndice I)
- b).- El que tiene una fuerza a la compresión dentro de los 28 días del orden de 175 Kg/cm^2 de acuerdo a la norma A.S.T.M. C330.
- c).- El que tiene un peso volumétrico que no exceda de 1840 Kg./m^3 .

La fabricación de concreto normal (el cual contiene piedra triturada o de río) tiene como limite un peso volumétrico de 2400 Kg./m^3 , sin embargo, el peso volumétrico es el factor que se utiliza para él calculo de cargas muertas. El tener un concreto con un peso volumétrico bajo y una resistencia alta, es de gran ayuda al diseñador de edificios altos, debido a que tiene la ventaja de proyectar grandes claros con un concreto de peso ligero y además de altas características térmicas y acústicas.

1.2.- ANTECEDENTES

El uso del concreto ligero se remonta tiempo atrás, se sabe que los Romanos usaron frecuentemente una forma de concreto ligero en sus construcciones; sin embargo en Europa se inicio con la fabricación del concreto aireado, el cual se fabrica con un inclusor de aire y curándolo en autoclave, otro tipo de concreto ligero es el fabricado con escoria de alto horno, este agregado es de origen industrial. El desarrollo de la presente tesis se basara en concreto con agregado ligero de origen volcánico, en donde el agregado a sido sometido a altas temperaturas y enfriado rápidamente lo cual genera una piedra porosa y de peso ligero, la cual tiene una absorción muy alta en comparación con agregado normal. A pesar de su gran

capacidad de absorción de agua, los concretos ligeros no se comportan menos mal que los normales en lo referente a su impermeabilidad. La resistencia de un concreto a la penetración del agua depende principalmente de la calidad del mortero y menos de la porosidad y estanqueidad de los agregados.

1.2.1.- ESTUDIOS REALIZADOS

El concreto ligero se utilizó ya en la Antigüedad, por ejemplo, los romanos emplearon para realizar la cúpula del Panteón en Roma, construido en el siglo II antes de Jesucristo (diámetro de 44 mts.), un concreto in situ, con piedra pómez como agregado. Pero el concreto ligero armado y el pretensado no se utilizaron para construcciones portantes hasta tiempos recientes, cuando se consiguió fabricar artificialmente, para este fin agregados ligeros adecuados [3].

Hacia el año de 1917, S. J. Hayde desarrolló en América un proceso mediante un horno tubular giratorio para expandir pizarras y arcillas y obtener agregados ligeros resistentes con granos de poca densidad. Con este nuevo tipo de agregados se consiguió obtener por primera vez concretos ligeros que, a igualdad de resistencia, presentaban una densidad claramente menor que la del concreto normal. Como primera aplicación se probó este material en la fabricación de cascos de buques en Estados Unidos, durante la Primera Guerra Mundial. El concreto utilizado, con agregado de arcilla esquistosa expandida, alcanzó una resistencia de 350 Kg/cm^2 con una densidad menor a 1.8 Kg/dm^3 (1800 Kg/m^3). El Hotel Park Plaza de St. Louis, el edificio de la Southwestern Bell Telephone, en Kansas City, y la calzada superior del puente colgante de la bahía de San Francisco Oakland son ejemplos de la primitiva utilización del concreto ligero armado, en los años veinte y treinta de este siglo. Después de la Segunda Guerra Mundial se aceleró el desarrollo del concreto ligero mediante investigaciones que comprendían un gran número de agregados ligeros de tipos diversos. En los años cincuenta se construyeron en Estados Unidos muchos

edificios de pisos total o parcialmente de concreto ligero, debido al poco peso propio. Como ejemplos se puede citar el Prudential Life Building de 42 pisos, en Chicago, cuyas plantas son de concreto ligero y el Hotel Statler Hilton, en Dallas, de 18 plantas, en el que el armazón y las losas de las plantas son también de concreto ligero.

Frente al desarrollo alcanzado en Estados Unidos y en Canadá, la producción y el uso del concreto ligero en otros países se ha ido imponiendo con notable retraso. La producción de concreto ligero de gran resistencia ya era posible en Europa durante la Segunda Guerra Mundial. Por ejemplo, para ahorrar acero, bajo la dirección de la empresa Dyckerhoff & Widmann, se construyeron canoas y barcos con estructura laminar de concreto ligero, cuya densidad era de 1.7 Kg/dm^3 (1700 Kg/m^3) y cuya resistencia a la compresión estaba entre 400 y 500 Kg/cm^2 . A pesar de ello, a excepción de Norteamérica, el concreto ligero de gran resistencia con estructura cerrada se adoptó lentamente en la construcción, hacia la mitad de los años sesenta. Hoy en día, el concreto ligero ocupa ya un lugar importante también en Europa. Sirve, no como sustituto de otros materiales, sino que desde el punto de vista económico y constructivo se presenta como un material con grandes ventajas en muchos campos de utilización.

El concreto ligero es, hoy en día, un material de construcción de firme aceptación en todo el mundo, y aunque su uso, especialmente con unidades de concreto reforzado, presenta ciertos problemas todavía, estos están siendo solucionados casi en su totalidad. Los problemas que ahora se presentan los motivan las medidas que imponen las autoridades de control tendientes a diferenciar el concreto común del concreto ligero, generalmente en detrimento de este último. La controversia, pues, ya no estriba en si estos materiales pueden ser utilizados con seguridad en las construcciones como miembros que resisten cargas, especialmente en trabajos de concreto reforzado o preesforzado, en vista de que su bondad para estos propósitos ha sido completamente aceptada.

1.3.- OBJETIVOS DEL PROYECTO

A continuación se especificaran los objetivos generales y específicos del presente estudio, en la cual se tratara de realizar pruebas de Concreto Normal vs. Ligero, lo cual se realizara mediante pruebas de Laboratorio, las cuales comprenden el ensaye de cilindros de 30 cm. de alto por 15 cm. de diametro, ademas de la prueba de revenimiento, la edad de prueba de dichos cilindros sera a los 28 días de acuerdo a la N.O.M. C-155 (Ver Apendice).

1.3.1.- OBJETIVOS GENERALES

Para la investigación, se pretende realizar una revisión acerca de normas, pruebas y experimentos realizados con concreto con agregado ligero en lo particular con agregado volcánico. Se realizara un proporcionamiento con concreto con agregado normal, siendo este agregado normal el que proviene de la caliza, el cual es el agregado que se utiliza en la Ciudad de Monterrey para la elaboración de concreto, este proporcionamiento será para una resistencia a la compresión de 200 Kg/cm² a los 28 días. Debido a que la resistencia a la compresión la podemos definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos sobre centímetro cuadrado (Kg/cm²) a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo de $f'c$. Los ensayes a la compresión se efectuara sobre cilindros que miden 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura. La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puentes, de edificios y otras estructuras [2].

Se elaborara un proporcionamiento de acuerdo a una resistencia de 200 Kg/cm², con agregado ligero, el cual es de origen volcánico, se fabricaran cilindros para comprobar su resistencia a la compresión a los 28 días, se verificaran los datos acerca del revenimiento y peso volumétrico del concreto, para realizar una comparación entre la resistencia del concreto y su peso volumétrico.

Se realizara un análisis de costos en cuanto al concreto con agregado normal vs. ligero, este análisis de costos involucra a un edificio de oficinas, para determinar el costo del concreto así como las dimensiones de la cimentación y de los miembros que conforman la estructura.

1.3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El uso del agregado ligero para la producción del concreto es una posibilidad para tener una construcción de bajo peso, ligero en el transporte de los materiales y térmica, por tal motivo se propondrá una dosificación para tener una resistencia a la compresión de 200 Kg/cm² y con un peso volumétrico bajo. En forma general los objetivos que se persiguen en el proyecto son los siguientes:

- 1.- Realizar una investigación bibliográfica acerca del tema.
- 2.- Determinar las Normas que rigen la elaboración del Concreto Ligero.
- 3.- Realizar un proporcionamiento de concreto con agregado normal, para una resistencia a la compresión de 200 Kg/cm², y ensayar cilindros a una edad de 3,7 y 28 días.
- 4.- Elaborar un proporcionamiento para un concreto con agregado ligero, para una resistencia a la compresión de 200 Kg/cm², y ensayar cilindros a la edad de 1,3, 7 y 28 días.

- 5.- Realizar un proporcionamiento para concreto ligero por volumen y verificar la diferencia con el punto anterior.
- 6.- Obtener una relación entre la resistencia del concreto y el peso volumétrico del mismo.
- 7.- Elaborar las cartas de calidad de acuerdo al Comité del A.C.I. 214.
- 8.- Realizar un análisis de costos para saber si es conveniente el uso de concreto con agregado ligero en la construcción, y verificar cuantos pisos son necesarios en una estructura para que el ahorro sea apreciable, además de los cambios de dimensiones de la cimentación para concreto con agregado ligero vs. concreto con agregado normal.
- 9.- Despertar el interés por el concreto con agregado ligero en el ámbito de la Ingeniería Civil, por medio del presente estudio y tratando de difundirlo en el medio de la Construcción, debido a que es un tema con poco desarrollo.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En el presente capítulo analizaremos los componentes que forman el Concreto Ligero utilizando piedra pomez, así como otros tipos de agregados ligeros; se describirá cada componente que forma el Concreto, los cuales son Cemento, Agregados y Agua.

2.1.- INTRODUCCIÓN

El hecho de que el ser pesado no constituye una virtud para un material de construcción debe haber sido la primera lección que aprendieron los antiguos constructores. Desde entonces y durante muchos años hemos identificado muchas ventajas de los materiales porosos o vesiculares cuando se usan para construcción.

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada) para formar una masa semejante a una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua. 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 10 mm. (1.0 cm.); los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 y pueden variar hasta 152 mm (15.20 cm.). El tamaño máximo del agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm. (1.90 cm.) o el de 25 mm (2.50 cm.). La pasta está compuesta de cemento portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente la pasta constituye del 25 al 40 por ciento del volumen total del concreto [2].

El concreto ligero, fue conocido durante muchos años como un concreto cuya densidad no fuese mayor de 1600 Kg/m^3 , sin embargo, con la introducción de miembros estructurales de concreto reforzado con agregados de peso ligero, la densidad limite tuvo que ser revisada, ya que algunas mezclas de concreto hechas para ese propósito, a menudo daban concretos de densidad de 1840 Kg/m^3 o mayores [3].

Como se establece en el capitulo anterior, el Comité del A.C.I. 211, define al concreto con agregado ligero estructural de la siguiente manera [6]:

- a).- El fabricado con agregado ligero conforme a la norma A.S.T.M. C330.
- b).- El que tiene una fuerza a la compresión dentro de los 28 días del orden de 175 Kg/cm^2 de acuerdo a la norma A.S.T.M. C330.
- c).- El que tiene un peso volumétrico que no exceda de 1840 Kg/m^3 .

Mientras el Comité del A.C.I. 213 define el concreto con agregado ligero estructural de la siguiente forma [7]:

"El concreto con agregado ligero estructural se define como un concreto con una resistencia a la compresión a los 28 días en exceso de 2500 psi. (17.24 Mpa; 175.73 Kg/cm^2) y un peso volumétrico que no exceda de 115 pcf. (1850 Kg/m^3)."

En el presente capitulo se hará una revisión bibliográfica acerca de concreto con agregado ligero y si las Normas que rigen al concreto con agregado normal, son aplicables al concreto con agregado ligero.

2.2.- CONCEPTOS GENERALES

Antes de definir cada uno de los componentes que forman el concreto, se deben definir ciertos términos y su significado, los cuales son de uso común en la practica profesional de la Ingeniería Civil.

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla muy húmeda de concreto se puede moldear en el

sentido de que puede colocarse en una cimbra, pero esto no entra en la definición de "plástico" - aquel material que es plegable y capaz de ser moldeado o formado como un terrón de arcilla para modelar. El revenimiento se utiliza como una medida de la consistencia del concreto, el molde para esta prueba es de forma troncocónica, de 30.00 cm. de altura. Se coloca sobre una superficie lisa, con la abertura más pequeña hacia arriba, y se llena de concreto en tres capas. Cada una de las capas se apisona 25 veces con una varilla de acero estándar de 16 mm. (5/8"; 1.60 cm.) de diámetro, redondeada por la punta, y la superficie se va nivelando por medio de movimientos laterales y en redondo de la varilla de apisonamiento. Durante toda la operación se debe mantener firme el molde sobre su base; esto se logra mediante abrazaderas o pedales fijados al molde. Inmediatamente después de llenarlo, el cono se levanta despacio y el concreto, que ya no tiene apoyo, se reviene – de aquí el nombre de la prueba -. La disminución de la altura del centro del concreto revenido se llama revenimiento y se mide con los 0.5 cm. más cercanos. Para reducir la influencia de las variaciones de fricción superficial en el revenimiento, al iniciar todas las pruebas se debe humedecer la parte interna del cono y la superficie de su base; antes de levantar el molde se debe limpiar el área que lo rodea de cualquier escurrimiento de concreto que haya podido caer durante la operación. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura. La facilidad de colocar, consolidar y acabar al concreto recién mezclado se denomina trabajabilidad, el concreto debe ser trabajable pero no se debe de segregar ni sangrar excesivamente. El sangrado es la migración del agua hacia la superficie superior del concreto recién mezclado provocada por el asentamiento de los materiales sólidos - cemento, arena y grava - dentro de la masa. El asentamiento es consecuencia del efecto combinado de la vibración y de la gravedad.

La vibración pone en movimiento a las partículas en el concreto recién mezclado, reduciendo la fricción entre ellas y dándole a la mezcla las cualidades móviles de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de una mezcla más dura que contenga una mayor proporción de agregado grueso y una menor proporción de agregado fino. Empleando un agregado bien graduado, entre mayor sea el tamaño máximo del agregado en el concreto, habrá que llenar con pasta un menor volumen y existirá una menor área superficial de agregado por cubrir con pasta, teniendo como consecuencia que una cantidad menor de agua y de cemento es necesaria. Con una consolidación adecuada las mezclas más duras y ásperas pueden ser empleadas, lo que tiene como resultado una mayor calidad y economía.

Si una mezcla de concreto es lo suficientemente trabajable para ser consolidada de manera adecuada por varillado manual, puede que no exista ninguna ventaja en vibrarla. De hecho, tales mezclas se pueden segregar al vibrarlas. Solo al emplear mezclas más duras y ásperas se adquieren todos los beneficios del vibrado. El vibrado mecánico tiene muchas ventajas. Los vibradores de alta frecuencia posibilitan la colocación económica de mezclas que son fáciles de consolidar a mano bajo ciertas condiciones.

El aumento de resistencia continuara con la edad mientras este presente algo de cemento sin hidratar, a condición que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80% y permanezca favorable la temperatura del concreto. Cuando la humedad relativa dentro del concreto cae aproximadamente al 80% o la temperatura del concreto desciende por debajo del punto de congelación, la hidratación y el aumento de resistencia virtualmente se detiene [2].

2.3.- CEMENTO

El cemento puede describirse como un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto. Esta definición comprende una gran variedad de materiales cementantes.

Para efectos de construcción, el significado del termino cemento se restringe a materiales aglutinantes utilizados con piedras, arena, ladrillos, bloques de construcción, etc. Los principales componentes de este tipo de cemento son compuestos de cal, de modo que en construcción e ingeniería civil se trabaja con cementos calcáreos. Los cementos que se utilizan en la fabricación de concreto tiene la propiedad de fraguar y endurecer con el agua, en virtud de que experimentan una reacción química con ella y, por lo tanto, se denominan cementos hidraulicos. Los cementos hidraulicos están compuestos principalmente por silicatos y aluminatos de cal [1]. El empleo de materiales cementantes es muy antiguo. Los egipcios ya utilizaban yeso calcinado impuro. Desde la construcción de los grandes obras publicas de la Antigua Roma, se conocian ya los aglomerantes hidraulicos formados principalmente por una mezcla de ladrillos molidos, cenizas y cal apagada. Los datos de su composición y procedimiento de mezcla, se perdieron al decaer la civilización romana y hasta principios del siglo pasado no se realizaron ensayos de investigación del mecanismo de fraguado de aquellos aglomerantes, este fue el primer concreto en la historia. Un mortero de cal no endurece bajo la acción del agua, por lo tanto, para construcciones sujetas a la acción del agua, los romanos mezclaban cal con ceniza volcánica o con tejas de arcilla quemada, finamente trituradas. La sílice activa y la alúmina que se encuentra en las cenizas y en las tejas se combinaba con la cal para producir lo que se conoce como cemento puzolánico, proveniente del nombre del pueblo de

Puzzioli, cerca del Vesubio, donde se encontró por primera vez ceniza volcánica. El nombre de cemento puzolánico se utiliza hasta nuestros días para describir cementos obtenidos simplemente de moler materiales naturales a temperatura normal. Algunas de las estructuras romanas en las cuales la mampostería se unía con morteros, tales como el "Coliseo" en Roma y el "Pont du Gard", cerca de Nimes, han sobrevivido hasta esta época, con su material cementante aún duro y firme. En las ruinas de Pompeya, a menudo el mortero se encuentra menos dañado por la intemperie que la piedra blanda.

En la Edad Media hubo una disminución general en la calidad y el uso del cemento, y no fue sino hasta el siglo XVIII cuando se observó un progreso en el conocimiento de los cementos. En 1756 John Smeaton fue comisionado para reconstruir el faro de Eddystone, en la costa de Cornwalles, Inglaterra, y descubrió que el mejor mortero se obtenía cuando se mezclaba "puzolana" con caliza que contenía una alta cantidad de material arcilloso. Al darse cuenta del importante papel de la arcilla, que hasta entonces no se consideraba conveniente, Smeaton fue el primero en conocer las propiedades químicas de la cal hidratada.

A partir de esto, se desarrollaron otros tipos de cementos hidráulicos, como el "cemento romano" que obtuvo James Parker por calcinación de nódulos de caliza arcillosa, que vinieron a culminar en la patente del "cemento Portland" que sacó en 1824 Joseph Aspdin, un constructor de Leeds. Este cemento se prepara calentando una mezcla de arcilla finamente triturada y caliza dura en un horno, hasta eliminar el CO_2 ; esta temperatura era mucho más baja que la necesaria para la formación de clinker. El prototipo del cemento moderno lo obtuvo en 1845 Isaac Johnson, quien quemó una mezcla de arcilla y caliza hasta la formación de clinker, con lo cual se produjo la reacción necesaria para la formación de un compuesto cementante.

El nombre de cemento Portland, concebido originalmente debido a la semejanza de color y calidad entre el cemento fraguado y la piedra de Portland - una caliza obtenida en una cantera de Dorset - se ha conservado a través del mundo hasta nuestros días para describir un cemento que se obtiene de la mezcla minuciosa de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina u óxido de fierro, quemándolos a una temperatura de formación de clinkers, y mezclado el clinker resultante. Esta es la definición de la British Standard, la cual estipula también que ningún otro material, aparte del yeso y del agua, puede adicionarse después de la calcinación [1].

La norma ASTM-C-150 "Especificación estándar para cemento portland" de la American Society for Testing and Materials (ASTM), estipula ocho tipos de cemento portland, los cuales se describen en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1.- Clasificación de los cementos

Tipo I	Normal.
Tipo IA	Normal, inclusor de aire.
Tipo II	De resistencia moderada a los sulfatos.
Tipo IIA	De resistencia moderada a los sulfatos, inclusor de aire.
Tipo III	De alta resistencia a edad temprana.
Tipo IIIA	De alta resistencia a edad temprana, inclusor de aire.

Tipo IV	De bajo calor de hidratación.
Tipo V	De resistencia elevada a los sulfatos.

2.3.1.- CEMENTO TIPO I

El cemento portland tipo I es un cemento de uso general, adecuado para ser empleado cuando las propiedades especiales de los demás tipos de cemento no sean necesarias. Se utiliza en concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos tales como el ataque de sulfatos existentes en el suelo o en el agua o en concretos que tengan un aumento cuestionable de temperatura, debido al calor generado durante la hidratación. Entre sus usos se incluyen pavimentos, pisos, edificios de concreto reforzado, puentes, estructuras para vías férreas, tanques y depósitos, tuberías, mamposterías, y otros productos de concreto prefabricado.

2.3.2.- CEMENTO TIPO II

El cemento portland tipo II se emplea donde sea necesario tomar precauciones contra el ataque moderado de sulfatos, como ocurre en las estructuras de drenaje, donde las concentraciones de sulfatos existentes en las aguas freáticas son mayores de lo normal, pero sin llegar a ser demasiado severas. El cemento tipo II generará normalmente menos calor a menor velocidad que el cemento tipo I. Su uso reducirá el aumento de temperatura, hecho especialmente importante al realizar colados de concreto en climas cálidos.

2.3.3.- CEMENTO TIPO III

El cemento portland tipo III proporciona resistencias elevadas a edades tempranas, normalmente a una semana o menos. Químicamente y físicamente es similar al tipo I, excepto que sus partículas han sido molidas más finamente.

Se emplea cuando las cimbras deben ser retiradas lo más pronto posible o cuando se tenga que poner rápidamente en servicio la estructura. En climas fríos su uso permite reducir el curado controlado. A pesar que se pueden usar mezclas más ricas de cemento tipo I para lograr incrementos de resistencia a edades tempranas, el cemento tipo III puede lograr esto mismo satisfactoriamente y con mayor economía.

2.3.4.- CEMENTO TIPO IV

El cemento portland tipo IV se emplea cuando se tenga que mantener en un valor mínimo la cantidad y velocidad de generación de calor provocada por la hidratación. Desarrolla resistencia a una velocidad muy inferior a la de otros tipos de cemento. El cemento tipo IV se destina para estructuras de concreto masivo, como presas de gravedad grandes, donde el aumento de temperatura resultante del calor generado en el transcurso del endurecimiento se tenga que conservar en el valor mínimo posible.

2.3.5.- CEMENTO TIPO V

El cemento portland tipo V se emplea exclusivamente en concretos expuestos a acciones severas de sulfatos, especialmente donde los suelos o las aguas freáticas contengan fuertes contenidos de sulfatos. Su resistencia es adquirida más lentamente que en el cemento tipo I. La elevada resistencia a los sulfatos del cemento tipo V se atribuye al bajo contenido de aluminato tricálcico (

C₃A). La resistencia a los sulfatos se incrementa si se incluye aire o se aumentan los contenidos de cemento (relaciones agua-cemento bajas). El cemento tipo V, al igual que los demás cementos portland, no es resistente al ataque de ácidos ni de otras sustancias fuertemente corrosivas.

2.4.-AGREGADOS

Los agregados finos y gruesos ocupan comúnmente de 60% a 75% del volumen del concreto (70% a 85% en peso), e influyen notablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, en las proporciones de la mezcla, y en la economía. Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5 mm. (0.5 cm.). Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5 mm. (0.5 cm.) y generalmente entre 9.5 mm. (0.95 cm.) y 38 mm. (3.8 cm.) La absorción y la humedad de los agregados se debe determinar, de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla. La estructura interna de una partícula de agregado, esta constituida de materia orgánica sólida y de vacíos que pueden o no contener agua [2].

Las condiciones de humedad de los agregados son los siguientes:

- 1.- Secado al horno.- Completamente absorbentes
- 2.- Secado al aire.- Secos en la superficie de la partícula pero conteniendo cierta humedad en el interior, siendo por lo tanto algo absorbentes.

3.- Saturados y superficialmente secos (SSS).- No absorben ni ceden agua a la mezcla de concreto.

4.- Húmedos.- Contienen un exceso de humedad en la superficie (agua libre).

2.4.1.- AGREGADOS LIGEROS

La característica principal del agregado ligero es su porosidad, que da como resultado una baja densidad relativa aparente. Algunos agregados ligeros son de origen natural, otros se fabrican.

De acuerdo al Comité del A.C.I. 213, existen tres tipos de clasificación de agregados ligeros, los cuales se describen en la Figura 2.1.

Los concretos de baja densidad son aquellos en los que el peso volumétrico no excede de 800 Kg/m^3 y su resistencia a la compresión se encuentra entre 0.69 (7.03 Kg/cm^2) y 6.89 Mpa (70.22 Kg/cm^2). Su principal uso es para propósitos de aislamiento.

Los concretos estructurales, son aquellos que contiene agregados como esquisto expandido, arcillas, pizarras, escoria y polvo de humo peletizado. La mínima resistencia a la compresión por definición, es de 2500 psi (17.24 Mpa ; 175.73 Kg/cm^2). Algunos agregados ligeros estructurales son capaces de producir concretos con resistencia a la compresión que exceda de 5000 psi (34.47 Mpa ; 351.47 Kg/cm^2) y, con un número de estos concretos, se pueden hacer resistencias considerablemente grandes de 6000 psi (41.36 Mpa ; 421.77 Kg/cm^2). Sin embargo los pesos de agregados ligeros estructurales son considerablemente grandes en comparación con los de baja densidad. Los valores de aislamiento térmico para un concreto ligero estructural, es substancialmente mejor que para un concreto de peso normal.

Los concretos de resistencia moderada, son los que se encuentran entre los de baja densidad y los estructurales, y algunas veces son llamados concretos de relleno. Su resistencia a la compresión se encuentra entre 1000 a 2500 psi (6.89 a 17.24 Mpa; 70.29 a 175.73 Kg/cm²) y su grado de aislamiento es intermedio [7].

2.4.2.- AGREGADOS NATURALES

Los principales agregados de esta clasificación son la diatomita, la piedra pómez, la escoria, las cenizas volcánicas y la tufa; con excepción de la diatomita, todas las demás son de origen volcánico. Debido a que sólo se encuentran en ciertas áreas, los agregados naturales no se utilizan en gran medida. La piedra pómez se emplea más extensamente que cualquiera de las demás.

La piedra pómez es un vidrio volcánico espumoso de color claro, con peso volumétrico de alrededor de 500 a 900 Kg/m³. Las variedades que no son demasiado débiles estructuralmente hacen un concreto satisfactorio con densidades de 700 a 1,400 Kg/m³.

La escoria, que es una roca vítrea vesicular, parecida a la ceniza industrial, hace un concreto de propiedades similares.

2.4.3.- AGREGADOS ARTIFICIALES

Los agregados artificiales se conocen comúnmente con diversos nombres comerciales, pero es mejor su clasificación con base en la materia prima empleada para su manufactura y el método de fabricación. En el primer grupo se incluyen los agregados producidos por aplicación de calor para provocar la expansión de arcillas, esquistos, pizarras, esquisto diatomáceo, perlita, obsidiana y vermiculita.

El segundo tipo se obtiene a través de un proceso especial de enfriamiento, mediante el cual se obtiene la expansión de la escoria de alto horno. Las cenizas industriales forman el tercer y último grupo [1].

La arcilla, el esquisto y la pizarra expandidas se obtienen calentando las materias primas adecuadas en un horno rotatorio hasta su fusión incipiente (a temperaturas de 1,000 a 1,200 °C), cuando tiene lugar la expansión del material gracias a la generación de gases que quedan atrapados en una masa pirolástica viscosa.

La perlita es una roca vítrea volcánica, que cuando se calienta rápidamente hasta el punto de fusión incipiente (de 900 a 1,100 °C) se expande debido a la evolución de vapor y forma un material celular con un peso volumétrico en el rango de 30 a 240 Kg/m³.

La vermiculita es un material de estructura laminada similar a la de la mica, cuando se calienta a una temperatura de 650 a 1,000 °C se expande varias veces su tamaño, hasta 30 veces, por exfoliación de sus delgadas láminas.

La escoria de alto horno se produce al hacer que una cantidad de agua entre en contacto en forma de rocío, con la escoria fundida al descargarla del horno.

2.5.- AGUA DE MEZCLADO PARA EL CONCRETO

Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto.

Del agua que se tenga dudas, se puede utilizar para fabricar concreto si los cubos de mortero (Norma ASTM C 109), producidos con ella alcanzan resistencias a los siete días iguales o al menos el 90% de especímenes testigo fabricados con agua potable o destilada. Además se deberán realizar los ensayos ASTM C 191 para asegurar que las impurezas en el agua no afecten el tiempo de fraguado del cemento acortándolo o prolongándolo.

El agua que contiene menos de 2,000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto. El agua que contenga más de 2,000 ppm de sólidos disueltos deberá ser ensayada para investigar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado [2].

2.6.- CONCRETO DE AGREGADO LIGERO

Uno de los estímulos más importantes para el desarrollo de nuevos tipos de agregados ligeros en la Gran Bretaña ha sido la merma del abastecimiento de escoria de hulla a la industria establecida de bloques de concreto. La fuente principal de escoria de hulla en el Reino Unido es el gran número de plantas generadoras de electricidad del "Central Electricity Generating Board". Al adoptar éste, instalaciones automáticas que queman carbón pulverizado en lugar de las plantas de calderas con cargadores a parrillas articuladas que consumían carbón granulado, la naturaleza del producto de desecho ha cambiado. En lugar de las escorias de hulla provenientes de las calderas, se tiene ahora a las cenizas sinterizadas de combustibles en polvo, agregado de peso ligero adecuado para la fabricación de bloques, que se produce en cantidades cada vez mayores.

La eliminación general de la escoria de hulla proveniente de calderas que fue el agregado de peso ligero más barato y más abundante en todo el país hasta ahora, dejará un vacío que no podrá ser llenado todavía en forma adecuada por la presente producción de agregados de peso ligero o concretos aireados. Tampoco parece posible que la producción de agregados ligeros y concreto aireado de autoclave de los años venideros logre hacerlo por algún tiempo, ya que las cantidades de estos productos de que dispondrá el mercado de los materiales de la construcción tendrán que ser compartidas entre las industrias del bloque de peso ligero y de la construcción de concreto reforzado.

En Alemania, se manufacturaran grandes cantidades de bloques de concreto de pómez y de losas precoladas de concreto reforzado, por relativamente pequeños y grandes fabricantes en forma bastante desorganizada. El sistema de tarifas para el transporte en ese país, generalmente favorece a las mercancías voluminosas que requieren grandes distancias de acarreo, lo cual sirvió también de estímulo para el uso de los productos hechos de concreto de pómez en una gran área. Estos sistemas han logrado precios lo suficientemente bajos como para desalentar cualquier inversión de capital a largo plazo con el objeto de desarrollar otros tipos alternativos de agregados de peso ligero a una escala industrial. Las reservas de pómez en el Vaso Neuwied-Andernach del valle del Rin no son inagotables, pero aún después de agotarse éstas, los estratos subyacentes de mayor espesor de tobas y lava, seguirán proporcionando una fuente barata de agregado de peso ligero que aunque un poco más pesado que el pómez podría seguirse empleando para la fabricación de bloques. Este tipo de rocas y otras similares encontradas en las montañas Eifel, denominadas comercialmente "Lavalitas", pueden representar una restricción para la utilización de los desechos industriales y materiales de otra índole en la producción de agregados.

En Francia, la mayor parte de la producción de agregado de peso ligero existe en torno a la industria del hierro de la provincia de Alsacia; las escorias espumosas se están produciendo por medio de la utilización de métodos y técnicas británicas. Un agregado natural de peso ligero que se obtiene de la lava se está explotando en el Massif Central, pero su uso no se ha generalizado todavía. En los estados Unidos de Norteamérica, el desarrollo en gran escala del concreto ligero fue más rápido que en ninguna otra parte, debido principalmente a que el enorme tamaño de ese país origina altos costos de transporte para mover materiales pesados a través de grandes distancias para llegar a los sitios de las obras; este factor aunado al de los costos de la mano de obra relativamente altos. Aunque no parece haber una escasez general de los agregados comunes (grava y arena), éstos se encuentran a veces a distancias considerables de los centros industriales y de población; es entonces cuando resulta económico el uso de agregados de peso ligero producidos en la localidad. Estos factores han conducido al desenvolvimiento y amplio uso de una gran variedad de agregados de peso ligero de diferentes calidades, que han tenido usos muy diversos, desde la construcción de barcos y traves preesforzados para puentes, hasta la fabricación de bloques y aplicaciones de colados in situ. En los últimos años de la década de los cincuentas, la producción de agregados de peso ligero en los Estados Unidos de Norteamérica había alcanzado unos 12 millones de metros cúbicos al año. Por otra parte, el establecimiento de una industria productora de concreto aireado se ha mantenido debajo de la de otros países debido, según parece a dificultades locales e infortunios, y no a razones técnicas esenciales. Es seguro que, con la eliminación gradual de esas dificultades, la producción y uso de este material, que se fabrica ya, en Canadá y en México, es decir al norte y al sur de los Estados Unidos, comience en gran escala.

CONCRETO DE BAJA DENSIDAD

CONCRETO DE RESISTENCIA MODERADA

CONCRETO ESTRUCTURAL

Escoria expandida

Esquisto expandido, arcilla o ceniza volante de reja sinterizado

Pizarra, arcilla y esquisto expandido de horno rotatorio

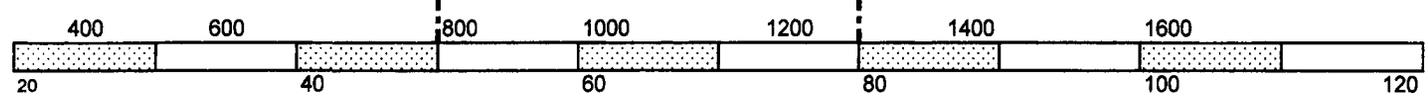
Escoria

Pumita

Perlita

Vermiculita

Kg/m³
pcf



3. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

El definir la cantidad de cemento de acuerdo a las Tablas de los comites del A.C.I., los cuidados que se deben de tener al realizar el mezclado ya sea mecanico o manual, la compactación; entre otras recomendaciones son las que se trataran en el presente apartado.

3.1.- INTRODUCCIÓN

El beneficio de obtener un concreto con un peso volumétrico bajo y una resistencia aceptable, es de gran utilidad; se tienen una reducción de las cargas muertas, mayor rapidez de construcción, menores costos de transporte y acarreo. El peso que gravita sobre la cimentación de un edificio es un factor importante en el diseño del mismo, especialmente hoy en día en que la tendencia es hacia la construcción de edificios cada vez más altos. Una característica menos clara, pero no menos importante del concreto ligero es la conductividad térmica relativamente baja que posee, propiedad que mejora conforme se reduce su densidad.

En los últimos años, más que en los anteriores, se ha dado mayor importancia a la necesidad de reducir el consumo de combustible de los sistemas de calefacción de los edificios, mientras se mantenga, o de ser posible se mejore, el ambiente a una temperatura confortable dentro de ellos. Lo anterior se podrá entender si se advierte que un muro solido de concreto aireado de 15 cm. (0.15 mts.) de espesor proporciona un aislamiento térmico aproximadamente cuatro veces mayor que el de una pared de ladrillo de 23 cm. (0.23 mts.) de espesor [3].

El presente capitulo, se desarrollara las consideraciones para la dosificación del concreto con agregado ligero. El diseñar un concreto con agregado volcánico y obtener una resistencia a la compresión ($f'c$) a los 28 días de 200 Kg/cm^2 , es el objetivo de el presente estudio, en este concreto se utiliza 350 Kg por metro cubico

de cemento, mientras que en un concreto con agregado normal (caliza) y con la misma resistencia son necesarios 230 Kg de cemento por metro cubico; la diferencia en peso por metro cubico de cemento es aproximadamente del 52.17%, esto es demasiado considerando el costo de los materiales de construcción, donde el principal son los agregados y el cemento, sin embargo, este costo se compensa con tener una construcción ligera, comfortable, acústica y de alta resistencia.

3.2.- ANÁLISIS PREVIOS

El primer paso a seguir en este proyecto es el determinar una dosificación adecuada para tener un concreto de características de bajo peso volumétrico y una resistencia considerable, por lo tanto podemos especificar la resistencia promedio que debe de tener el concreto de agregado ligero, en el Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado A.C.I.-318-89, en la tabla 5.3.2.2, se especifica una tabla, la cual se reproduce adelante como la Tabla 3.1, para diseñar una mezcla en base a la resistencia que deseamos obtener a los 28 días, en esta tabla se le debe de sumar cierta constante para tener una $f'c$ requerida y con esta ultima se prepara la dosificación.

Tabla No. 3.1.- Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estandar.

Resistencia a la compresión especificada, $f'c$, Kg/cm ²	Resistencia promedio a la compresión requerida, $f'cr$, Kg/cm ²
Menos de 210 Kg/cm ²	$f'c + 70$
De 210 a 350 Kg/cm ²	$f'c + 84$
Más de 350 Kg/cm ²	$f'c + 98$

Como se desea una resistencia de 200 Kg/cm^2 , a una edad de 28 días, por lo tanto se escoge el primer renglón, el cual indica una resistencia a la compresión especificada de menos de 210 Kg/cm^2 y su resistencia promedio a la compresión requerida será entonces de $f'c + 70$. Por lo tanto se realiza la dosificación para una mezcla de un $f'c + 70$, por lo que nuestro concreto es de un $f'cr$ igual a 270 Kg/cm^2 . Además de acuerdo al Diseño y Control de Mezclas de Concreto, se deben de tener 30 ensayos consecutivos, pero si solo se dispone de 15 a 29 ensayos, se puede obtener una desviación estandar ajustada, multiplicando la desviación estandar (S) por los 15 a 29 ensayos y por un factor de modificación que se puede tomar de la siguiente Tabla 3.2.

Tabla 3.2.- Factor de modificación para la desviación estandar cuando se dispone de menos de 30 pruebas.

Número de ensayos	Factor de modificación para la desviación estándar
Menos de 15	Usar la tabla 3.1
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 o más	1.00

De lo anterior se realizan 15 muestras de concreto con agregado ligero, de los cuales se obtienen ocho cilindros, el A.C.I.-318-89 especifica lo siguiente:

" Art. 5.6.1.4.- Una prueba de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de dos cilindros hechos de la misma muestra de concreto y probados a 28 días o a la edad de prueba designada para la determinación del $f'c$ ".

Mientras que la Norma Mexicana, NOM-C-159-1985, en el punto 6.3 el cual se refiere al número de especímenes, señala lo siguiente:

" La cantidad de especímenes y de mezclas de prueba depende de los objetivos establecidos y de la naturaleza del programa de pruebas. Comúnmente se proporcionan las indicaciones adecuadas para determinar estas cantidades en los métodos o en las especificaciones de prueba correspondiente. En general, se deben preparar dos o más especímenes para cada edad y para cada condición de prueba, a menos que otra cosa se especifique ".

En cuanto la edad de ensaye de las probetas, la Norma anterior en su punto 6.4, hace referencia a las edades de prueba:

" Las edades de prueba comúnmente empleadas son: 7 y 28 días para las pruebas de resistencia a la compresión, ó 14 y 28 días para la de resistencia a la flexión. Los especímenes elaborados con cemento tipo III, de rápida resistencia alta, se prueban frecuentemente a 1, 3, 7, 14 y 28 días de edad. Para las pruebas de resistencia a la compresión y a la flexión a edades posteriores, se emplean a menudo, 3, 6 y 12 meses. Para otros tipos de especímenes se pueden requerir otras edades ".

En el presente estudio, se tomo la decisión de realizar ensayes de cilindros a 1, 3, 7 y 28 días; lo anterior para observar el comportamiento del concreto con la edad, y además, se cumple con la norma, la cual indica que se deben de tener dos probetas para cada edad de prueba y las edades deben ser a 7 y 28 días para ensaye a compresión.

3.3.- DESARROLLO DEL EXPERIMENTO

En este apartado se definirá los preparativos que se deben de efectuar y realizar para la elaboración de Concreto Ligero y de Concreto Normal, por mencionar algunos puntos se encuentran el tiempo de mezclado de los materiales, el acabado y preparación de los moldes o probetas, el vibrado y el curado de estos últimos.

3.3.1.- MEZCLADO DEL CONCRETO

La forma de preparar la mezcla de concreto en el laboratorio, es realizarla por medio de una revolvedora adecuada o efectuada a mano, a continuación definiremos de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana las consideraciones que se deben de tomar para realizar la prueba.

3.3.1.1.- MEZCLADO MECÁNICO

De acuerdo a la Norma NOM-C-159-1985, antes de iniciar la operación de la revolvedora se añade el agregado grueso, parte del agua de mezclado y la solución de aditivos, cuando esta se requiera. Cuando sea factible, el aditivo puede ser disuelto en el agua de mezclado antes de agregarla. Se inicia la operación de la revolvedora y luego se añade el agregado fino, el cemento y el agua mientras gira la olla. Si no resulta practico, para algún tipo particular de revolvedora o para alguna prueba especial, el agregar los componentes descritos mientras se encuentra en operación, podrán ser adicionados a la revolvedora parada, después de haber permitido que gire unas cuantas revoluciones conteniendo el agregado grueso y parte del agua.

Se mezcla el concreto durante 3 minutos, después de haber cargado todos los ingredientes, seguido de un descanso de 3 minutos; se termina con otro periodo de mezclado de 2 minutos. Se tapa la boca de la revolvedora con un paño húmedo durante el periodo de descanso para evitar la evaporación. Se hace la compensación necesaria del mortero que retenga la revolvedora, para que la revoltura descargada al ser empleada, tenga las proporciones correctas. Para eliminar la segregación, se deposita el concreto mezclado por la revolvedora en una charola limpia y húmeda y se remezcla con pala o cucharón hasta obtener una apariencia uniforme. Es difícil recuperar todo el mortero de la revolvedora. Para compensar esta pérdida se debe emplear el procedimiento siguiente, a fin de conseguir las proporciones finales correctas en la revolvedora.

3.3.1.1.1.-PREPARACIÓN DE LA REVOLVEDORA

Inmediatamente antes de iniciar el mezclado de la revoltura de prueba, la revolvedora debe prepararse con una revoltura de mortero o concreto proporcionada aproximadamente igual a la de prueba. El mortero que se adhiere a la revolvedora después de la descarga evita la pérdida de mortero en la revoltura de prueba.

Se deben tener precauciones especiales para limpiar la revolvedora y demás equipo, a fin de asegurar que las sustancias químicas o aditivos que se hayan empleado en ciertas revolturas de concreto, no afecten a las revolturas subsecuentes.

3.3.1.2.- MEZCLADO A MANO

Se mezcla la revoltura en una charola o recipiente liso, limpio y húmedo con un cucharón empleando el procedimiento, siguiente, cuando los agregados han sido preparados, se mezcla el cemento, el aditivo insoluble en caso de requerirse y el agregado fino, hasta lograr una combinación uniforme.

Se añade el agregado grueso y se mezcla toda la revoltura hasta lograr su distribución uniforme.

Se agrega el agua y la solución del aditivo en caso de emplearse, y se mezcla hasta obtener un concreto homogéneo en apariencia y de la consistencia deseada.

Si se requiere un mezclado prolongado para ajustar la consistencia a base de incrementos de agua, se desecha esta revoltura y se elabora una nueva, en la cual no se interrumpa el mezclado.

3.3.2.- COMPACTACIÓN

La elaboración de especímenes adecuados requiere el empleo de diferentes métodos de compactación. Los métodos de compactación son el varillado y vibrado interno o externo. La selección del método de compactación, debe basarse en el revenimiento, a menos que el método de compactación establezca en las especificaciones estructurales. Se varillan los concretos con un revenimiento mayor de 8 cm. (0.08 mts.) Se varillan o se vibran los concretos con revenimiento entre 3 y 8 cm. (0.03 y 0.08 mts.) Se compacta con vibración los concretos con revenimiento menor de 3 cm. (0.03 mts.)

La duración requerida para la vibración, depende de la trabajabilidad del concreto, la efectividad del vibrado y las dimensiones del molde. Se efectúa la vibración solo el tiempo necesario para lograr una compactación apropiada del concreto la cual se

logra en el momento en que la superficie del concreto empieza a tener un aspecto relativamente liso. El exceso de vibración puede producir segregación. Se debe procurar que el tiempo de vibrado en moldes similares y en el mismo tipo de concreto, sea siempre el mismo. Se coloca dentro del molde todo el concreto de una capa, antes de iniciar la vibración de la misma. Se coloca la última capa en tal forma, que se evite rebasar el molde en más de 5 mm. (0.005 mts.) se enrasa la superficie ya sea durante la vibración, cuando ésta se aplique externamente o después cuando se aplique interiormente.

El vibrador debe guardar una relación del diámetro del cilindro al del mismo, igual a 4 o mayor; al compactar especímenes, el vibrador no debe descansar o tocar el fondo o los lados del molde, o golpear los elementos ahogados en el concreto, tales como los deformímetros. Se extrae cuidadosamente el vibrador, en tal forma que no se produzcan oquedades en el espécimen. Después de vibrar cada capa se golpean los lados del molde, para asegurar la eliminación de burbujas de aire atrapado..

Para cada capa, se introduce tres veces el vibrador en diferentes puntos, permitiendo que penetre la capa en proceso y aproximadamente 2 cm. (0.02 mts.) en la capa inmediata inferior.

Para el varillado se emplea una varilla de 16 mm. (0.016 mts.) de diámetro y de 30 cm. (0.3 mts.) de longitud, se coloca el concreto en tres capas de igual tamaño y se dan 25 golpes por cada capa, se permite que penetre la varilla aproximadamente 1 cm. (0.01 mts.) dentro de la capa inmediata inferior, cuando el espesor de esa capa sea menor de 10 cm. (0.1 mts.) y aproximadamente 2 cm. (0.02 mts.) cuando su espesor sea de 10 cm. (0.1 mts.) o más. Si la varilla produce oquedades, se golpean ligeramente las paredes del molde para eliminar hasta donde sea posible

3.3.3.- ACABADO

Después de la compactación con cualquiera de los métodos descritos anteriormente, a menos que el enrasado se haya efectuado durante la vibración, se enrasa la superficie con un enrasador rígido de madera o de metal. Se efectúa el acabado con el mínimo de pasadas necesarias para producir una superficie plana y uniforme, que este a nivel con las orillas del molde y que no tenga depresiones o promotorios mayores de 3.0 mm. (0.003 mts.)

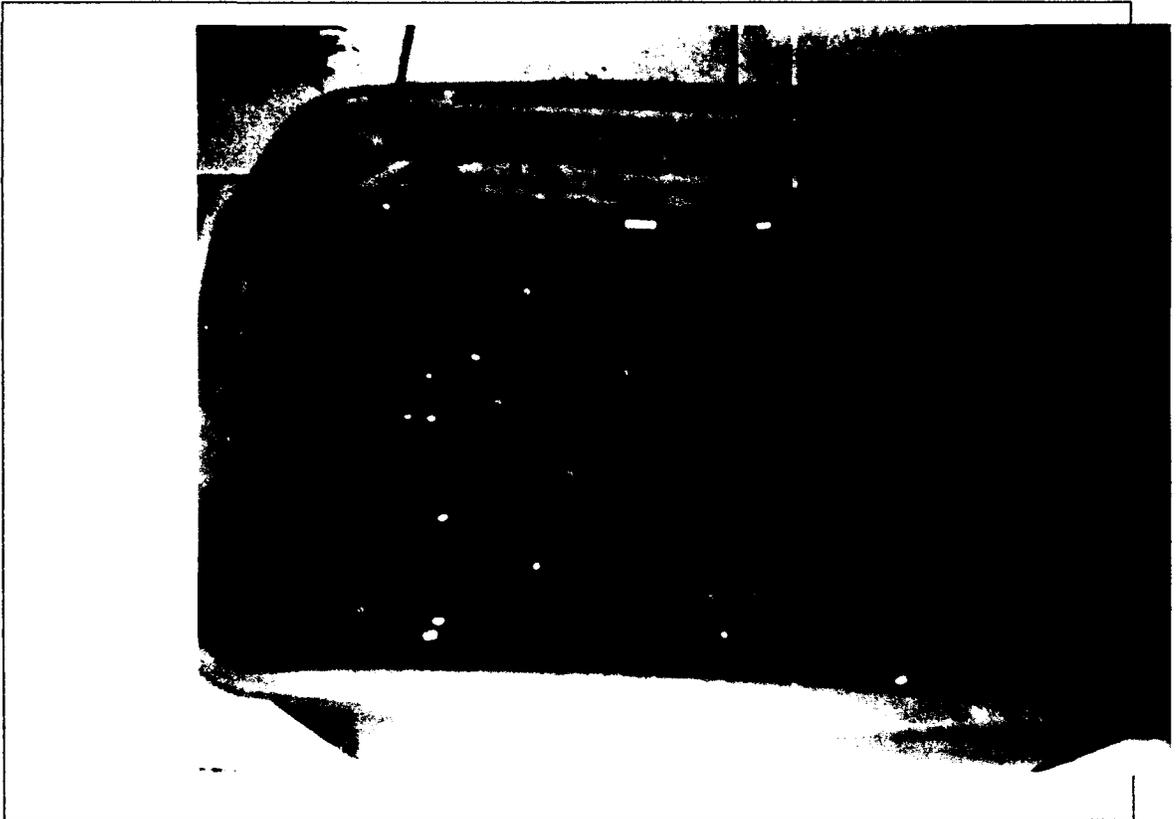
3.3.4.- CURADO

Para evitar la evaporación del agua de los especímenes de concreto sin fraguar, se deben cubrir inmediatamente después de terminados, de preferencia, con una placa no absorbente y no reactiva, o con una tela de plástico durable e impermeable.

3.4.- CONSIDERACIONES EN EL EXPERIMENTO

Se debe tener presente que una de las características entre un concreto normal y uno ligero es el agregado, la forma y la textura de los agregados es demasiado importante para la trabajabilidad y para la proporción; además de que debido a su estructura celular, es capaz de absorber mayor cantidad de agua en 24 horas que el agregado normal, en la Foto 3.1 podemos apreciar una cantidad de agregado grueso de pómez sumergido en agua para la prueba.

Foto 3.1.- Absorción de Agregado Grueso Ligero



La graduación de tamaño de los agregados ligeros los define el Comité del A.C.I. 213 generalmente de 3/4 in.(19mm., 0.019 mts.), 1/2 in.(13mm., 0.013 mts.) o 3/8 in.(10mm., 0.01 mts.). Para estos tamaños de agregado tenemos un contenido de aire en el concreto de acuerdo a la Tabla 3.3:

Tabla 3.3.- Relación entre el tamaño del agregado y el porcentaje de aire.

Máximo tamaño del agregado	Porcentaje de contenido de aire
3/4 in. (19 mm.)	4 a 8
3/8 in.(10 mm.)	5 a 9

En el Comité del A.C.I. 211, se tiene una tabla en donde se relaciona el contenido de cemento y la resistencia a la compresión del concreto con agregado ligero, la Tabla 3.4 relaciona lo anterior.

Tabla 3.4.- Resistencia del cilindro conforme el contenido de cemento.

Resistencia a la compresión	Contenido de cemento
Kg/cm²	Kg/m³
175	250 a 420
210	280 a 450
280	330 a 500
350	390 a 560

Como se trata de probar una resistencia a la compresión de 200 Kg/cm², a los 28 días, se puede ver de la Tabla 3.4, que para la resistencia mencionada al inicio del presente capítulo decidimos un contenido de cemento de 350 Kg/m³ para la dosificación.

4. RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

Trataremos de ver los resultados obtenidos con las probetas ensayadas en laboratorio de Concreto Normal contra Ligero así como su peso volumétrico.

4.1.- INTRODUCCIÓN

Las principales aplicaciones de un concreto con agregado ligero se divide en dos partes:

- 1).- Bloques precolados de concreto.
- 2).- Techos y muros colados *in situ* con fines de aislamiento.

Los requisitos primordiales para este tipo de concreto son tales que deberá tener una resistencia adecuada y una baja densidad (para obtener el mejor aislamiento térmico, aislamiento acústico, reducción en cargas muertas), estos factores quedan supeditados al tipo de agregado que se utiliza, a las proporciones de la mezcla, al grado de compactación y al procedimiento de curado.

El agregado que se utiliza en el presente trabajo, es de origen volcánico, el cual es sumamente ligero, su bajo peso se debe al hecho de ser lavas esponjosas, cuyas celdas se formaron por los gases que escaparon cuando se encontraban aún en estado líquido; de hecho se les llama en muchas ocasiones como "espumas sólidas".

En el presente capítulo se mostrarán las consideraciones que se tomaron para el diseño de la mezcla, así como los resultados de pruebas de compresión de cilindros elaborados de concreto con agregado ligero contra el fabricado con agregado normal, se observará la diferencia en cuanto a resistencia de un concreto dosificado por volumen y el fabricado por peso, además el análisis de costo de un nivel de un edificio elaborado de concreto con agregado ligero y de agregado normal.

4.2.- CONSIDERACIONES

Debido a que el concreto con agregados ligeros para estructuras debe estar completamente compactado, uno de los requisitos esenciales para seleccionar las proporciones de la mezcla es el de producir una mezcla trabajable que pueda ser fácilmente compactada en el lugar. La granulometría esencialmente gruesa del agregado fino, así como la forma y la textura de sus partículas tienden, sin embargo, a producir un concreto áspero, a menos que se hayan seleccionado previamente las proporciones adecuadas para la mezcla. Una proporción alta de agregado fino (5mm. y menor) es conveniente para mejorar la trabajabilidad de la mezcla y en la mayoría de los trabajos realizados por la "Building Research Station" la proporción total de los agregados es de 50% de finos y 50% de grueso[3].

La prueba de revenimiento, la cual indica el grado de fluidez de un concreto, aparentemente no es una manera adecuada para medir la trabajabilidad de este tipo de concreto, podremos ver más adelante que los revenimientos obtenidos en la muestras fue de 0 a 2.5 cm., como se aprecia en la Foto 4.1, donde se puede ver que el revenimiento de la mezcla de concreto es de cero centímetros. La mayor parte de las mezclas utilizadas por la "Building Research Station" mostraron revenimientos entre 0 y 25 mm. y aun así, muchas de estas mezclas fueron aptas para compactarse con facilidad[3].

Foto 4.1.- Prueba de Revenimiento



La resistencia al aplastamiento del concreto con agregados de peso ligero para estructuras depende aparentemente de las proporciones de la mezcla en una forma similar a como sucede en el concreto común. Así, incrementando el contenido de cemento, pero manteniendo la trabajabilidad de la mezcla obtendremos un concreto más resistente, en vista que dicha mezcla tendrá una relación agua/cemento más baja, lo anterior es para compensar la absorción del material y poder tener una resistencia de 200 Kg/cm² a los 28 días.

4.3.- RESULTADOS

Se discutirá a continuación los resultados obtenidos de las pruebas realizadas con agregado ligero y agregado normal.

Se puede observar en la Tabla 4.3 que la media de los resultados de compresión de 15 ensayos a una edad de 28 días, es de 155 Kg/cm^2 , los propósitos de pruebas de resistencia del concreto son para determinar el cumplimiento de una especificación ó resistencia y para medir la variabilidad del concreto, el resultado para este mismo concreto a una edad de 3 días, la media es de 108 Kg/cm^2 , como se puede apreciar en la Tabla 4.1; en la Tabla 4.2, tenemos una media de 130 Kg/cm^2 , el cual corresponde a la edad de 7 días. Se tiene un incremento del 20% en la resistencia de los especímenes de 3 a 7 días, mientras que de 7 a 28 días se tiene un 19.23%.

Para un concreto con agregado normal, se tiene una media de 239 Kg/cm^2 , como se puede ver en la Tabla 4.4, lo anterior para una edad de 28 días.

En concretos elaborados con agregado volcánico se tienen datos de resistencia a la compresión de 104 y 140 Kg/cm^2 a los 28 días, con un peso volumétrico de 1480 y 1430 Kg/m^3 respectivamente [3].

El Comité del A.C.I. 214, hace mención a la baja resistencia en los moldes de la siguiente manera:

"La magnitud de las variaciones en la resistencia de las muestras de prueba de concreto depende de lo adecuado del control de los materiales, de la fabricación del concreto y de la realización de las pruebas. Se puede encontrar el origen de las diferencias en la resistencia, en dos fuentes fundamentalmente distintas, (a) las variaciones en las propiedades de la mezcla de concreto y de sus ingredientes, y (b) las diferencias aparentes en la resistencia ocasionadas por las variaciones inherentes a la prueba."

Por otra parte el Reglamento de las Construcciones de Concreto A.C.I.-318-89, señala en su Art. 5.6.4.1 lo siguiente:

" Si cualquier prueba de resistencia de cilindros curados en el laboratorio es menor que el valor especificado de $f'c$ por más de 35 Kg/cm^2 , o si las pruebas de cilindros curados en el campo indican deficiencias de protección y de curado, deberán tomarse medidas para asegurarse de que no se pone en peligro la capacidad de carga de la estructura".

La misma dosificación, pero por medio de volúmenes, la cual se obtuvo realizando solo un ensayo, se obtiene una resistencia de 92 Kg/cm^2 , esto es debido a que por volumen los materiales se pueden compactar de diferente manera, mientras que la dosificación por peso es independiente de la compactación del material en el recipiente.

En cuanto al peso volumétrico se obtiene una media de 1258 Kg/m^3 , como se puede ver en la Tabla 4.3; en cuanto al Índice de L.C., el cual es la relación entre la resistencia a la compresión y el peso volumétrico, se tiene una media de 1213.84 m . Para un concreto normal, su resistencia es de 200 Kg/cm^2 y su peso volumétrico es de aproximadamente 2400 Kg/m^3 , el índice L.C. es de 833.33 m .

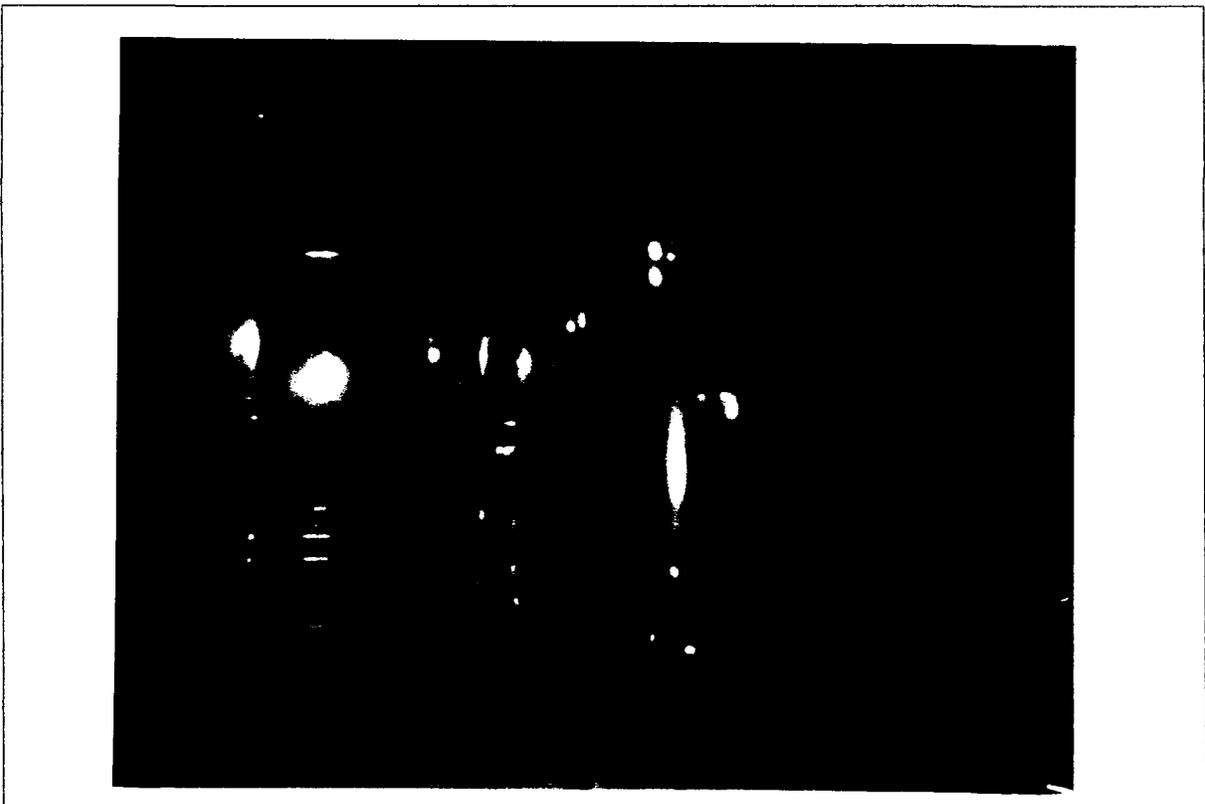
Los especímenes se empezaron a elaborar, colocando tres capas, con 25 golpes cada capa, los golpes se realizaban con una varilla de punta de bala de 16 mm . de diámetro, sin embargo, al momento de descimbrar la probeta del molde, se observaron oquedades en la probeta, por tal motivo se colocaron dos capas usando un vibrador.

En probetas elaboradas con tres capas con 25 golpes cada capa, se obtuvo una resistencia a la compresión a los 28 días de 50 Kg/cm^2 ; mientras que otra con dos capas y usando vibradores, se obtuvo una resistencia de 195 Kg/cm^2 , a la misma edad, se puede observar la diferencia de la utilización de vibradores, sin embargo,

se debe de tener cuidado al usar los vibradores debido a que una vibración prolongada puede ocasionar segregación mucho más rápido que con agregados de peso normal [1].

El agregado utilizado tiene una alta absorción de agua, para la grava del orden de 44.25% de absorción, y para la arena de 26.67%, por lo que el comite del A.C.I. 211 recomienda, primero, mezclar el agregado al menos con la mitad del agua de mezclado y, sólo entonces, añadir el cemento a la mezcladora. En la Foto 4.2 podemos observar como flota el agregado, por tal motivo debe tenerse 24 horas sumergido en agua.

Foto 4.2.- Densidad del Agregado



Este procedimiento impide que se formen bolas de cemento y que se pierda revenimiento.

La dosificación que se utilizó por metro cúbico es la siguiente:

Tabla 4.1.- Dosificación para Concreto Ligero

MATERIAL	PESO POR METRO CUBICO(Kg/m³)
AGUA	170.00
CEMENTO	350.00
GRAVA	290.00
ARENA	765.93

4.4.- ANALISIS ECONOMICO

Discutiremos los resultados del costo de utilizar Concreto Normal vs. Concreto Ligero y resumir cual es el mejor de acuerdo a lo económico.

4.4.1.- INTRODUCCIÓN

Hemos visto hasta este momento las consideraciones para el concreto ligero, las obras que se han realizado y el resultado de las pruebas realizadas, pero en este apartado compararemos los dos tipos de concreto con el monto de dinero de uno contra otro, así como la cantidad de cemento que se deben tomar en cuenta para lograr la resistencia de 200 Kg/cm².

4.4.2.- CONSIDERACIONES

Para el concreto con agregado ligero se tiene un peso volumetrico medio de 1258 Kg/m³, con una resistencia promedio de 155 Kg/cm² con una desviación estandar de 49.97Kg/cm², el cual tiene una cantidad de cemento de 350.00 Kg por metro cubico, para tener una resistencia de 200 Kg/cm², se tendrian que realizar con 400.00 Kg por metro cubico de cemento, lo que tendriamos un peso volumetrico de aproximadamente 1400 a 1500 Kg/m³.

Para el concreto normal tenemos una resistencia promedio de 239.00 Kg/cm², con una desviacion estandar de 25.64Kg/cm²; la dosificación del concreto normal es el siguiente:

Tabla 4.2.- Dosificación para Concreto Normal

MATERIAL	PESO POR METRO CUBICO(Kg/m ³)
AGUA	212.00
CEMENTO	239.00
GRAVA	854.00
ARENA	1089.00

Se coloca en concreto normal un aditivo fluidizante a una proporción de 4 c.c. por kilogramo de cemento en este caso seria 956 c.c.

El precio de concreto normal con f'c de 200 Kg/cm² es \$1039.00 más I.V.A., y con uso de bomba es de \$1280.00 más I.V.A.; contra \$1664.00 más I.V.A., con uso de bomba es de \$1905.00 más I.V.A. de concreto ligero de resistencia de 100 a 150 Kg/cm².

En la comparativa de costos podemos observar, En la Tabla 4.7 es el analisis para el nivel de azotea y la Tabla 4.8 para entepiso; de la Tabla 4.9 a 4.13 se efectua la

comparativa de cinco niveles de un edificio para concreto normal; y de la Tabla 4.14 a 4.18, se efectua el mismo analisis para concreto ligero.

Para un piso interior con una altura de 2.50 mts. se tiene un costo del acero de refuerzo de \$11,102.00 para el concreto normal, contra \$9,780.00 del concreto ligero.

En la Figura 4.1, se tiene la comparativa de costos entre un concreto normal y un concreto ligero, para un edificio de once niveles, y un tablero interior; en el primer nivel se tiene un costo de \$13,887.00 para concreto normal y de \$17,723.00 para ligero, lo cual es una diferencia del 27.62% con respecto al normal, en el quinto nivel se tiene \$15,313.00 para concreto normal y \$18,521.00 para el ligero lo cual representa un 21.89% del normal. El incremento en costo es debido al precio del concreto ligero, sin embargo, es una ventaja usarlo, debido a que la carga en columnas es menor en el ligero que en el normal, como se puede ver en la Figura 4.2, en donde se analiza la carga en columnas para cada nivel, teniendo 597,068.00 Kg para el concreto normal en el quinto nivel contra 443,709.00 Kg para el ligero, esto es aproximadamente un 25% menos. Tambien en cuanto al ancho de las columnas se observa una diferencia, la cual esta representada en la Figura 4.3, para el concreto normal y en el quinto nivel se tiene un ancho de 55 cm., mientras que para concreto ligero se tiene de 47 cm., para el onceavo piso se tiene un ancho de 83 cm. para el normal, contra 72 cm. para el ligero.

En cuanto a la cimentación, se tiene un area de 23.04 m² para concreto normal, y de 17.7241 m² para el ligero, esto es en el quinto nivel, para el onceavo piso se tiene un area de 55.0564 m², para el normal y de 40.96 m², para el ligero, esto se puede ver en la figura 4.4.

Peso Tina(Kg): 4.305 Volumen Tina(m3): 0.00708

Diametro cm.	Area cm2	Carga Kg	f'c Kg/cm2	Edad Dias	Promedio Resistencia	Peso Tina Kg	Peso Vol. Kg/m3	Promedio Peso Vol.	Indice m	Promedio Indice
15.0	176.71459	6220	35	3	46	12.7	1186	1186	296.85	390.39
15.0	176.71459	10140	57	3		12.7	1186		483.93	
15.0	176.71459	29895	169	3	160	12.7	1186	1186	1426.72	1345.47
15.0	176.71459	26490	150	3		12.7	1186		1264.22	
15.0	176.71459	28420	161	3	160	14.2	1398	1398	1150.72	1141.91
15.0	176.71459	27985	158	3		14.2	1398		1133.11	
15.0	176.71459	24930	141	3	128	13.3	1270	1270	1110.41	1007.18
15.0	176.71459	20295	115	3		13.3	1270		903.96	
15.0	176.71459	12235	69	3	62	12.5	1157	1157	598.16	538.76
15.0	176.71459	9805	55	3		12.5	1157		479.36	
15.0	176.71459	21845	124	3	124	14.7	1468	1468	841.95	846.57
15.1	179.07864	22380	125	3		14.7	1468		851.19	
15.0	176.71459	23115	131	3	128	12.2	1115	1115	1173.01	1151.72
14.9	174.36625	21980	126	3		12.2	1115		1130.44	
15.0	176.71459	17670	100	3	108	12.3	1129	1129	885.48	960.40
15.0	176.71459	20660	117	3		12.3	1129		1035.32	
15.0	176.71459	19030	108	3	109	12.35	1136	1136	947.71	962.16
14.9	174.36625	19350	111	3		12.35	1136		976.62	
15.0	176.71459	12020	68	3	80	12.375	1140	1140	596.75	701.33
15.1	179.07864	16450	92	3		12.375	1140		805.90	
15.1	179.07864	16545	92	3	84	12.4	1143	1143	808.05	736.00
15.0	176.71459	13415	76	3		12.4	1143		663.95	
15.0	176.71459	18100	102	3	104	14.2	1398	1398	732.86	744.11
15.1	179.07864	18905	106	3		14.2	1398		755.35	
15.1	179.07864	21295	119	3	87	14.7	1468	1468	809.92	590.25
15.0	176.71459	9615	54	3		14.7	1468		370.58	
15.0	176.71459	20205	114	3	113	13.3	1270	1270	899.95	889.50
15.1	179.07864	20000	112	3		13.3	1270		879.06	
15.0	176.71459	21100	119	3	119	14.2	1398	1398	854.33	851.30
15.0	176.71459	20950	119	3		14.2	1398		848.26	

MEDIA: 108 1258 857.14

DESV. ESTANDAR: 30.84 128.22 244.12

Peso Tina(Kg): 4.305 Volumen Tina(m3): 0.00708

Diametro cm.	Area cm2	Carga Kg	f _c Kg/cm2	Edad Dias	Promedio Resistencia	Peso Tina Kg	Peso Vol. Kg/m3	Promedio Peso Vol.	Indice m	Promedio Indice
15.0	176.71459	7335	42	7	51	12.7	1186	1186	350.06	426.75
15.1	179.07864	10690	60	7		12.7	1186		503.44	
15.1	179.07864	32760	183	7	179	12.7	1186	1186	1542.81	1507.61
15.1	179.07864	31265	175	7		12.7	1186		1472.40	
15.0	176.71459	29760	168	7	170	14.2	1398	1398	1204.97	1214.73
14.9	174.36625	29840	171	7		14.2	1398		1224.49	
15.1	179.07864	25120	140	7	145	13.3	1270	1270	1104.10	1144.22
15.0	176.71459	26590	150	7		13.3	1270		1184.34	
15.1	179.07864	14435	81	7	83	12.5	1157	1157	696.40	718.17
15.0	176.71459	15135	86	7		12.5	1157		739.94	
14.9	174.36625	27455	157	7	154	14.7	1468	1468	1072.43	1045.55
15.0	176.71459	26430	150	7		14.7	1468		1018.67	
15.0	176.71459	24090	136	7	148	12.2	1115	1115	1222.49	1329.60
15.1	179.07864	28690	160	7		12.2	1115		1436.71	
15.0	176.71459	27150	154	7	143	12.3	1129	1129	1360.54	1267.33
15.0	176.71459	23430	133	7		12.3	1129		1174.13	
15.0	176.71459	22140	125	7	127	12.35	1136	1136	1102.59	1120.00
15.1	179.07864	23145	129	7		12.35	1136		1137.42	
15.0	176.71459	13745	78	7	82	12.375	1140	1140	682.39	719.13
15.0	176.71459	15225	86	7		12.375	1140		755.87	
15.1	179.07864	18450	103	7	104	12.4	1143	1143	901.09	907.61
15.0	176.71459	18470	105	7		12.4	1143		914.14	
15.0	176.71459	25810	146	7	144	14.2	1398	1398	1045.04	1033.75
15.1	179.07864	25590	143	7		14.2	1398		1022.45	
15.0	176.71459	24480	139	7	141	14.7	1468	1468	943.51	959.80
15.0	176.71459	25325	143	7		14.7	1468		976.08	
15.0	176.71459	23580	133	7	134	13.3	1270	1270	1050.28	1050.93
15.1	179.07864	23925	134	7		13.3	1270		1051.58	
15.0	176.71459	25400	144	3	143	14.2	1398	1398	1028.44	1022.05
15.1	179.07864	25420	142	3		14.2	1398		1015.66	
MEDIA:					130			1258		1031.15
DESV. ESTANDAR:					33.92			128.22		259.22

Peso Tina(Kg): 4.305 Volumen Tina(m3): 0.00708

Diametro cm.	Area cm2	Carga Kg	f'c Kg/cm2	Edad Dias	Promedio Resistencia	Peso Tina Kg	Peso Vol. Kg/m3	Promedio Peso Vol.	Indice m	Promedio Indice
14.9	174.36625	9810	56	28	53	12.7	1186	1186	474.48	449.97
15.0	176.71459	8915	50	28		12.7	1186		425.46	
15.0	176.71459	34400	195	28	186	12.7	1186	1186	1641.72	1567.86
15.0	176.71459	31305	177	28		12.7	1186		1494.01	
15.1	179.07864	39510	221	28	216	14.2	1398	1398	1578.63	1548.26
14.9	174.36625	36990	212	28		14.2	1398		1517.89	
15.1	179.07864	34690	194	28	184	13.3	1270	1270	1524.73	1446.18
15.0	176.71459	30705	174	28		13.3	1270		1367.63	
15.0	176.71459	15130	86	28	128	12.5	1157	1157	739.69	1105.38
15.0	176.71459	30090	170	28		12.5	1157		1471.07	
15.1	179.07864	34795	194	28	196	14.7	1468	1468	1323.37	1335.16
15.1	179.07864	35415	198	28		14.7	1468		1346.95	
15.0	176.71459	25110	142	28	137	12.2	1115	1115	1274.25	1232.42
15.1	179.07864	23775	133	28		12.2	1115		1190.58	
15.0	176.71459	24235	137	28	133	12.3	1129	1129	1214.47	1175.91
15.1	179.07864	23000	128	28		12.3	1129		1137.36	
15.0	176.71459	14000	79	28	79	12.35	1136	1136	697.21	691.23
15.0	176.71459	13760	78	28		12.35	1136		685.26	
15.0	176.71459	18930	107	28	103	12.375	1140	1140	939.81	906.66
15.1	179.07864	17830	100	28		12.375	1140		873.51	
15.1	179.07864	20750	116	28	111	12.4	1143	1143	1013.42	967.49
15.0	176.71459	18620	105	28		12.4	1143		921.56	
15.0	176.71459	34525	195	28	198	14.2	1398	1398	1397.91	1417.35
15.1	179.07864	35960	201	28		14.2	1398		1436.79	
14.9	174.36625	35005	201	28	197	14.7	1468	1468	1367.34	1341.68
15.0	176.71459	34145	193	28		14.7	1468		1316.02	
15.0	176.71459	35790	203	28	201	13.3	1270	1270	1594.12	1583.99
15.0	176.71459	35335	200	28		13.3	1270		1573.86	
15.0	176.71459	35610	202	28	201	14.2	1398	1398	1441.84	1437.99
15.0	176.71459	35420	200	28		14.2	1398		1434.15	
MEDIA:					155			1258		1213.84
DESV. ESTANDAR:					49.97			128.22		324.15

Peso Tina(Kg): 4.305

Volumen Tina(m3): 0.00708

Diametro cm.	Area cm2	Carga Kg	f'c Kg/cm2	Edad Dias	Promedio Resistencia
15.1	179.07864	50615	283	28	286
15.0	176.71459	51000	289	28	
15.0	176.71459	42310	239	28	238
15.0	176.71459	41900	237	28	
15.1	179.07864	44185	247	28	251
15.0	176.71459	45100	255	28	
15.1	179.07864	41585	232	28	230
15.1	179.07864	40780	228	28	
14.9	174.36625	48100	276	28	272
15.0	176.71459	47500	269	28	
15.1	179.07864	49165	275	28	276
15.0	176.71459	48945	277	28	
14.9	174.36625	43630	250	28	243
15.1	179.07864	42085	235	28	
15.1	179.07864	40595	227	28	225
15.1	179.07864	39850	223	28	
15.0	176.71459	31355	177	28	184
14.9	174.36625	33245	191	28	
15.0	176.71459	39875	226	28	221
15.1	179.07864	38700	216	28	
15.1	179.07864	41065	229	28	232
15.0	176.71459	41300	234	28	
15.1	179.07864	44135	246	28	251
15.0	176.71459	45100	255	28	
15.1	179.07864	44300	247	28	241
15.1	179.07864	41915	234	28	
15.0	176.71459	42285	239	28	238
15.0	176.71459	41790	236	28	
15.1	179.07864	35400	198	28	204
15.0	176.71459	37125	210	28	

MEDIA: 239

DESV. ESTANDAR: 25.64

4.5.- DISEÑO ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO EFECTUADO CON CONCRETO NORMAL Y CONCRETO LIGERO

Se efectuara el diseño estructural de un edificio para concreto normal (Peso Volumetrico de $2,400 \text{ Kg/m}^3$) y concreto ligero (Peso Volumetrico de $1,500 \text{ Kg/m}^3$), se tomara un tablero interior para el diseño de losa, viga, columna y zapatas, como se observa en la Figura 4.1; se obtendran tablas de losa de azotea y entrepiso, para realizar el costeo de un sistema contra el otro.

El hecho de realizar lo anterior, es para saber el cambio de la secciones entre un concreto normal y un concreto ligero, y obtener el costo total y el costo por metro cuadrado del tablero; las dimensiones de un tablero interior es de 6.00 m por 7.50 m, con un area tributaria de 45.00 m^2 .

En la Figura 4.1, se muestra las características del edificio para analizar, en los anexos se incluyen las tarjetas de precios unitarios para el analisis de costos.

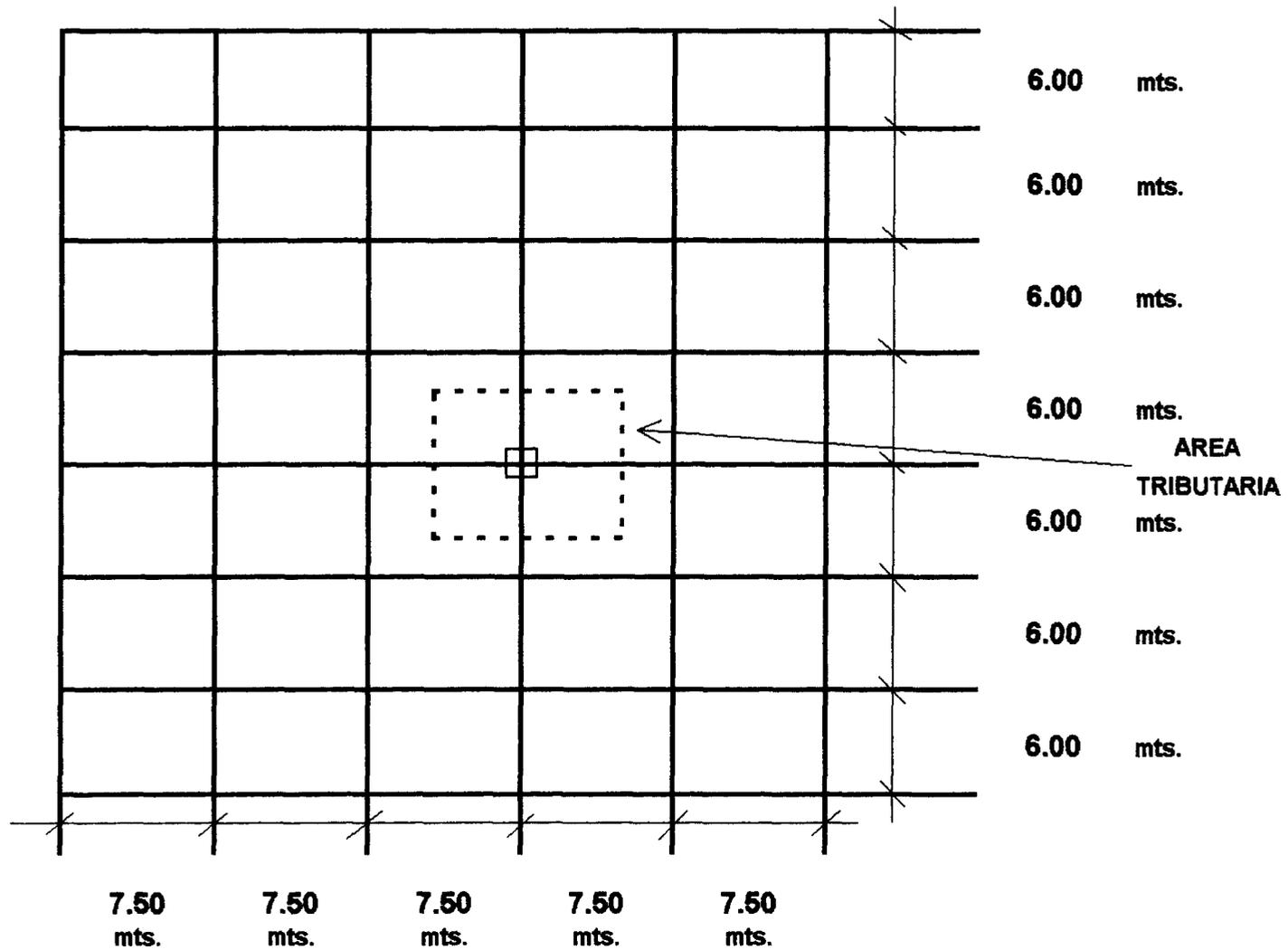


Figura 4.1.- Planta del edificio a analizar en el proyecto de tesis

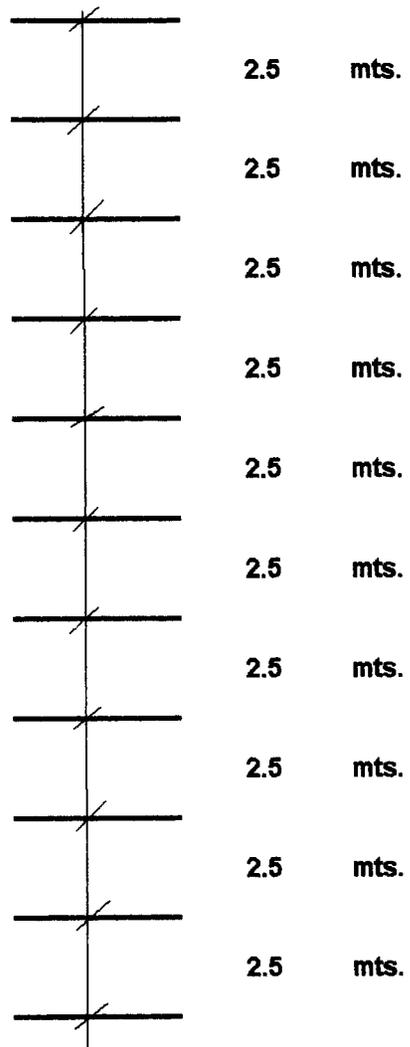
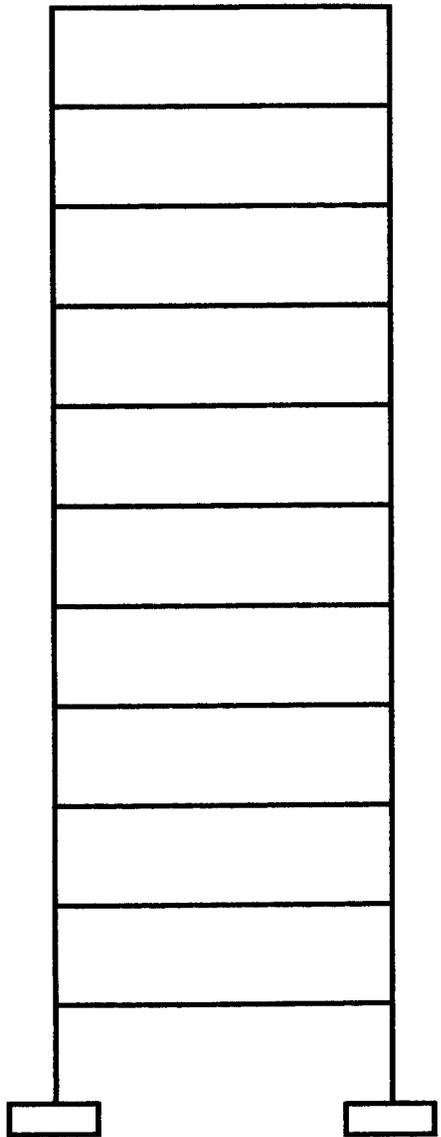


Figura 4.2.- Elevación de un tablero interior

NIVEL	C. NORMAL	C. LIGERO
1	34125	40461
2	73403	63912
3	112952	89920
4	153134	116025
5	194449	142833
6	235931	169794
7	281066	197286
8	330088	226651
9	375061	255235
10	427790	288451
11	474720	317908

NIVEL	C. NORMAL	C. LIGERO
1	758	899
2	816	710
3	837	666
4	851	645
5	864	635
6	874	629
7	892	626
8	917	630
9	926	630
10	951	641
11	959	642

CARGA EN CIMENTACION

NIVEL	C. NORMAL	C. LIGERO
1	87342	63715
2	213874	166422
3	341184	269356
4	468603	372453
5	597068	476055
6	725615	579695
7	855128	683875
8	984683	788020
9	1115373	892800
10	1246104	997536
11	1377870	1102851

ANCHO DE COLUMNAS

NIVEL	C. NORMAL	C. LIGERO
1	25	25
2	33	29
3	41	37
4	48	43
5	55	49
6	60	54
7	65	58
8	70	63
9	75	67
10	79	71
11	83	74

ANCHO DE ZAPATAS

NIVEL	C. NORMAL	C. LIGERO
1	187	160
2	292	258
3	369	328
4	433	386
5	489	436
6	539	482
7	585	523
8	628	561
9	668	598
10	706	632
11	742	664

COSTO POR NIVEL DE C. NORMAL Y C. LIGERO

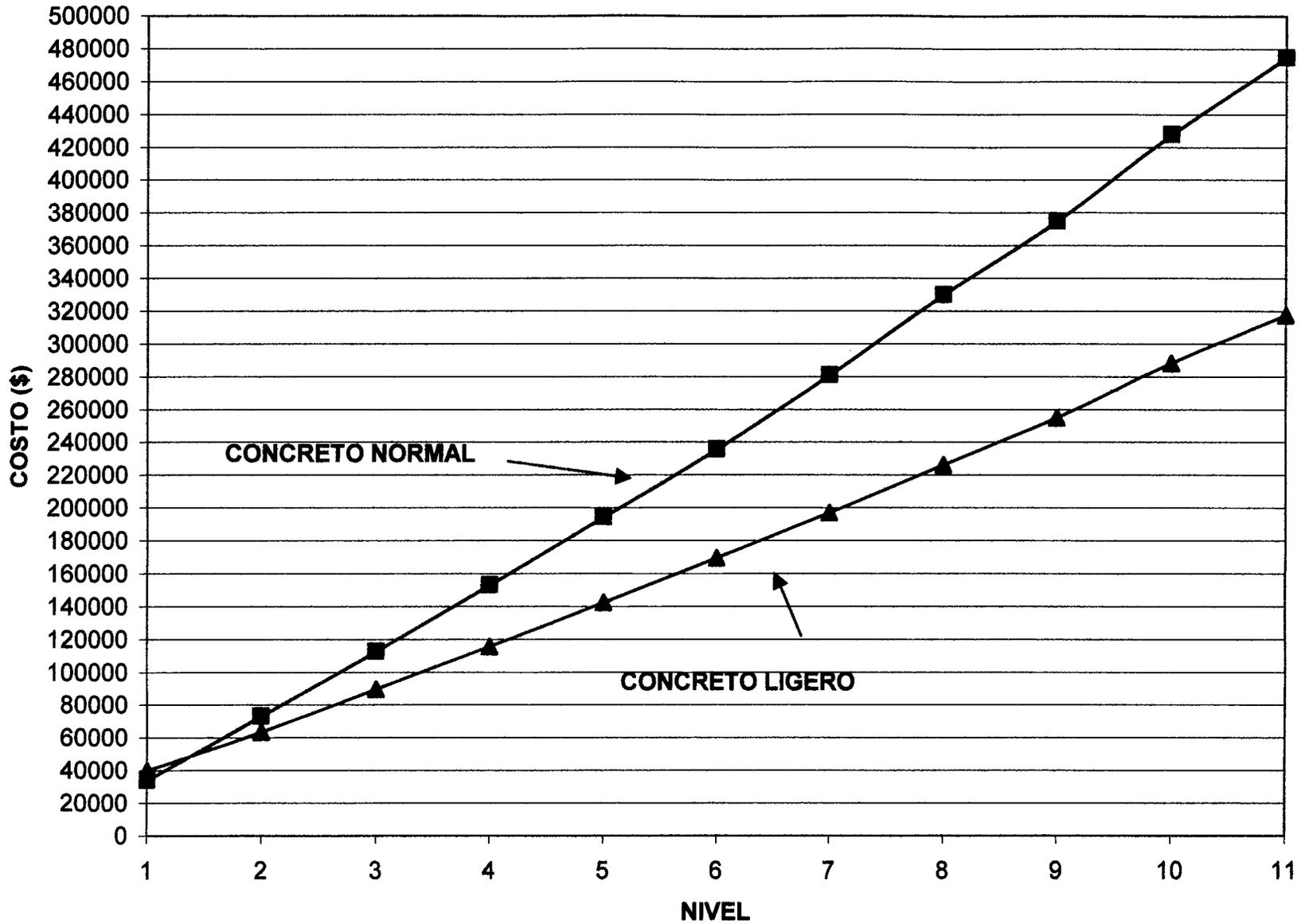
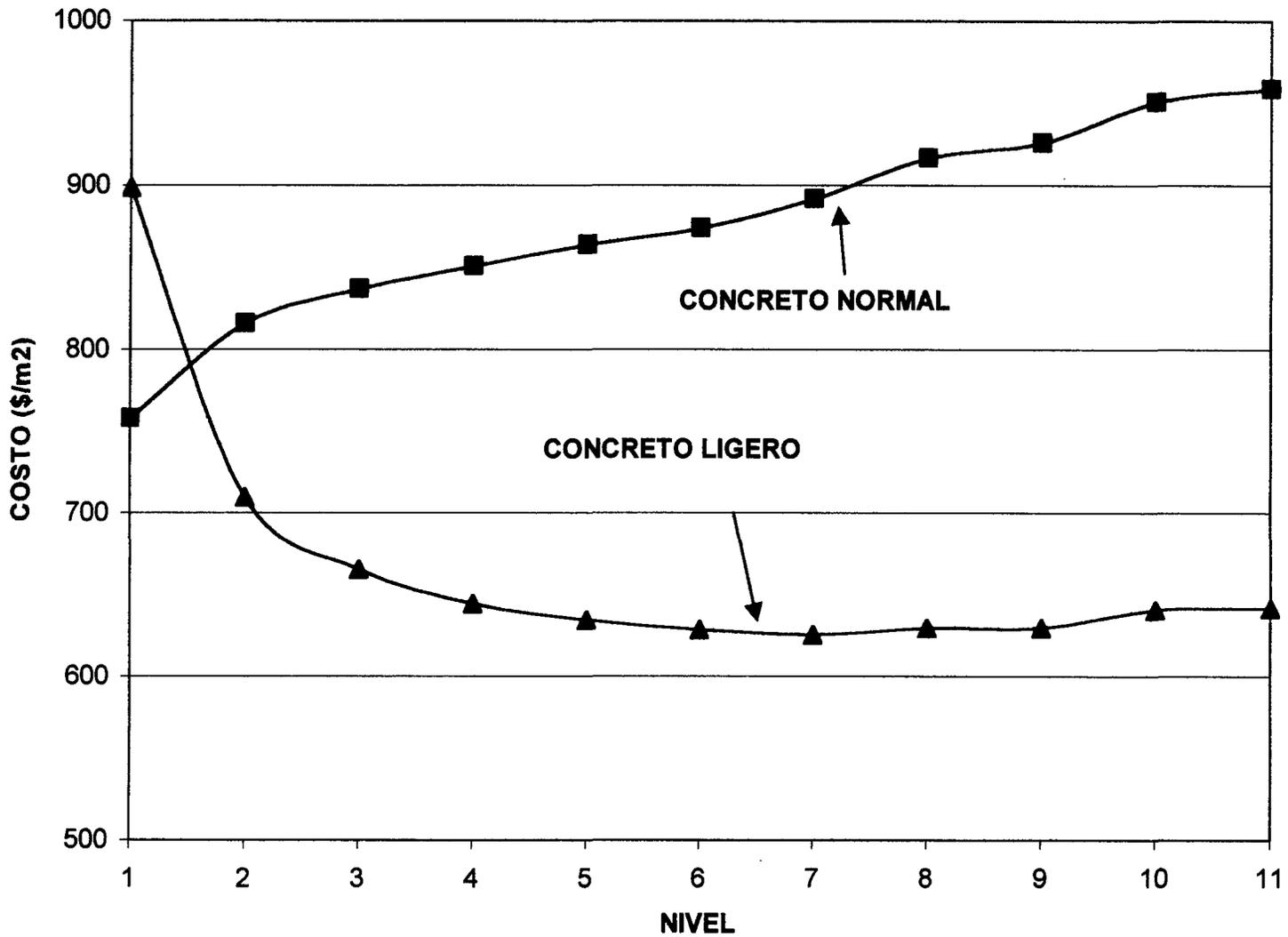
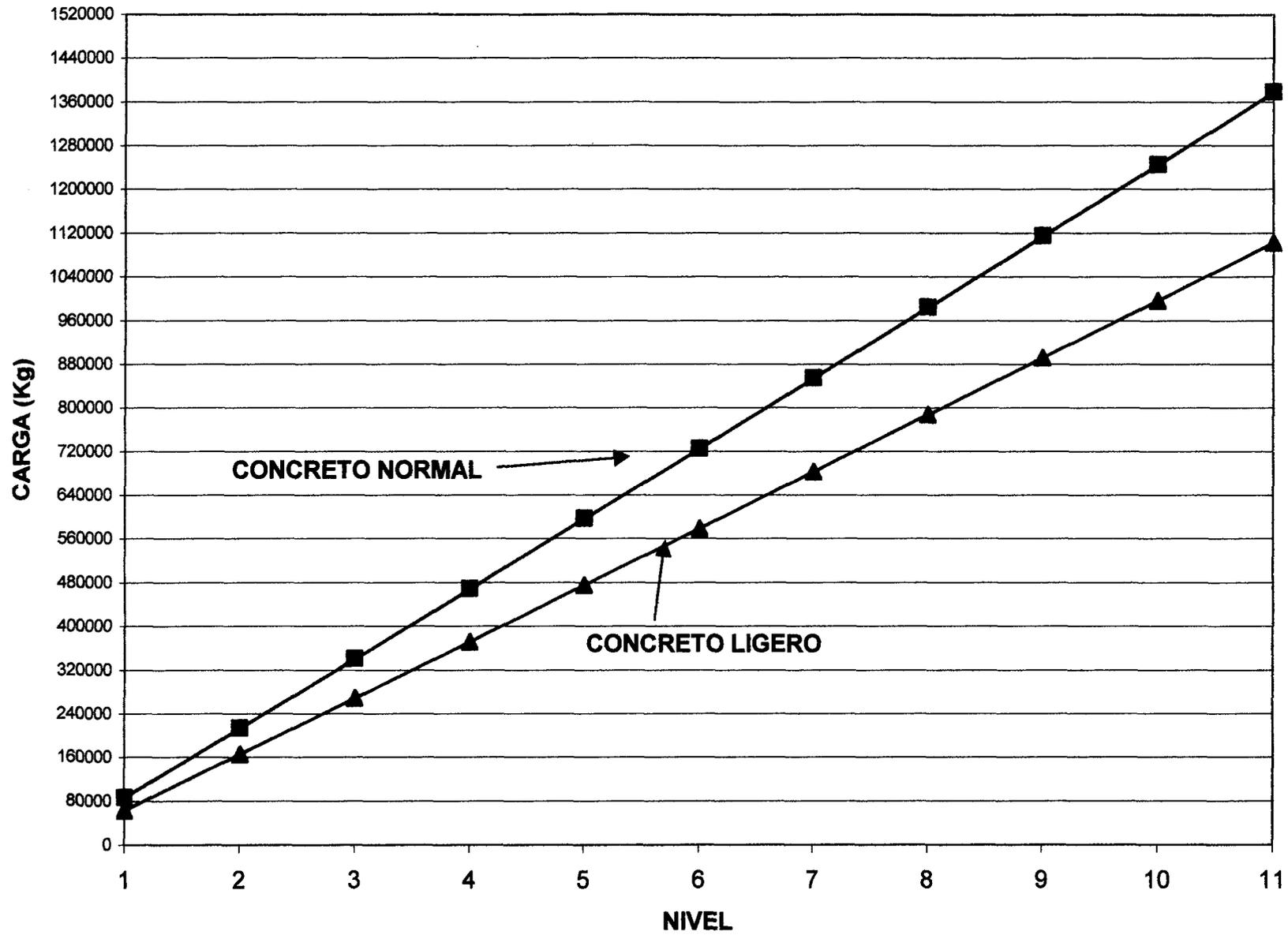


Figura 4.3.- Costo total de concreto normal y concreto ligero

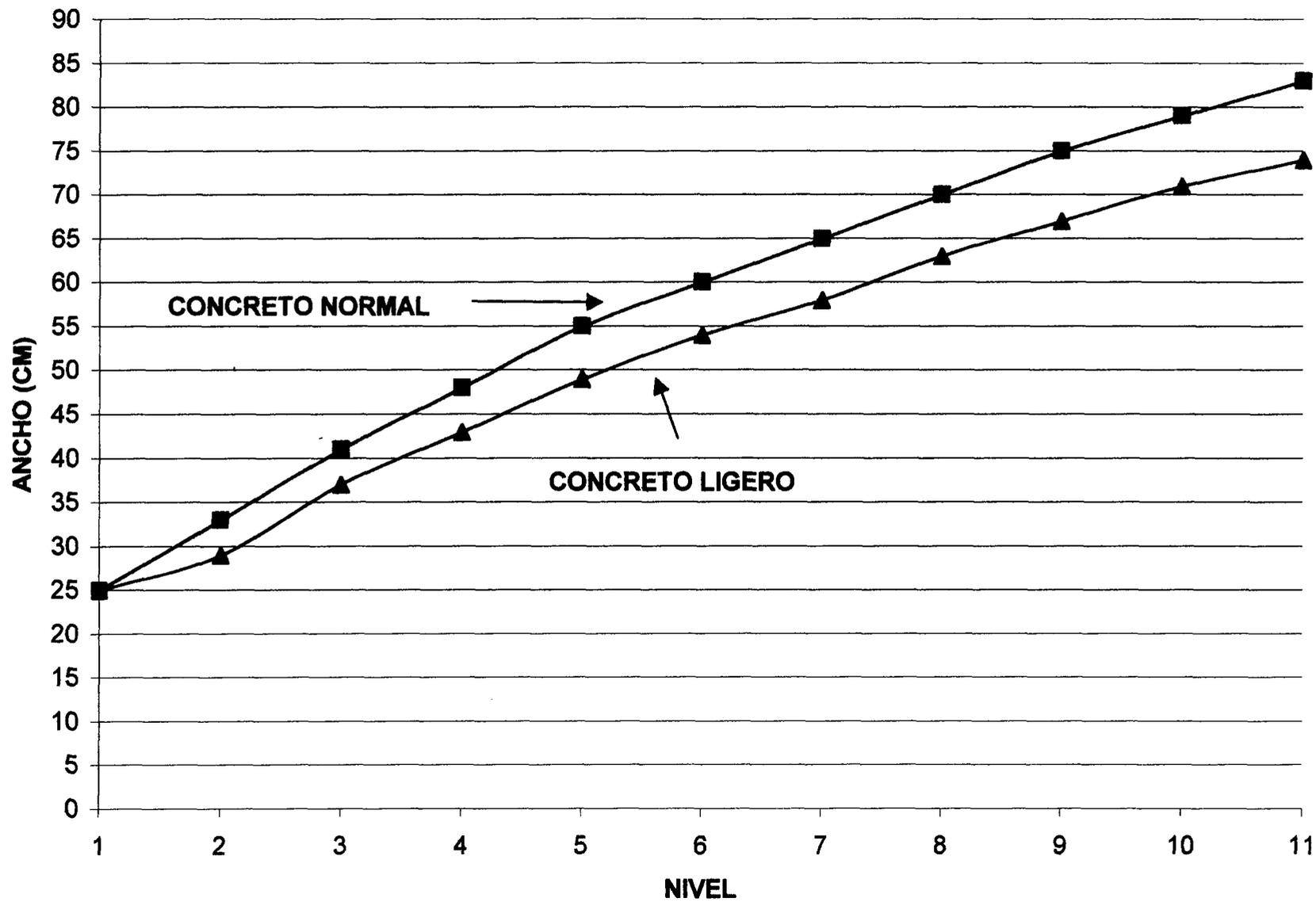
COSTO POR METRO CUADRADO DE C. NORMAL Y C. LIGERO



CARGA EN CIMENTACIÓN



ANCHO DE COLUMNAS



ANCHO DE ZAPATAS

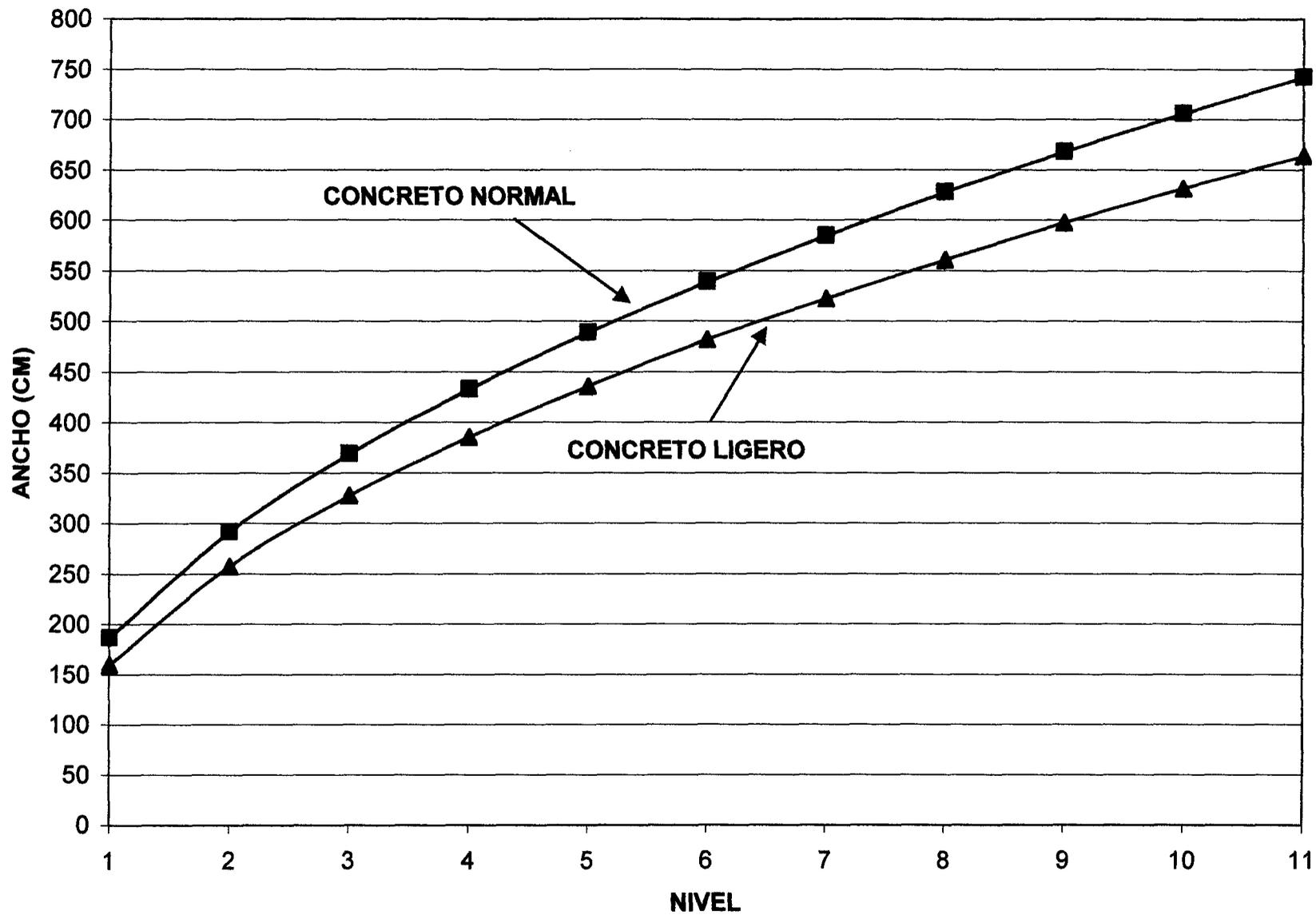


Tabla 4.8.- Resumen de costo total y costo por metro cuadrado para diferentes resistencias

NIVEL	C. NORMAL 200 Kg/cm2	C. LIGERO	C. NORMAL 250 Kg/cm2	C. NORMAL 300 Kg/cm2
1	34125	40461	40923	38381
2	73403	63912	88025	85263
3	112952	89920	135452	126081
4	153134	116025	183638	170626
5	194449	142833	233183	215857
6	235931	169794	282928	261376
7	281066	197286	337054	307602
8	330088	226651	395842	352983
9	375061	255235	449773	401132
10	427790	288451	513006	448587
11	474720	317908	569284	496342

NIVEL	C. NORMAL 200 Kg/cm2	C. LIGERO	C. NORMAL 250 Kg/cm2	C. NORMAL 300 Kg/cm2
1	758	899	909	853
2	816	710	978	947
3	837	666	1003	934
4	851	645	1020	948
5	864	635	1036	959
6	874	629	1048	968
7	892	626	1070	977
8	917	630	1099	981
9	926	630	1110	990
10	951	641	1140	997
11	959	642	1150	1003

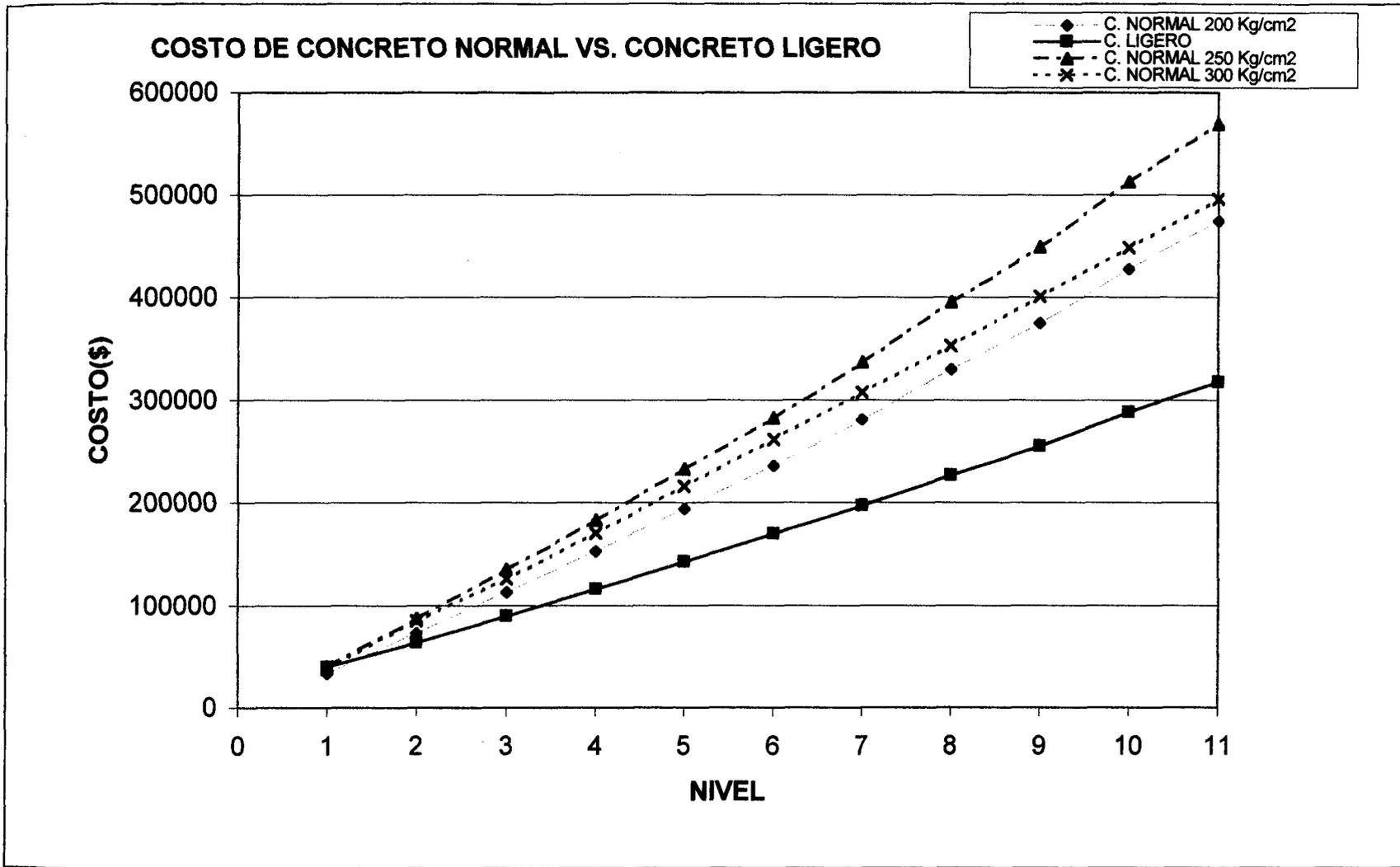


Figura 4.8.- Costo total de concreto ligero y concreto normal de diferentes resistencias

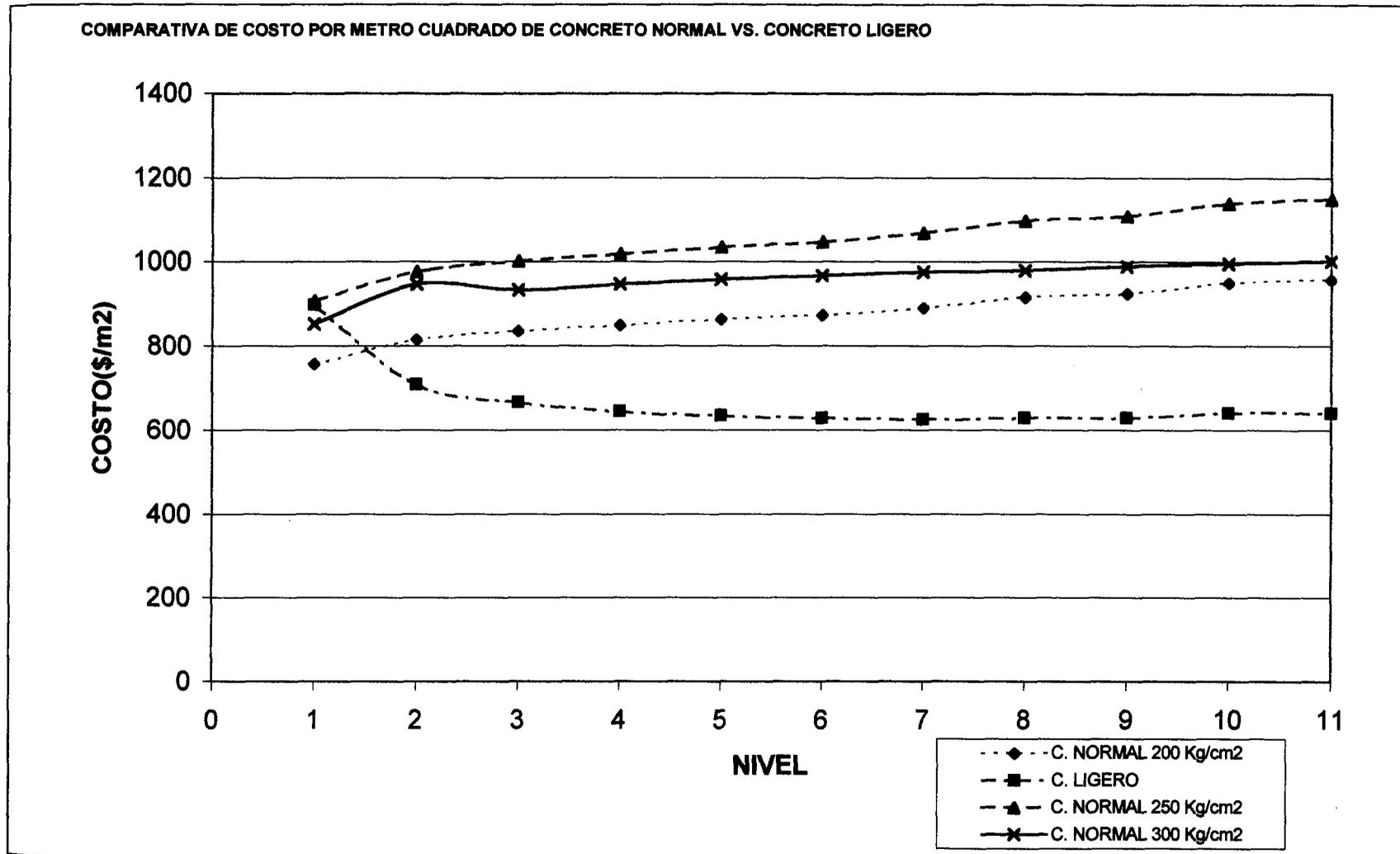


Figura 4.9.- Comparativa de costo por metro cuadrado de concreto ligero y concreto normal para diferentes resistencias

5. CONCLUSIONES

En la entrada de un nuevo milenio, es necesario experimentar e implantar, nuevos sistemas de construcción, los cuales deben ser acústicos, aislantes y confortables.

Los antiguos constructores, realizaron grandes obras de ingeniería, sin tener los adelantos tecnológicos de nuestros días, y sin embargo, hemos retrocedido en el tiempo, construyendo habitaciones de block.

En la antigüedad se vivía en cuevas, las cuales son más confortables y frescas que nuestras habitaciones actuales.

Estos son los retos, que se presentan a los nuevos profesionales de la construcción, y la manera de hacerle frente es preparándose en las aulas y laboratorios.

5.1.- INTRODUCCIÓN

Es de vital importancia, seguir investigando en nuevos productos para la construcción, estos productos deben tener la característica de ser acústicos y térmicos, por tal motivo es necesario motivar a los profesionales de la construcción a seguir documentándose de temas referentes a nuevos materiales.

En las construcciones generales de concreto, el peso propio representa una gran proporción de la carga total sobre la estructura y existen considerables ventajas al reducir la densidad del concreto, siendo la principal de dichas reducciones el empleo de elementos estructurales de menor tamaño y las correspondiente reducción del tamaño de los cimientos. Además, con concretos ligeros, la cimbra

soporta menor presión que la que tendría que resistir con concreto normal y, por otro lado, el peso total de los materiales que se manejan se reduce con un consiguiente incremento en la productividad, sin mencionar el ahorro en el costo de cimbra y materiales.

5.2.- COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

En las pruebas realizadas en la investigación, se obtuvieron resistencias de 195 Kg./cm.², para concreto ligero, como se pueden ver en las Tablas 4.3 a 4.5, sin embargo la media de estas pruebas fue de 155 Kg./cm.².

Mientras que las pruebas de concreto normal se obtuvo, una media de 239 Kg./cm.², con una desviación estandar de 26 Kg./cm.², como se puede ver en la Tabla 4.6.

Para llegar a obtener muestras de concreto ligero, con una media más próxima a 200 Kg./cm.², es necesario anexar una cantidad de cemento de 400.00 kilogramos por metro cubico, y se debe obtener un peso volumétrico del orden de 1,400 a 1,500 Kg./m³.

También existen en el medio aditivos que pueden emplearse para mejorar el agregado ligero, en cuanto a mejorar, me refiero a tratar de eliminar la absorción del material, debido a que el agregado ligero es poroso, absorbe agua por sus cavidades. Estos aditivos reducen la cantidad de agua en un 15 a 20%.

Recomiendo que se difunda la factibilidad del concreto ligero, ya que ofrece aislamiento térmico y acústico.

En la Figura 4.3, se observa que para el primer nivel el costo total es de \$34,125 para concreto normal, mientras \$40,461 para concreto ligero; para el segundo

nivel es de \$73,403 para concreto normal y de \$63,912 para concreto ligero, por lo tanto conviene utilizar el concreto ligero en edificios de dos niveles en adelante.

El costo por metro cuadrado en el primer nivel de concreto normal es de \$758.00, para el segundo nivel del orden de \$816.00, un incremento de 7.65%; mientras que para el concreto ligero se tiene un costo por metro cuadrado de \$899.00 en el primer nivel, en el segundo nivel es de \$710.00, un decremento de 78.97% del primer al segundo; y tiende a bajar conforme aumenta los niveles del edificio, como se puede ver en la Figura 4.4; en esta figura se puede ver que el concreto ligero tiende a permanecer constante al rededor de \$630.00 por metro cuadrado, y del orden de \$950.00 por metro cuadrado para concreto normal, con tendencia a incrementarse.

En la Figura 4.8, tenemos la comparativa de costos totales para concreto normal con $f'c$ de 200 Kg./cm.², 250 Kg./cm.² y 300 Kg./cm.² contra concreto ligero; podemos observar que para un concreto de resistencia de 250 Kg./cm.² tenemos un costo para el primer nivel de \$40,923 y de \$88,025 para el segundo nivel, lo que representa un 215.09% de incremento, esto es un costo muy alto, si se esta pensando en la construcción de un edificio de oficinas o en un hotel. Para un concreto con resistencia de 300 Kg./cm.² tenemos en el primer nivel un costo de \$38,381 y de \$85,263 para el segundo nivel, lo que es un 222.15% de incremento.

En lo referente a costo por metro cuadrado tenemos para la resistencia de 250 Kg./cm.² del orden de \$909.00 en el primer nivel y para el segundo nivel \$978.00; para un concreto con 300 Kg./cm.² de resistencia tenemos en el primer nivel \$853.00 y de \$947.00 para el segundo nivel; sin embargo, para el concreto ligero tenemos un costo de \$710.00 por metro cuadrado, lo que lo hace una ventaja económica.

Para el nivel numero 11 tenemos un costo por metro cuadrado de \$642.00 para concreto ligero y de \$959.00 para concreto de 200 Kg./cm.²; de \$1,150.00 para concreto de 250 Kg./cm.² y de \$1,003.00 para concreto de 300 Kg./cm.²; en el mismo nivel.

En la Figura 4.5, se tiene la carga en la cimentación, para el primer nivel se tiene una carga de 87,342 Kg. para concreto normal y de 63,715 Kg. para concreto ligero; lo que representa un 72.95% de disminución; para el segundo nivel tenemos 213,874 Kg. para concreto normal y de 166,422 Kg. para concreto ligero, con una disminución de 77.81%, lo que representa que alrededor de un 70% de peso menos soportara una cimentación de un edificio fabricada con concreto ligero que con uno hecho con concreto normal.

En la Figura 4.6, se puede ver los anchos de columnas, en el primer nivel se toma un ancho para ambos concretos de 25cm. de acuerdo al reglamento del A.C.I., en ambos casos pero para el segundo nivel el concreto normal se tiene un ancho de columnas de 33 cm., mientras que para concreto ligero se tiene 29 cm. de ancho de columna, una disminución de 87.87%; para el nivel 11, se tiene una diferencia de 89.16%, entre el ancho de columna de concreto normal contra ligero.

En cuanto al ancho de las zapatas se puede observar en la Figura 4.7, que para el primer nivel con concreto normal, se tiene un ancho de 187 cm. contra 160 cm. para concreto ligero una diferencia de 85.56%, la cual, en el nivel numero 11 es de 89.48%, lo cual podemos generalizar que para concreto ligero nos ahorramos un 85% en cuanto al ancho de zapatas fabricadas con concreto ligero versus el normal.

5.3.- CONSIDERACIONES A FUTURO

Se puede pensar que el futuro de la construcción mexicana se encuentra en la experimentación de nuevos productos de construcción; aquellos como concreto ligero, tabla roca, concreto celular, por mencionar algunos; son los que dominaran la construcción del nuevo milenio, el hecho de que a primera vista resulte caro en comparación con el block o los vaciados de concreto normal, es cuestión de óptica; se puede ver claramente que la cimentación soportara un 70% menos de peso con un edificio de concreto ligero , que con concreto normal.

El hecho de que se diga que es caro, es debido a que no estamos concientizados a pedir comparativas de costo entre uno o varios materiales; si esto se efectuara en los lugares en que se venden productos de construcción; la experimentación de nuevos productos seria una empresa rentable; y existirían departamentos de investigación y desarrollo, en varias empresas dedicadas a la construcción.

Por desgracia ocurre lo contrario, estamos acostumbrados a comprar por precio; sin embargo, es una tendencia que tiende a desaparecer, en la medida que exijamos nos comprueben con hechos, el ahorro en costos.

5.4.- CONCLUSIÓN PERSONAL

La elaboración del presente trabajo, fue muy gratificante, debido a que muchas personas opinaban que no era posible obtener un concreto ligero de 200 Kg./cm.², sin el uso de aditivos, sin embargo, estas opiniones fueron las que me alentaron a demostrarles a esas personas, que todo es posible si se cree en lograrlo y se pone al servicio la ciencia.

Las mejoras que deben de realizarse, son anexar 400 kilogramos por metro cubico de cemento, en las pruebas, lo cual debo obtener un peso volumétrico entre 1,400 a 1,500 Kg./m³, el hecho de que sea más caro el concreto ligero, es debido a la incertidumbre de la resistencia final, en compañías dedicadas a la fabricación del concreto, no se comprometían en otorgarme por escrito una resistencia de 200Kg/cm.² para el concreto ligero, a lo mucho se comprometían de 100 a 150 Kg./cm.².

Pero el hecho de reducir las secciones en las construcciones es también significativo, como ejemplo se tiene la carga en cimentación para el piso once, la cual es de 1,377,870 Kg. para el concreto normal, y de 1,102,851 Kg. para el concreto ligero, una diferencia de 80.04% en cuanto a peso; esto significa que se puede reducir las secciones sin poner en peligro la seguridad estructural; espero que este trabajo sea una luz en lo profundo de un túnel, túnel que se llama construcción, es inaudito que con los avances técnicos y tecnológicos a nuestra disposición, sigamos construyendo con montar piedra sobre piedra; es algo que tiene que cambiar con el nuevo milenio y si en algo puede contribuir este trabajo, me sentiré satisfecho; debido a que estoy convencido que el ser humano, esta de paso por este mundo, y que cada quien tiene una misión, pero en la medida en que ayudemos en el avance de este mundo, será una tarea cumplida; pero no en estar para retroceder en la historia, construyendo con piedras.

ANEXOS

TARJETAS DE PRECIOS UNITARIOS

FECHA 20/05/99

ING. ERNESTO RAUL LEAL CASAS

DE HOJA 1(Pag.68)

CONCEPTO			UNIDAD	KG.	PROYECTO:
'SUMINISTRO , HABILITADO Y COLOCACION DE ACERO F ý= 4200 KG/CM2 (BASICO GENERAL DE ACERO)			VOLUMEN	1.00	
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	CROQUIS GENERADORES:
ACERO A.R. (ALTA RESISTENCIA) #4	KG	1.00	4.22	4.22	
ALAMBRE RECOCIDO	KG	0.0013	9.02	0.011424732	
			SUMA	4.231424732	
MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
OFICIAL HERRERO	JOR	0.017	116.01	1.97217	
AYUDANTE	JOR	0.017	71.8	1.2206	
			SUMA	3.19277	
MAQUINARIA Y HERRAMIENTA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
DEPRECIACION DE HERRAMIENTA	%	3.19277	0.04	0.1277108	
			SUMA	0.1277108	
ELABORO:			SUBTOTAL	7.551905532	
ING. ERNESTO RAUL LEAL CASAS			INDIRECTO	1.510381106	
			TOTAL	9.062286638	

TARJETAS DE PRECIOS UNITARIOS
ING. ERNESTO RAUL LEAL CASAS

FECHA 20/05/99

DE HOJA 2 (Pag. 69)

CONCEPTO			UNIDAD	M2	PROYECTO:
SUMINISTRO , HABILITADO Y COLOCACION DE CIMBRA COMUN CON MADERA DE SEGUNDA. (BASICO GENERAL DE CIMBRA)			VOLUMEN	1.00	
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	CROQUIS GENERADORES:
MADERA DE PINO PARA CIMBRA	P.T.	1.6404	5.2500	8.6121	
CLAVO PARA MADERA	KG	0.3200	9.7400	3.1168	
			SUMA	11.7289	
MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
OFICIAL CARPINTERO	JOR	0.1700	116.0100	19.7217	
AYUDANTE	JOR	0.1700	71.8000	12.2060	
			SUMA	31.9277	
MAQUINARIA Y HERRAMIENTA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
DEPRECIACION DE HERRAMIENTA	%	31.9277	0.0400	1.2771	
			SUMA	1.2771	
ELABORO:		SUBTOTAL		44.9337	
ING. ERNESTO RAUL LEAL CASAS		INDIRECTO		8.9867	
		TOTAL		53.9204	

TARJETAS DE PRECIOS UNITARIOS
ING. ERNESTO RAUL LEAL CASAS

FECHA 20/05/99

DE HOJA 3(Pag. 70)

CONCEPTO : (BASICO GENERAL DE CONCRETO)
 SUMINISTRO, FABRICACION Y COLOCACION DE CONCRETO NORMAL
 F'c= 200 KG/CM2 (NORMAL, PREMEZCLADO C/BOMBA)

UNIDAD M3
 VOLUMEN 1.0000

PROYECTO:
 TESIS EN LA MAESTRIA DE ESTRUCTURAS

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
CONCRETO PREMEZCLADO CON RESISTENCIA DE 200 KG/ CM2.	M3	1.0500	1280.0000	1344.0000
			SUMA	1344.0000

CROQUIS GENERADORES:

MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
OFICIAL ALBAÑIL	JOR	0.1800	116.0100	20.8818
AYUDANTE	JOR	0.1800	71.8000	12.9240
			SUMA	33.8058

MAQUINARIA Y HERRAMIENTA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE
DEPRECIACION DE HERRAMIENTA	%	33.8058	0.0400	1.3522
			SUMA	1.3522

ELABORO: ING. ERNESTO RAUL LEAL CASAS	SUBTOTAL	1379.1580
	INDIRECTO	275.8316
	TOTAL	1654.9896

**TARJETAS DE PRECIOS UNITARIOS
ING. ERNESTO RAUL LEAL CASAS**

FECHA 20/05/99

DE HOJA 4 (Pag. 71)

CONCEPTO : (BASICO GENERAL DE CONCRETO)			UNIDAD	M3	PROYECTO: TESIS EN LA MAESTRIA DE ESTRUCTURAS
SUMINISTRO, FABRICACION Y COLOCACION DE CONCRETO LIGERO F'c= 200 KG/CM2 (LIGERO PREMEZCLADO C/BOMBA)			VOLUMEN	1.0000	
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	CROQUIS GENERADORES:
CONCRETO PREMEZCLADO CON RESISTENCIA DE 200 KG/ CM2.	M3	1.0500	1905.0000	2000.2500	
			SUMA	2000.2500	
MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
OFICIAL ALBAÑIL	JOR	0.1800	116.0100	20.8818	
AYUDANTE	JOR	0.1800	71.8000	12.9240	
			SUMA	33.8058	
MAQUINARIA Y HERRAMIENTA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
DEPRECIACION DE HERRAMIENTA	%	33.8058	0.0400	1.3522	
			SUMA	1.3522	
ELABORO:		SUBTOTAL		2035.4080	
ING. ERNESTO RAUL LEAL CASAS		INDIRECTO		407.0816	
		TOTAL		2442.4896	

**TARJETAS DE PRECIOS UNITARIOS
ING. ERNESTO RAUL LEAL CASAS**

FECHA 20/05/99
DE HOJA 5 (Pag. 72)

CONCEPTO :			UNIDAD	PZA	PROYECTO:
SUMINISTRO Y COLOCACION DE BARROBLOCK CON SECCION DE 20X20X30 CMS.			VOLUMEN	1.0000	
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	CROQUIS GENERADORES:
BARROBLOCK DE 20X20X30 CMS. DE SECCION.	PZA	1.0300	6.5000	6.6950	
			SUMA	6.6950	
MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
OFICIAL ALBAÑIL	JOR	0.0040	116.0100	0.4640	
AYUDANTE	JOR	0.0068	71.8000	0.4882	
			SUMA	0.9523	
MAQUINARIA Y HERRAMIENTA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
DEPRECIACION DE HERRAMIENTA	%	0.9523	0.0400	0.0381	
			SUMA	0.0381	
ELABORO:			SUBTOTAL		7.6854
ING. ERNESTO RAUL LEAL CASAS			INDIRECTO		1.5371
			TOTAL		9.2224

TARJETAS DE PRECIOS UNITARIOS
ING. ERNESTO RAUL LEAL CASAS

FECHA 20/05/99

DE HOJA 6 (Pag. 73)

CONCEPTO			UNIDAD	KG.	PROYECTO:
'SUMINISTRO , HABILITADO Y COLOCACION DE ALAMBRO 'DE 1/4" (BASICO GENERAL DE ACERO DE 1/4")			VOLUMEN	1.00	
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	CROQUIS GENERADORES:
ALAMBRO DE 1/4"	KG	1.00	6.45	6.45	
			SUMA	6.45	
MANO DE OBRA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
OFICIAL HERRERO	JOR	0.0222	116.01	2.575422	
AYUDANTE	JOR	0.0224	71.8	1.60832	
			SUMA	4.183742	
MAQUINARIA Y HERRAMIENTA	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	
DEPRECIACION DE HERRAMIENTA	%	4.183742	0.04	0.16734968	
			SUMA	0.16734968	
ELABORO:			SUBTOTAL	10.80109168	
ING. ERNESTO RAUL LEAL CASAS			INDIRECTO	2.160218336	
			TOTAL	12.96131002	



Standard Test Method for TIME OF SETTING OF HYDRAULIC CEMENT BY VICAT NEEDLE¹

This Standard is issued under the fixed designation C 191; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval.

1. Scope

1.1 This method covers determination of the time of setting of hydraulic cement by means of the Vicat needle.

NOTE—For the method for determining time of setting by Gillmore needles, see ASTM Method C 266, Test for Time of Setting of Hydraulic Cement by Gillmore Needles.²

2. Apparatus

2.1 *Scales*—The scales shall conform to the following requirements: On scales in use the permissible variation at a load of 9.8 N shall be ± 0.01 N. The permissible variation on new scales shall be one half of this value. The sensibility reciprocal³ shall be not greater than twice the permissible variation.

2.2 *Weights*—The permissible variations on weights in use in weighing the cement shall be as prescribed in Table 1. The permissible variations on new weights shall be one half of the values in Table 1.

2.3 *Glass Graduates*, 200 or 250-ml capacity, and conforming to the requirements of ASTM Specification C 490, for Apparatus for Use in Measurement of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete.²

2.4 *Vicat Apparatus*—The Vicat apparatus shall consist of a frame, *A*, Fig. 1, bearing a movable rod, *B*, weighing 300 g, one end, *C*, the plunger end, being 10 mm in diameter for a distance of at least 50 mm and the other end having a removable steel needle, *D*, 1 mm in diameter and 50 mm in length. The rod *B* is reversible, and can be held in any desired

position by a set screw, *E*, and has an adjustable indicator, *F*, which moves over a scale (graduated in millimetres) attached to the frame, *A*. The paste is held in a conical ring, *G*, resting on a glass plate, *H*, about 100 mm square. The ring shall be made of a noncorroding, nonabsorbing material, and shall have an inside diameter of 70 mm at the base and 60 mm at the top and a height of 40 mm. In addition to the above, the Vicat apparatus shall conform to the following requirements:

Weight of plunger	300 \pm 0.5 g (0.661 lb \pm 8 grains)
Diameter of larger end of plunger	10 \pm 0.05 mm (0.394 \pm 0.002 in.)
Diameter of needle	1 \pm 0.05 mm (0.039 \pm 0.002 in.)
Inside diameter of ring at bottom	70 \pm 3 mm (2.75 \pm 0.12 in.)
Inside diameter of ring at top	60 \pm 3 mm (2.36 \pm 0.12 in.)
Height of ring	40 \pm 1 mm (1.57 \pm 0.04 in.)
Graduated scale	The graduated scale, when compared with a standard scale accurate to within 0.1 mm at all points, shall not show a deviation at any point greater than 0.25 mm.

¹ This method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-1 on Cement and is the direct responsibility of Subcommittee C01.30 on Time of Set.

Current edition approved Aug. 26, 1977. Published November 1977. Originally published as C 191 - 44. Last previous edition C 191 - 74.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Part 13.

³ Generally defined, the sensibility reciprocal is the change in load required to change the position of rest of the indicating element or elements of a nonautomatic-indicating scale a definite amount at any load. For more complete definition, see "Specifications, Tolerances, and Regulations for Commercial Weighing and Measuring Devices," *Handbook H 44*, National Bureau of Standards, September 1949, pp. 92 and 93.

A tentative revision appears at the end of this standard.

3. Temperature and Humidity

3.1 The temperature of the air in the vicinity of the mixing slab, the dry cement, molds, and base plates shall be maintained between 20 and 27.5 C (68 and 81.5 F). The temperature of the mixing water and of the moist closet or moist room shall not vary from 23 C (73.4 F) by more than ± 1.7 C (3 F).

3.2 The relative humidity of the laboratory shall be not less than 50 percent. The moist closet or moist room shall be so constructed as to provide storage facilities for test specimens at a relative humidity of not less than 90 percent.

4. Preparation of Cement Paste⁴

4.1 Mix 650 g of cement with the percentage of mixing water required for normal consistency following the procedure described in ASTM Method C 305, Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency.² Distilled water is preferable and shall be used for all referee or cooperative tests.

5. Procedure

5.1 *Molding Test Specimen*—Quickly form the cement paste, prepared as described in Section 4, into a ball with the gloved hands and toss six times from one hand to the other, maintaining the hands about 6 in. (152 mm) apart. Press the ball, resting in the palm of the hand, into the larger end of the conical ring, *G*, Fig. 1, held in the other hand, completely filling the ring with paste. Remove the excess at the larger end by a single movement of the palm of the hand. Place the ring on its larger end on a glass plate, *H*, and slice off the excess paste at the smaller end at the top of the ring by a single oblique stroke of a sharp-edged trowel held at a slight angle with the top of the ring. Smooth the top of the specimen, if necessary, with one or two light touches of the pointed end of the trowel. During the operation of cutting and smoothing, take care not to compress the paste. Immediately after molding, place the test specimen in the moist closet or moist room and allow it to remain there except when determinations of time of setting are being made. The specimen

shall remain in the conical mold, supported by the glass plate, *H*, throughout the test period. A time of set specimen and an autoclave bar may be made from the same batch.

5.2 *Time of Setting Determination*—Allow the time of setting specimen to remain in the moist cabinet for 30 min after molding without being disturbed. Determine the penetration of the 1-mm needle at this time and every 15 min thereafter (every 10 min for Type III cements) until a penetration of 25 mm or less is obtained. For the penetration test, lower the needle *D* of the rod *B* until it rests on the surface of the cement paste. Tighten the set screw, *E*, and set the indicator, *F*, at the upper end of the scale, or take an initial reading. Release the rod quickly by releasing the set screw, *E*, and allow the needle to settle for 30 s; then take the reading to determine the penetration. (If the paste is obviously quite soft on the early readings, the fall of the rod may be retarded to avoid bending the 1-mm needle, but the rod shall be released only by the set screw when actual determinations for the setting time are made.) No penetration test shall be made closer than $\frac{1}{4}$ in. (6.4 mm) from any previous penetration and no penetration test shall be made closer than $\frac{3}{8}$ in. (9.5 mm) from the inside of the mold. Record the results of all penetration tests and, by interpolation, determine the time when a penetration of 25 mm is obtained. This is the initial setting time. The final setting time is when the needle does not sink visibly into the paste.

5.3 *Precautions*—All the apparatus shall be free from vibration during the penetration test. Take care to keep the 1-mm needle straight, and the needle must be kept clean as the collection of cement on the sides of the needle may retard the penetration, while cement on the point may increase the penetration. The time of setting is affected not only by the percentage and the temperature of the water used and the amount of kneading the paste received, but also by the temperature and humidity of the air, and its determination is therefore only approximate.

⁴ See ASTM Method C 187, Test for Normal Consistency of Hydraulic Cement, *Annual Book of ASTM Standards*, Part 13.

For additional useful information on details of cement test methods, reference may be made to the "Manual of Cement Testing," which appears in the *Annual Book of ASTM Standards*, Part 13.

TABLE 1 Permissible Variations on Weights

Weight, g	Permissible Variations on Weights in Use, plus or minus, g
500	0.35
300	0.30
250	0.25
200	0.20
100	0.15
50	0.10
20	0.05
10	0.04
5	0.03
2	0.02
1	0.01

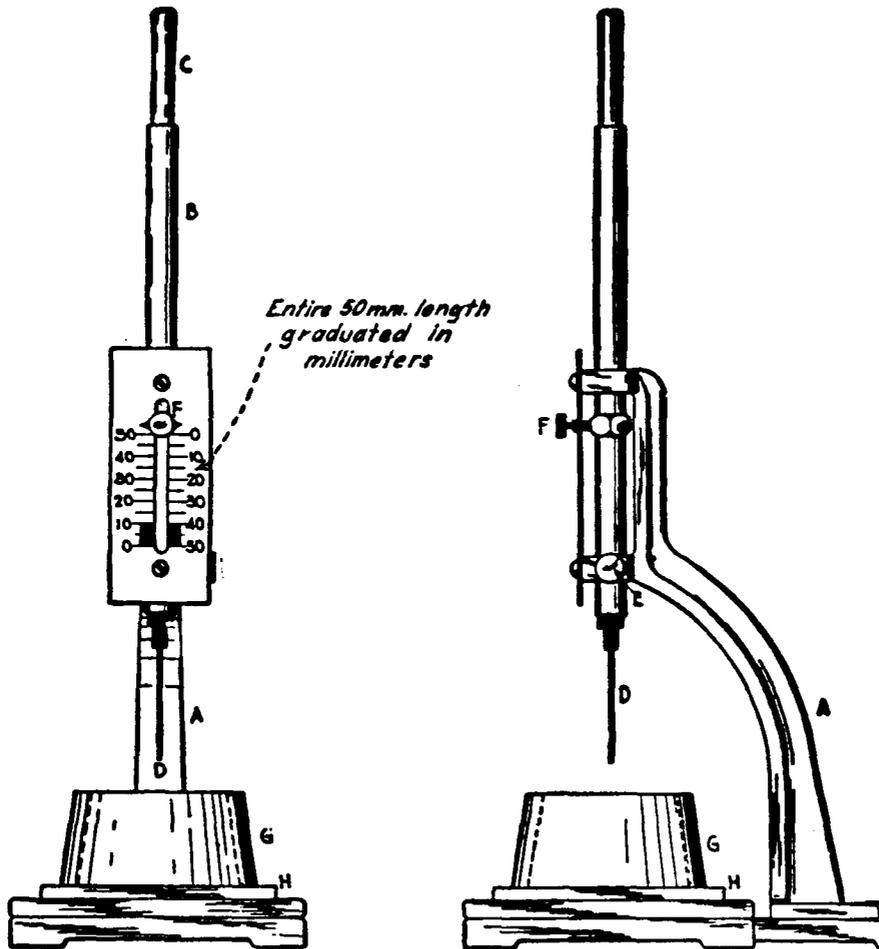


FIG. 1 Vicat Apparatus.

Editorial Note

The following tentative revision of this standard has been accepted by the Society for the purpose of eliciting criticisms for which due cognizance will be taken before the revision is approved for incorporation in the standard. Criticisms should be addressed to the Society, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

Replace Section 2.4 with the following:
 2.4 *Vicat Apparatus*—The Vicat apparatus shall consist of a frame, *A* (see Fig. 1), bearing a movable rod, *B*, weighing 300 g., one end, *C*, the plunger end, being 10 mm in diameter for a

distance of at least 50 mm and the other end having a removable steel needle, *D*, for initial setting time determination, 1 mm in diameter and 50 mm in length, and a threaded removable annular needle, *I*, as shown in Fig. 2 for

determination of final setting-time. The rod *B* is reversible, and can be held in any desired position by a set screw, *E*, and has an adjustable indicator, *F*, which moves over a scale (graduated in millimetres) attached to the frame, *A*. The paste is held in a conical ring, *G*, resting on a glass plate, *H*, about 100 mm square. The rings shall be made of a noncorroding, nonabsorbing material, and shall have an inside diameter of 70 mm at the base and 60 mm at the top and a height of 40 mm. In addition to the above, the Vicat apparatus shall conform to the following requirements:

Weight of plunger	300 ± 0.5 g (0.661 lb ± 8 grains)
Diameter of larger end of plunger	1 ± 0.05 mm (0.394 ± 0.002 in.)
Diameter of needle for initial set	1 ± 0.05 mm (0.039 ± 0.002 in.)
Annular needle for final set	as shown in Fig. 2
Inside diameter of ring at bottom	70 ± 3 mm (2.75 ± 0.12 in.)
Inside diameter of ring at top	60 ± 3 mm (2.36 ± 0.12 in.)
Height of ring	40 ± 1 mm (1.57 ± 0.04 in.)
Graduated scale	The graduated scale, when compared with a standard scale accurate to within 0.1 mm at all points, shall not show a deviation at any point greater than 0.25 mm.

Add a new section, 2.4.1, as follows:

2.4.1 *Needle I*—Needle *I* shall be of the same shape and section as needle *D*, but shall be 30 ± 2 mm (1.181 ± 0.079 in.) in length, and fitted with a metal attachment hollowed

out so as to leave a circular cutting edge 5 ± 0.1 mm (0.196 ± 0.004 in.) in diameter. See Fig. 2. The diameter at the top of the attachment shall be 3.3 ± 0.2 mm (0.130 ± 0.008 in.). The height shall be 6.4 ± 0.2 mm (0.252 ± 0.008 in.). The depth hollowed out shall be 0.5 ± 0.1 mm (0.020 ± 0.044 in.). A vent hole 0.75 mm in diameter (No. 68 drill) shall be provided as shown in Fig. 2. The length of projection of the needle beyond the cutting edge shall be 0.5 ± 0.1 mm (0.020 ± 0.004 in.).

Revise Section 5.2 as follows:

Change the title to *Determination of Initial Setting Time* and delete the last sentence.

Insert a new Section 5.3 as follows:

5.3 *Determination of Final Setting Time*—

For the determination of the final setting time replace the needle, *D*, of the Vicat apparatus with the needle, *I*, with an annular attachment, as shown in Fig. 2. The cement shall be considered to have acquired its final set when, upon applying the needle gently to the surface of the test specimen, only the needle makes an impression, while the attachment fails to do so. If a scum forms on the surface of the test block, use the underside of the test block for determining the final set.

Renumber the present Section 5.3 on Precautions to 5.4, and add the following at the end of the second sentence: "The air vent in the needle *I*, must be kept free of cement at all times."

Replace Fig. 1 with Figs. 1 and 2 as follows:

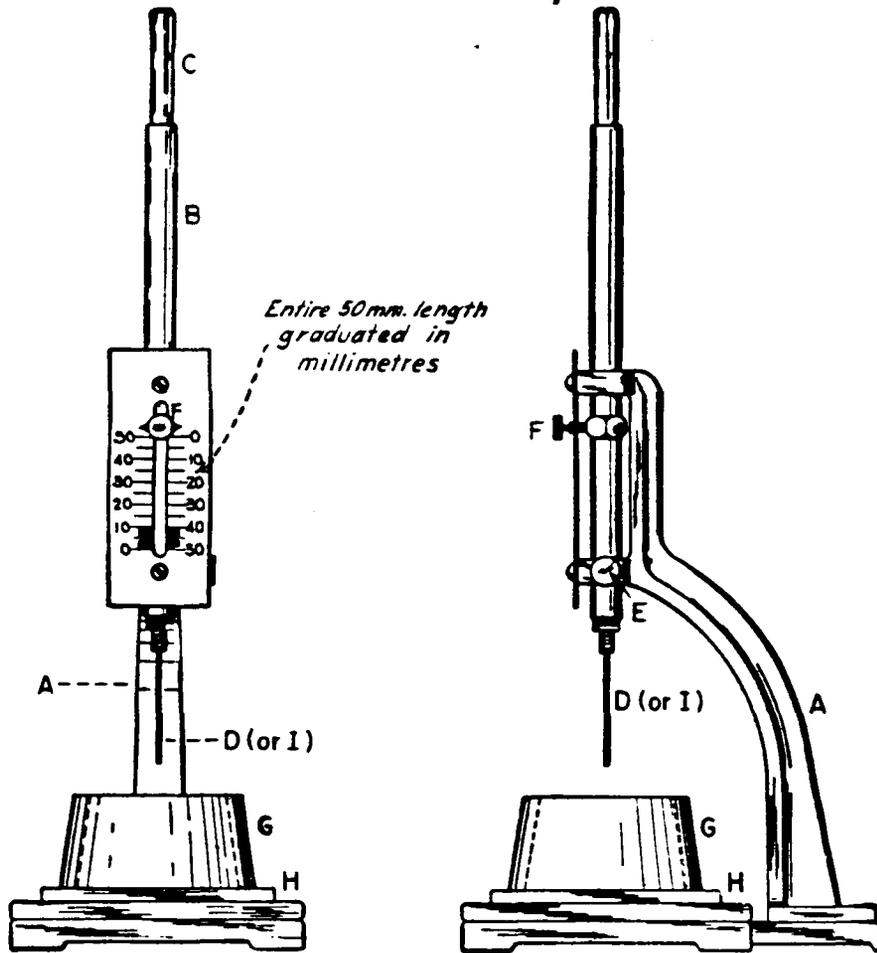


FIG. 1 Vicat Apparatus.

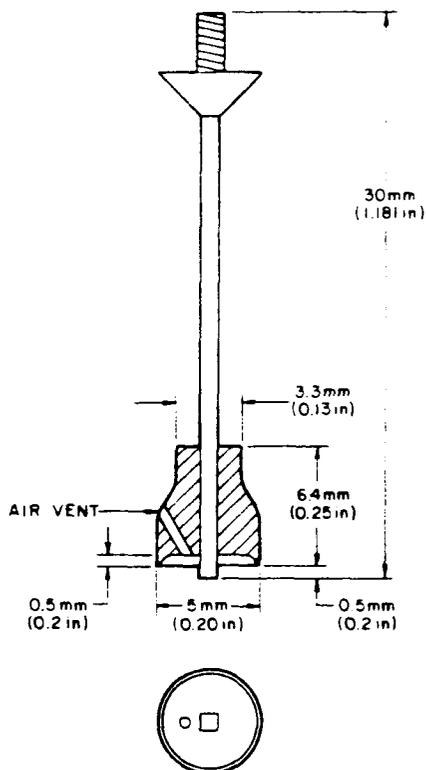


FIG. 2 Enlarged View of Needle I.

Tentative revision approved Feb. 28, 1975

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, is entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103, which will schedule a further hearing regarding your comments. Failing satisfaction there, you may appeal to the ASTM Board of Directors.

Guide for Cast-in-Place Low Density Concrete

Courtesy of . . .
THE MEARL CORPORATION
 220 Westfield Avenue, West
 Roselle Park, New Jersey 07204
 (201) 245-9500

Reported by ACI Committee 523

ALBERT LITVIN
 Chairman

RICHARD E. BARNES
 LESLIE A. BARRON
 IRWIN A. BENJAMIN
 FRANK M. CODA
 ROBERT A. CRIST
 FRANK G. ERSKINE
 H. C. FISCHER
 LOUIS FISHER
 RICHARD J. FRAZIER
 ERNST GRUENWALD

L. E. RIVKIND
 Secretary

W. C. HANSON
 GEORGE G. HOFF
 EUGENE R. JOLLY
 LEO M. LEGATSKI
 RONALD LEVY
 FRED C. Mc CORMICK
 RICHARD J. O'HEIR
 THOMAS W. REICHARD
 DON G. SIMPSON
 RUDOLPH C. VALORE, JR.

This Guide provides information on materials, properties, design, and proper handling of cast-in-place concretes having oven-dry unit weights of 50 pcf (800 kg/m³) or less. Such concretes achieve their low weight by the use of low density mineral aggregates or foam. These concretes are used to the greatest extent in roof deck systems, where advantage is usually taken of their insulating value.

Keywords: accelerators; admixtures (concrete); aggregates; air entrainment; cast-in-place; cellular concretes; compressive strength; fire resistance; foaming agents; formwork (construction); insulating concretes; lightweight concretes; modulus of elasticity; nailability; perlite; recommendations; roofs; shrinkage; thermal conductivity; thermal expansion; vermiculite.

CHAPTER 1—GENERAL

1.1—Scope

This Guide brings together pertinent data on field-placed low density concrete. The volume of this type of concrete has been growing since 1950; its largest use is in the field of roof decks for in-

dustrial and commercial buildings. The Guide provides the engineer or architect with information on the raw materials, properties, design, and proper handling of low density concrete.

Low density concrete is not included by reference in the ACI 318-63 building code.

1.2—Definition of low density concrete

Low density concrete, as used in this Guide, is defined as concrete made with or without aggregate additions to portland cement, water, and air to form a hardened material which when oven dried will have a unit weight of 50 pcf (800 kg/m³) or less.

1.3—Types of low density concrete

Low density concrete is of two generic types:

1.3.1 *Aggregate type* — Concrete made predominantly with low density mineral aggregates such as expanded perlite or vermiculite.

1.3.2 *Cellular type* — Concrete made by forming a cement matrix around air voids which are generated by preformed foams or special foaming agents, with or without the addition of mineral aggregates.

1.4—Usage of low density concrete

Field-placed, low density concrete is commonly used for fills, thermal insulation, and roof decks. The fills are used for subbases for slabs on grade, leveling courses for floors or roofs, and for developing cants and roof slopes. Advantage is usually taken of its specific insulation value when this concrete is used over concrete and steel deck roof systems. In addition to the insulation provided, stiffness is added to the steel roof systems.

Committee 523 was formed in 1958 under the title "Specifications and Practices for Foamed Concrete." The title was changed to "Insulating and Cellular Concrete" in 1959. The committee's mission is to "prepare recommendations for insulating concrete (oven-dry weight not over 50 lb per cu ft) and cellular concretes. Include construction methods on which such recommendations are based. Suggest special tests for control and compliance with specifications if needed."

On short spans, the higher density ranges of these concretes are used structurally with mesh reinforcement.

1.5—ASTM specifications referred to in this report*

For the convenience of the user of this guide, the specifications of the American Society for Testing and Materials referred to throughout the report are listed below with the year of the current edition.

- A 446-65T Specifications for Zinc-Coated (Galvanized) Steel Sheets of Structural Quality, Coils and Cut Lengths
- C 33-64 Specifications for Concrete Aggregates
- C 138-63 Method of Test for Weight Per Cubic Foot, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete
- C 144-66T Specifications for Aggregate for Masonry Mortar
- C 150-66 Specifications for Portland Cement
- C 157-66T Method of Test for Length Change of Cement Mortar and Concrete
- C 175-66 Specifications for Air-Entraining Portland Cement
- C 177-63 Method of Test for Thermal Conductivity of Materials by Means of the Guarded Hot Plate
- C 205-64T Specifications for Portland Blast-Furnace Cement
- C 332-66 Specifications for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete
- C 495-66 Method of Test for Compressive Strength of Lightweight Insulating Concrete
- C 513-63T Method for Securing, Preparing, and Testing Specimens from Hardened Lightweight Insulating Concrete for Compressive Strength
- C 567-65T Method of Test for Unit Weight of Structural Lightweight Concrete
- D 1037-64 Methods of Evaluating the Properties of Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials

CHAPTER 2—MATERIALS

2.1—Fillers for low density concrete

2.1.1. Mineral aggregates

2.1.1.1 Perlite aggregate is a naturally occurring siliceous rock which has been ex-

panded from 4 to 20 times its original volume by heating. The concrete aggregate has a dry, loose weight of 7½ to 12 pcf (120-192 kg/m³) and should conform to ASTM C 332, Group I.

2.1.1.2 Vermiculite aggregate is a naturally occurring micaceous material which has been exfoliated from 6 to 20 times its original volume by heating. The concrete aggregate has a dry, loose weight of 6 to 10 pcf (96-160 kg/m³) and should conform to ASTM C 332, Group I.

2.1.1.3 Other aggregates for use in low density concrete may be prepared by expanding, calcining, or sintering various natural or artificial materials. When used they should conform to ASTM C 332, Group II.

2.1.1.4 Sands conforming to ASTM C 33, Concrete Aggregates, and C 144, Aggregate for Masonry Mortar, are acceptable. Sands of other gradations may be used where their acceptability has been demonstrated.

2.1.2 Foams

2.1.2.1 Preformed foam. Preformed foam is generated by introducing controlled quantities of air, water, and foaming agent under pressure into a foam nozzle. Preformed foam is blended with cement slurry or cement-aggregate slurry in a variety of mixing devices, either batch or continuous. The foam must have sufficient stability to maintain its structure until the cement sets to form a matrix of low density concrete. Up to 80 percent of the final mix volume may be air added as preformed foam.

Foam generation and proportioning into the cement slurry is regulated to achieve control of final strength and density. Additional amounts of foam sometimes are necessary to make up for losses which may occur in blending, pumping, and placing of the foam concrete.

2.1.2.2 In-situ foam. In-situ foam is generated from the high speed, high shear mixing in an open mixer, of a mixture of water, foaming agent, cement, and aggregates, if any, with simultaneous air entrapment. It is sometimes advisable to mix for a short period after adding foaming agent to the water, before addition of cement and aggregates (if any) to allow foam to form in the mixer. Initially large air bubbles are reduced to a reasonably uniform size as mixing proceeds. Up to 80 percent of the final concrete mix volume may be air entrained by the mechanical mixer.

The quantity of foaming agent required is determined by trial mix and depends on the

*The specifications listed were the latest editions at the time this report was prepared. Since these specifications are revised frequently, generally in minor details only, the user of this guide should check directly with the sponsoring society if it is desired to refer to the latest edition.

type of foaming agent, the efficiency of the mixer, and the unit weight of concrete desired.

2.2—Portland cement

Portland cements or portland blast furnace slag cements may be used. They should conform to the respective ASTM Specifications: C 150, Type I or Type III; C 175, Type IA or Type IIIA; C 205, Type IS or Type IS-A. High-early-strength cements Type III or IIIA are often used to advantage to produce low density concrete.

2.3—Admixtures

2.3.1 *Air-entraining* — Air-entrainment is normally used with the aggregate types of low density concretes where up to 35 percent by volume of air is generated in the mix. The air-entraining agent may be prepackaged with the aggregate or added at the mixer. The amount of air entrainment needed to develop a certain density is determined by trial mix or in accordance with the aggregate manufacturer's recommendations.

2.3.2 *Accelerators* — Acceleration, when required, may be obtained by use of heat, Type III cement, and/or chemical accelerators. Most commercial accelerators contain varying amounts of chloride salts. This type should not be used in the concrete if it is placed on steel forms, if mesh is used for reinforcement, or if uncoated aluminum conduit or other aluminum members are embedded in the concrete.

CHAPTER 3—CONCRETE PROPERTIES

3.1—Strength values

3.1.1 *Compressive strength* — The compressive strength of low density concrete is not critical when it is used for nonstructural purposes. Requirements for strength are used for quality control of the concrete.

Compression tests for low density concrete should be made in accordance with ASTM C 495 or C 513. The compressive strength is related to the oven-dry unit weight of the concrete as indicated in Table 3.1.1.

3.1.2 *Walkability* — "Walkability" is a term that defines the ability of the low-density concrete to

TABLE 3.1.1—COMPRESSIVE STRENGTH RANGES FOR LOW DENSITY CONCRETE

Oven dry unit weight		Usual range of Compressive strength at 28 days	
pcf	kg/m ³	psi	kgf/cm ²
20-25	320-400	100-125	7.0- 8.8
25-30	400-480	125-225	8.8-15.8
30-35	480-560	225-350	15.8-24.6
35-40	560-640	350-450	24.6-31.6
40-50	640-800	450-750	31.6-52.7

Note: Concretes with strengths below 100 psi (7.0 kgf/cm²) have proved satisfactory as insulation for underground piping systems and wall cavities, as fills in abandoned underground structures and tunnel and mine cave-ins, or for shock mitigation.

sustain normal construction foot traffic; it is readily measured by a Proctor pentetrometer. For acceptable walkability, the average of five tests on the periphery of a 30 in. (76 cm) diameter circle should have a bearing value in excess of 10 lb (4.5 kg) with ¼ in. (0.64 cm) penetration of a 1/20 sq in (0.32 cm²) needle.

3.1.3 *Nailability* — Nailability of low density concrete is a property that may be important when it is necessary to attach roofing or wood members with nails. Nailing within 7 days of concrete placement is desirable. Two properties should be considered under this category:

1. The ability of the concrete to receive the type of nail to be used on the job without shattering or spalling.

2. The ability to hold the nail when a withdrawal force of 40 lb (18.2 kg) is applied.

Note: Nail withdrawal resistance is usually tested on an air dry specimen in accordance with the procedure of ASTM D 1037, Sections 40 to 45.

3.2—Other physical property values

3.2.1 *Shrinkage* — The shrinkage of low density concrete is not usually critical when it is used for insulation or fill, except that excessive shrinkage can cause curling. For structural use the shrinkage should be considered; it can be measured in accordance with ASTM C 157 "Volume Change of Cement Mortar and Concrete." Shrinkage after 6 months at 50 percent relative humidity is usually within the following range:

Type of concrete	Usual range of shrinkage at 180 days, percent
Perlite	0.10-0.30
Vermiculite	0.20-0.45
Cellular	0.20-0.60

3.2.2 *Oven-dry unit weight* — The oven-dry unit weight is a measure of the insulation value of the concrete. Unit weight may be determined in accordance with the requirements of ASTM C 495, "Method for Test for Compressive Strength of Lightweight Insulating Concrete."

For wet unit weight determination at time and point of placing, ASTM C 138 procedure may be satisfactory. For certain mixes consolidation of the concrete in the container is better achieved by tapping the sides of the container than by rodding the concrete. The wet unit weight will vary for the various types of low density concrete due to varying water content requirements, so no correlation between types can be made. The wet weight of the particular concrete provides a direct quality control tool. With it a close approximation of the ultimate dry density of the concrete can be determined.

The calculation shown in ASTM C 567-65T, Section 5.4, is also useful as a method for determining an approximate oven-dry unit weight when batch quantities, moisture content of aggregates, and the volume of the batch are known. The equation is:

$$O_c = \frac{W_{da} + 1.2W_{ct}}{S}$$

where

- O_c = approximate oven-dry weight, pcf
- W_{da} = weight of dry aggregate in batch, lb
- W_{ct} = weight of cement in batch, lb
- S = volume of concrete in the batch, cu ft

3.2.3 Thermal insulation values — The thermal conductivity of low density concrete should be measured by means of the Guarded Hot Plate, ASTM C 177. When test data for a specific concrete are not available, the table below may be used as a general guide.

Oven-dry unit weight		Thermal conductivity (k factor) *	
pcf	kg/m ³	Btu in./hr ft ² F	mw/cm C
20	320	0.70	1.01
30	480	0.90	1.30
40	640	1.15	1.66
50	800	1.40	2.02

*Representative values for dry materials from ASHRAE Guide and Data Book. They are intended as design (not specification) values for materials in normal use. For the conductivity of a specific concrete, the user may obtain the value supplied by the producer or secure the results of tests.

3.2.4 Modulus of elasticity-relationship to compressive strength — Data relating modulus of elasticity to compressive strength and oven-dry unit weight are listed for information as follows:

Concrete type	Oven-dry unit weight		Compressive strength		Modulus of elasticity	
	pcf	kg/m ³	psi	kgf/cm ²	10 ³ psi	10 ⁴ kgf/cm ²
Perlite	20-40	320-640	80-450	5.6-32	70-250	4.9-18
Vermiculite	15-40	240-640	70-400	4.9-28	40-140	2.8-10
Cellular (S) *	25-35	400-860	130-250	9.1-18	20-100	1.4-7
Cellular (N) †	15-40	240-640	70-450	4.9-32	10-240	0.7-17

*Cement-sand ratio = 1
†Neat cement

CHAPTER 4—DESIGN CONSIDERATIONS

4.1—Structural capacity

Conventional theories of design for structural concrete are not applicable to low density concrete. Design requirements for low density insulating concrete depend primarily on the installation. Compressive strengths specified for insulating fills, light structural roof decks placed over permanent forms, and for floor fills may range from 100 to 1000 psi, (7 to 70 kgf/cm²) while compressive strengths in excess of 1000 psi (70 kgf/cm²) might be required for sprayed-in-place wall assemblies.

For most systems where flexural loading of the low density concrete is required, numerous structural tests have been conducted to substantiate ultimate load capacities. Reports of these investigations have shown that the failure loads considerably exceed the design loads. These reports have been furnished to the committee, and are available from the manufacturers of low density aggregates and foaming agents.

4.2—Expansion and contraction joints

In certain applications, such as roof deck construction, low density concrete used for insulating purposes is the first rigid material to receive the effects of solar radiation. Since this exposure could represent a temperature change in the concrete of up to 100 F (38 C), some producers of aggregates used in low density concrete recommend that expansion and contraction joints be provided through the concrete at the junction of all roof projections and the concrete.

Careful consideration should be given to the selection of the joint material, as most materials suitable for use with structural concrete have compressive strengths comparable to the low density concrete. A highly compressible material which will compress to one half its thickness under a load of 25 psi (1.8 kgf/cm²) is normally recommended.

Low density concrete employing certain types of lightweight aggregates may not require expansion joints because the initial shrinkage of the concrete is greater than any combination of thermal, moisture, or freezing expansion that may be expected to occur in a roof deck. Coefficients of thermal expansion for low density concretes are as follows:

Concrete type	Coefficient of thermal expansion	
	per deg F	per deg C
Perlite	4.3 to 6.1 × 10 ⁻⁶	7.7 to 11.0 × 10 ⁻⁶
Vermiculite	4.6 to 7.9 × 10 ⁻⁶	8.3 to 14.2 × 10 ⁻⁶
Cellular	5.0 to 7.0 × 10 ⁻⁶	9.0 to 12.6 × 10 ⁻⁶

CHAPTER 5—MIXING AND HANDLING

5.1—Storage of materials

All materials should be stored in such a manner as to prevent deterioration or the intrusion of foreign matter.

5.2—Concrete designation

5.2.1 Unit weight — The required oven-dry unit weight should be used to designate the concrete.

5.2.2 Mix proportions — Mix proportions and the wet unit weight necessary to produce the required oven-dry unit weight should be previously established by reliable test data for the materials to be used.

5.3—Mixing procedure

5.3.1 *Mixer* — All concrete should be mechanically mixed to produce a uniform distribution of the materials with a suitable consistency and the required wet unit weight. Excessive mixing should be guarded against because of the possibility of changes in unit weight and consistency.

5.3.2 *Procedure* — In batch mixing operations, the required amount of water should be added to the mixer followed by the cement, air-entraining or foaming agent, aggregate, preformed foam and/or other additives. Materials should be mixed so that the design wet unit weight is obtained at the point of placement. Allowance should be made for any additional mixing which may result from the method of placement, such as mechanical or pneumatic pumping, and for any unit weight changes which may result from such method of placement.

When transit mixing equipment is used for low density concrete containing aggregate, the mixer should not be operated on the way to the job site.

For continuous mixing operations, provision should be made for reasonably uniform (and continuous) rate of addition of all concrete components at appropriate positions in the mixing machine, and in correct ratio, to assure uniformity and the required unit weight at the point of placement.

5.4—Conveying

All equipment for conveying and placement, whether manual or mechanical should be of such size and design to insure uniform unsegregated concrete at the point of placement.

CHAPTER 6—FORMING AND PLACING

6.1—Form systems

The largest percentage of low density concrete is placed in roof construction — either as a fill or as a roof deck. The forming used in such practices is not the same as is generally associated with conventional concrete, but is achieved by using a form which becomes part of the in-place construction. Typical forming systems are: (1) corrugated, galvanized steel sheet, (2) expanded metal lath or paper backed wire mesh, (3) non-structural formboard, (4) structural concrete, (5) wood.

6.1.1 *Corrugated galvanized steel sheet* — The corrugated, high tensile, galvanized steel sheet should conform to the requirements of ASTM A 446, Grade E, $1\frac{1}{4}$ oz (0.038 gm/cm²) coating class. The steel sheets are designed to carry all the loads and the gage of the steel varies according to the span. The sheets are secured to the framing by either welding or screwing techniques, according to the individual manufacturer's

recommendations. The corrugated steel sheets should be vented at the sidelaps, providing a venting area of at least 0.10 sq in. per sq ft of roof surface (7 sq cm per sq m).

6.1.2 *Lath and mesh systems* — Lath and mesh systems use either a paper-backed wire mesh or a ribbed expanded metal lath as the supporting medium. The paper-backed wire mesh is generally 34-1212 electrically welded mesh of cold-drawn galvanized steel wire with water-resistant paper attached to the mesh. The use of this mesh should be in accordance with the manufacturer's recommendations. The expanded metal lath is either a $\frac{3}{8}$ in. (0.95 cm) rib lath weighing 3.4 or 4.0 lb per sq yd (1.7 or 2.0 kg/m²), or a $\frac{3}{4}$ in. (1.91 cm) rib lath weighing 5.4 or 6.7 lb per sq yd (2.7 or 3.3 kg/m²). The lath should be fabricated of copper-bearing steel coated with rust-inhibitive paint after expanding.

6.1.3 *Form boards* — Form boards are either vegetable fiber, coarse wood fiber, glass fiber, or cement-asbestos. These boards are supplied either 24 in. or 32 in. (61 or 81 cm) wide and are supported on the flanges of a subpurlin, such as a bulb tee or a trussed tee. In these systems a galvanized reinforcing mesh is draped over the subpurlins to lay in the lower portion of the concrete slab. This mesh is normally either 48-1214 or 22-1414 welded wire fabric, or a woven wire fabric consisting of No. 19 gage wires woven to form 2 in. (5 cm) hexagonal openings with No. 16 gage wires woven longitudinally every 3 in. (8 cm) across the width of the material. When placing the reinforcing mesh the ends should be lapped not less than 4 in. (10 cm) and the sides of the mesh should be lapped not less than 1 in. (2.5 cm).

6.1.4 *Structural concrete* — The structural concrete base for the low density concrete may be either cast-in-place or precast. In roof construction where the top surface of the low density concrete is sealed with an impermeable membrane, provision should be made for venting. This may be achieved by taking advantage of unsealed joints between precast structural concrete elements or by otherwise venting laterally or vertically. With monolithic roof decks the minimum venting usually required is one 6 in. (15 cm) diameter vertical vent stack for each 1000 sq ft (93 m²) of roof fill, with at least two stacks used in a roof.

6.1.5 *Wood decks* — Low density concrete may be used over structural wood roof decks as drainage fill and insulation. A nonvapor barrier type membrane, such as a 15-lb asphalt saturated felt, should be securely fastened to the wood deck, lapping the edges, prior to installing the concrete fill. Provisions for expansion joints or venting

should be in accordance with the concrete manufacturer's recommendations.

6.2—Finishing

Finishing of low density concrete is achieved by screeding to the desired slope and thickness.

6.3—Curing

The surface of freshly finished low density concrete should be prevented from drying for not less than 3 days. Traffic should not be permitted on the newly placed concrete until it demonstrates adequate walkability, as defined in Section 3.1.3.

When air temperatures of 40 F (4.4 C) or above are predicted during the first 24 hr after placing, normal curing techniques may be used.

6.4—Weather

When air temperatures between 30 F and 40 F (-1 C and 4 C) are predicted during the first 24 hr after placing of the low density concrete, Type III or IIIA high-early-strength cement should be used. Mixing water heated to a maximum of 120 F (49 C) may also be used. Unless special techniques are used, low density concrete should not be placed during freezing weather. (See Section 2.3.2).

Low density concrete should not be placed during rain or snow, nor should it be placed on a deck or form when standing water, snow, or ice are present.

6.5—Roofing readiness

The surface of the low density concrete should be of sufficient hardness for application of roofing. The surface hardness should be adequate to withstand foot traffic and other light roofing operations without damage. The screeded surface of the low density concrete should be free from extreme roughness.

The exposed surface should be sufficiently dry so that hot mopped asphalt or pitch will go on smoothly without frothing and will adhere well to the surface.

CHAPTER 7—FIRE RESISTANCE

The fire retardant functions of low density concrete range from that of supporting loads during and after a fire to that of significantly reducing heat transfer. This ability to resist the flow of heat at high temperatures, as measured by the rise in temperature on the unexposed side of an assembly during a fire test, is an important criterion in measuring fire retardance.

Fire retardance tests have been conducted on walls, floors, and roof assemblies constructed of low density concrete. Test results and construction details are published by the American Insurance Association and Underwriters Laboratories, Inc.

CHAPTER 8—SELECTED REFERENCES

1. Short, A., and Kinniburgh, W., *Lightweight Concrete*, C. R. Books, Ltd., London, 1963, 368 pp.
2. Short, A., and Kinniburgh, W., "The Structural Use of Aerated Concrete," *The Structural Engineer* (London), V. 39, No. 1, Jan. 1961.
3. Valore, R. C., Jr., "Insulating Concretes," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 53, Nov. 1956, pp. 509-532.
4. Valore, R. C., Jr., "Cellular Concretes," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 50: No. 9, May 1954, pp. 773-796; No. 10, June 1954, pp. 817-836.
5. Kluge, Ralph W., Sparks, Morris M.; and Tuma, Edward C., "Lightweight-Aggregate Concrete," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 45, No. 9, May 1949, pp. 625-642.
6. Litvin, Albert, and Brinkerhoff, C. H., "A Penetration Test for Determining the Compressive Strength of Low-Density Concrete," *Journal, PCA Research and Development Laboratories*, V. 8, No. 1, Jan. 1966, pp. 2-9.
7. Benjamin, I. A., and Ratliff, G. D., Jr., "An In-Place Strength Test for Low-Density Concrete," *ASTM Bulletin*, No. 241, Oct. 1959, pp. 23-26.
8. "American Standard Specifications for Vermiculite Concrete Roofs and Slabs-On-Grade," ASA122. 1-1965, American Standards Assn., Inc.
9. "Building Materials List," Underwriters Laboratories, Inc., Northbrook, Ill.
10. Grimm, C. T., "Vermiculite Insulating Concrete," *Civil Engineering—ASCE*, V. 33, No. 11, Nov. 1963, p. 69.
11. "Sound Transmission Loss Test," *Reports* No. L-136-3-63 and L-136-6-63, Michael J. Kodaras Acoustical Laboratories, Perlite Institute, Inc., 1963.
12. Ryan, J. V., and Bender, E. W., "Fire Tests of Precast Cellular Concrete Floors and Roofs," *Monograph* 45, National Bureau of Standards, 1962.
13. "Report on Bethlehem Slabform Diaphragm Tests," Bethlehem Steel Co., 1962.
14. *Perlite Design Manual*, Perlite Institute, Inc.
15. "Report on Tests on Composite Deck of Tufcor and Heavy Duty Corruform with Lightweight Concrete Fill Acting as a Diaphragm to Resist Lateral Forces," Barnes, S. B., and Associates, Granco Steel Products Co., 1956.
16. "Load Tests on Tufcor-Perlite Roof Slabs," *Report* No. 282-T-403, Pittsburgh Testing Laboratory, Granco Steel Products Co., 1954.
17. "Zonolite Concrete," Universal Zonolite Insulation Co., Chicago, 1941.
18. Legatski, L. M., and Mansour, Alex E., Jr., "Properties and Proportioning of Elastizell Cellular Concrete," *Report* No. 2326-32-F, University of Michigan Research Institute, Aug. 1958.
19. "Fire Resistance Ratings," American Insurance Association, New York.
20. McCormick, Fred C., "Rational Proportioning of Preformed Foam Cellular Concrete," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 64, No. 2, Feb. 1967, pp. 104-110.
21. "Uniform Load Test," *Report* No. 1979-60, The Haller Testing Laboratories, May 17, 1960, The Mearl Corp., Roselle Park, N.J.
22. "Load Test on a Tufcor-Insulating Concrete Roof Deck Assembly," *Report* No. 436 EJS, Robert W. Hunt Co., Nov. 25, 1958, Granco Steel Products Co.

This report was submitted to letter ballot of the committee, which consists of 22 members, all of whom voted affirmatively.

Sinopsis—Résumé—Zusammenfassung

Guía para Concreto Colado en el Lugar de Baja Densidad

Esta guía proporciona información sobre materiales, propiedades, diseño, y manejo apropiado de concreto colado en el lugar con un peso de material secado al horno de 50 lbs/pie³ (800 kg/m³). Tales concretos deben su peso ligero bajo el uso de agregados de baja densidad o espuma. Estos concretos son usados principalmente para sistemas de techo donde usualmente se saca ventaja de sus propiedades aislantes.

Guide pour le Béton de Faible Densité Coulé en Place

Ce guide fournit des renseignements sur les matériaux, les propriétés, le dimensionnement et la

manipulation correcte de bétons coulés en place et ayant des masses volumiques après séchage au four, inférieures ou égales à 800 kg/m³. Ces bétons de faible densité sont obtenus par l'utilisation de granulats minéraux ou par dégagement de gaz. Ces bétons sont utilisés surtout dans les toitures où l'on tire avantage de leurs propriétés isolantes.

Anleitung zur Herstellung von Beton mit niedriger Rohdichte auf der Baustelle

Angaben über die zu verwendenden Materialien, Eigenschaften, Entwurf, Herstellung und Nachbehandlung von auf der Baustelle hergestelltem Beton mit einer Trockenrohichte von weniger als 800 kg/m³ werden gegeben. Das geringe Gewicht dieser Betone wird durch die Verwendung von mineralischen Leichtzuschlagstoffen oder von Schaum sichergestellt. Diese Betone werden in grösstem Umfang zur Herstellung von Dachdecken-Systemen verwendet, wo auch ihre günstige Wärmedämmung genutzt werden kann.

DISCUSSION

Discussion of papers published
in the September 1967 JOURNAL

Discussion of a report by
ACI COMMITTEE 523

Disc. 64-44

Guide for Cast-in-Place Low Density Concrete*

DISCUSSION BY: FRANK M. CODA, OWEN RICHARDS, and COM-
MITTEE

By FRANK M. CODA¹

The writer feels that the report, in general, is a most useful document.

However, the last sentence in Section 6.1.4 recommends one 6 in. diameter vertical vent stack for each 1000 sq ft of roof fill, with at least two stacks used in a roof. The perlite industry has never recommended vent stacks for venting perlite concrete and, therefore, we feel the inclusion of this statement is not truly representative of all lightweight insulating concretes.

By OWEN RICHARDS²

This Guide is valuable as an initial effort but should serve only as the basis for future work to bring continuing clarification and improvement. As presented, the Guide's bland generalities lack important data and specific guidance usually present in Institute reports.

Air content

ASTM C 173-66, "Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Volumetric Method," should be cited among the ASTM specifications in Section 1.5, as the gravimetric method is precluded from use with lightweight concrete of all categories.

The Guide cites up to 80 percent air by volume in cellular concretes and up to 35 percent in aggregate concretes. In fact, apparent design figures published by aggregate manufacturers require about 37½ percent air entrained volume, with incidental, entrapped or undefined air often contributing further to the volume. The volume of air has critical economic importance in the field.

Standard density ranges for lightweight concrete aggregates, limited by the extreme 6 pcf plus 100 percent figures of ASTM C 332-66, are so

great that the vital importance of air volume is obvious. In practice, aggregate sellers recognize that their costs are based on weight and buyers are interested only in volume, thus sellers can be most economically competitive by making their product of the lowest possible density.

ASTM C 11 proceedings foreshadow efforts to reduce the 6 pcf limit to 4½ pcf, or a factor of plus 166 percent instead of the 100 percent now allowed.

Handling, shipment, and mixing of these very lightweight materials tend to break down the friable aggregate, that is, tend to reduce the apparent bulk volume. Thus, if the concrete is to have the specified density or volume to fill the required area to the proper depth, greater dependence must be given to increased air.

As air, whatever its origin or form in concrete, costs less than aggregate, the buyer needs the protection of a method of determining air content. The Guide's ASTM specifications should include C 173-66!

Strength

Contrary to Section 3.1.1, strength of any concrete is critical, even if it is used for nonstructural purposes. The statement "Requirements for strength are used for quality control of the concrete" is confusing.

The "not critical" statement of Section 3.1.1 is immediately refuted by critical penetrometer and nailability limits of Sections 3.1.2 and 3.1.3.

Also, by stating that strength is not critical, a buyer may be led to assume that field tests are not important and that laboratory testing is sufficient. The writer believes that the Guide should emphasize the desirability of field tests and their field correlation with field densities and field-cured samples taken in accordance with ASTM C 513-63T.

Venting

There was discussion at the meeting of Committee 523 on Nov. 1, 1967, of the TAC request for

¹ACI JOURNAL, Proceedings V. 64, No. 9, Sept. 1967, p. 529.
²Member American Concrete Institute, Technical Director, Perlite Institute, New York, N. Y.
³Member American Concrete Institute, Minerals Consultant, Chevy Chase, Md.

specific venting requirements in Section 6.1.4. This discussion ended with apparent approval (negative votes were not polled) of a motion to suggest in the Committee Closure that users "follow manufacturer's recommendations."

The writer feels that this is inadequate. This avoids placing clear cut responsibility for built-up roofing blisters, early and long-continuing maintenance, through-roof leaks, warm-side condensation, heat insulation deficiencies, excessive heating expense, dimensional instability to the point of pushed-over parapets, and the other ills to which roofs are heir. These ills are commonly attributed to vapor pressures in insufficiently dried lightweight concretes, aside from other roof deck systems not within our purview. The standard argument is that one must "vent" for harmless relief of such pressures, vent from the top as in Section 6.1.4 over structural concrete, from the bottom with metal form clips, from the top by use of "breathing felts" or channel or spot or sprinkle mopping or any of a number of makeshift old or new techniques that follow "manufacturers' recommendations." The writer believes the "standard argument" is wrong and confused.

The proper approach, it appears to this writer, is to concentrate on the development of standards for closely controlled quality concrete suited to specific requirements.

Such a concrete would not require vents, which usually create more problems than they solve in any case. Such a concrete, with sufficient tensile strength and adhesive compatibility with continuously applied pitch or asphalt, will act in concert with the absolute vapor barrier of the built-up roofing to force vapors to escape harmlessly downward, even downward through low-permeability structural concrete of considerable thickness.

To achieve this end, the Guide should emphasize field determinations to clarify categories of concrete quality, citing density, air content by the volumetric method and strength values.

COMMITTEE CLOSURE

With reference to Mr. Coda's discussion, the recommendation for the use of vertical vent stacks was taken from "Venting Lightweight Insulating Concrete Roof Fills" by the National Roofing Contractors Association. This publication also suggests that where the over-all width is 50 ft or less, effective venting can be attained by the use of perimeter or edge venting, using an open type metal gravel guard or fascia. Some roofing contractors prefer not to use vertical vent stacks for widths over 50 ft. The producers of some low density concretes specify edge venting for any size roof with the further stipulation that only spot or channel mopping be permitted for the first ply of built-up roofing. In view of the lack of unanimity it is suggested that the recommendations of the low density aggregate producer or cellular concrete producer be followed for venting over structural concrete.

Mr. Richards' stress on the importance of inclusion of ASTM C 173-66 for the determination of air content is difficult to understand. The determination of air content of these concretes is difficult, if not impossible, to do accurately, and it has not been demonstrated that magnitude of air content has bearing on the quality of this type of concrete. Since the important properties of low density concrete, relative to its use in roof fill applications, are unit weight (which governs thermal conductivity) and compressive strength (which must be sufficient to withstand construction traffic), these methods have been included. These are *field* tests and the appropriate ASTM test methods have been cited. The penetration test mentioned by Mr. Richards is also a field test.

The committee is at a loss to understand why "closely controlled quality concrete" would not require venting. Such low density concretes contain substantial quantities of water which must be allowed to escape to develop the thermal insulation capabilities of the concrete and to avoid blistering of the built-up roofing.

Courtesy of . . .

THE MEARL CORPORATION

220 Westfield Avenue, West
Roselle Park, New Jersey 07204
(201) 245-9500

Guide for Low Density Precast Concrete Floor, Roof, and Wall Units

Reported by ACI Committee 523

ALBERT LITVIN
Chairman

L. E. RIVKIND
Secretary

LESLIE A. BARRON
IRWIN A. BENJAMIN
FRANK M. CODA
ROBERT A. CRIST
R. H. DUNN
FRANK G. ERSKINE
RICHARD J. FRAZIER

ERNST GRUENWALD
W. C. HANSEN
GEORGE G. HOFF
EUGENE R. JOLLY
LEO M. LEGATSKI
RONALD LEVY
FRED C. McCORMICK

RICHARD J. O'HEIR
THOMAS W. REICHARD
OWEN RICHARDS
DON G. SIMPSON
JOHN L. TANNER
ROBERT E. TOBIN
RUDOLPH C. VALORE, JR.

This Guide presents information on materials, fabrication, properties, design, and handling of precast concrete floor, roof, and wall slabs having oven-dry weights of 50 pcf (nom. 800 kg/m³) or less. These concretes achieve their low weight by the use of low density mineral aggregates, air, or other gases.

Keywords: cellular concretes; concrete construction; concrete slabs; deflection; floors; lightweight concretes; perlite; precast concrete; prefabrication; roofs; structural design; thermal conductivity; vermiculite; walls.

CHAPTER 1—GENERAL

1.1—Objective

The primary objective of this Guide is to outline practices of design and fabrication of low density [50 pcf (800 kg/m³) and under] precast reinforced concrete floor, roof, and wall units which will result in members of adequate load capacity,

durability, appearance, and over-all serviceability for the function intended. Units covered by this Guide should be protected from the free entry of water.

1.2—Scope

The recommendations of this Guide apply to precast low density reinforced concrete members which are designed and factory-produced for use

in structures. These recommendations are based largely on the service experience of millions of square feet of members as described above and are not intended to cover job-site fabrication.

1.3—Definition of low density concrete

This Guide includes precast concretes having oven-dry unit weights, as measured by ASTM C 495, of 50 pcf (nom. 800 kg/m³) or less, of the following types:

1.3.1 *Cellular concretes*—A cementitious product in which the low density is attained essentially by the inclusion of macroscopic voids resulting from a gas-releasing chemical reaction or the mechanical incorporation of air or other gases.

1.3.2—Concretes in which the low density is attained by the inclusion of low density mineral aggregates such as expanded perlite and vermiculite, along with suitable amounts of entrained air.

1.4—ASTM specifications

For the convenience of the user of this Guide the specifications of the American Society for Testing and Materials which may have application to the materials covered by the Guide are listed below with the year of the current edition:

- A 82-66 Specifications for Cold-Drawn Steel Wire for Concrete Reinforcement
- A 185-64 Specifications for Welded Steel Wire Fabric for Concrete Reinforcement
- A 615-67 Specifications for Deformed Billet Steel Bars for Concrete Reinforcement
- C 33-67 Specifications for Concrete Aggregates
- C 138-63 Method of Test for Weight Per Cubic Foot, Yield and Air Content (Gravimetric) of Concrete
- C 144-66T Specifications for Aggregate for Masonry Mortar
- C 150-67 Specifications for Portland Cement
- C 157-66T Method of Test for Length Change of Cement Mortar and Concrete
- C 175-67 Specifications for Air-Entraining Portland Cement
- C 177-63 Method of Test for Thermal Conductivity of Materials by Means of the Guarded Hot Plate
- C 332-66 Specifications for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete
- C 341-67T Method of Test for Length Change of Drilled or Sawed Specimens of Cement Mortar and Concrete
- C 415-63 Specifications for Quicklime and Hydrated Lime for Sand-Lime Products
- C 426-66T Method of Test for Drying Shrinkage of Concrete Block
- C 495-66 Method of Test for Compressive Strength of Lightweight Insulating Concrete

- C 513-63T Method for Securing, Preparing, and Testing Specimens from Hardened Lightweight Insulating Concrete for Compressive Strength
- C 567-65T Method of Test for Unit Weight of Structural Lightweight Concrete
- C 595-67T Specifications for Blended Hydraulic Cements
- E 122-58 Recommended Practice for Choice of Sample Size to Estimate the Average Quality of a Lot or Process

CHAPTER 2—MATERIALS

2.1—Aggregate

2.1.1—Concrete aggregates should conform to ASTM Specifications C 33, "Concrete Aggregates," C 144, "Aggregate for Masonry Mortar," or C 332, "Lightweight Aggregates for Insulating Concrete," provided, however, that aggregates which have been shown by test or actual service to produce concrete of the required unit weight, strength, durability, fire resistance, and wearing qualities may be used under Section 502 (a) Method 2, ACI 318-63, when permitted by the authority having jurisdiction.

2.1.2—The maximum size of the aggregate should in no case be larger than three-fourths the clear distance between reinforcing bars or the minimum clear distance between reinforcing bars and sides of the forms, nor larger than one-third of the narrowest dimension between sides of the forms in which the unit is cast, except that when concrete is compacted by means of pressure or high-frequency vibration, the maximum size of the aggregate should not be larger than one-half the narrowest dimension between the sides of the forms.

2.2—Portland cement

Portland cement should conform to ASTM Specifications C 150, "Portland Cement"; C 175, "Air-Entraining Portland Cement"; or Type IS portland blast-furnace slag cement and Type IS-A air-entraining portland blast-furnace slag cement of C 595 "Blended Hydraulic Cements."

2.3—Lime

Lime should conform to "Specifications for Quicklime and Hydrated Lime for Sand-Lime Products" (ASTM C 415).

2.4—Mixing water

Mixing water for concrete should be clear and free from injurious amounts of oils, acids, alkalis, salts, organic matter, or other deleterious substances.

2.5—Reinforcement

2.5.1—Reinforcement should be weldable steel conforming to ASTM Specifications A 615, "Deformed Billet Steel Bars for Concrete Reinforce-

ment," A 82, "Cold Drawn Steel Wire for Concrete Reinforcement," or A 185, "Welded Steel Wire Fabric for Concrete Reinforcement."

2.5.2—Reinforcement in concrete units to be autoclaved is usually protected by a corrosion-inhibiting coating such as a latex-modified portland cement slurry.

2.6—Admixtures

Air entraining, accelerating, retarding, water-reducing or pozzolanic admixtures may be used, if desired, provided that they conform to Sections 406, 407, or 408 of ACI 318-63, whichever is applicable. Valuable information on such materials may be obtained from the report by ACI Committee 212.* Note that accelerators containing chloride salts should not be used if mesh is used for reinforcement or if uncoated aluminum members are embedded in the concrete.

CHAPTER 3—CONCRETE PROPERTIES

3.1—Compressive strength

Low density concrete, used in units defined above, should have a minimum compressive strength of 300 psi (21 kgf/cm²). The compressive strength of these units shall be determined by either of the following specifications, whichever is applicable: "Compressive Strength of Lightweight Insulating Concrete" (ASTM C 495), or "Preparing and Testing Specimens from Hardened Lightweight Insulating Concrete for Compressive Strength" ASTM C 513).

3.2—Drying shrinkage

The potential drying shrinkage of the low density concretes should be determined on three specimens in accordance with "Drying Shrinkage of Concrete Block" (ASTM C 426), or "Length Change of Drilled or Sawed Specimens of Cement Mortar and Concrete" (ASTM C 341). The average drying shrinkage determined by the method used should not be in excess of 0.20 percent. The test should be conducted employing either a test specimen cut from a manufactured unit that is unreinforced or has no steel in the longitudinal direction, or molded from the same batch of concrete from which the units are made. Specimens should be conditioned by immersion in water at 73.4 ± 2 F (23.0 ± 1.1 C) for 48 hr. Length measurements shall commence immediately on removal from the water. The specimen should be 2 in. x 2 in. (5 cm x 5 cm) in cross section and of sufficient length to provide the 10-in. (25.4 cm) gage length required.

3.3—Thermal insulation values

The thermal conductivity of low density concrete should be measured by means of the Guarded Hot Plate, ASTM C 177. When test data

for a specific concrete are not available, Table 3.3 may be used as a general guide:

TABLE 3.3—THERMAL CONDUCTIVITY OF VARIOUS LOW DENSITY CONCRETES

Oven-dry unit weight		Thermal conductivity (k factor)*	
pcf	kg/m ³	Btu in./hr ft ² F	mw/cm C
20	320	0.70	1.01
30	480	0.90	1.30
40	640	1.15	1.66
50	800	1.40	2.02

*Representative values for dry materials from ASHRAE Guide and Data Book. They are intended as design (not specification) values for materials in normal use. For the conductivity of a specific concrete, the user may obtain the value supplied by the producer or secure the results of tests.

CHAPTER 4—DESIGN

4.1—Structural analysis

The design of the concrete units covered by this Guide should be made with reference to allowable working stresses, service loads, and the accepted straight line theory of design.

4.2—Notation

- E_c = static modulus of elasticity of concrete
- E_s = modulus of elasticity of steel = 29,000,000 psi (2,039,000 kgf/cm²)
- f_c = allowable compressive stress
- f'_c = compressive strength of concrete specimen at 28 days unless otherwise specified
- h = vertical distance between wall supports
- I = moment of inertia
- l = span length of slab or beam
- n = ratio of modulus of elasticity of steel to that of concrete
- t = thickness of unit
- v_c = allowable shear stress
- w = total load per unit length of beam or per unit area of slab
- Δ = deflection

4.3—Allowable design stresses in concrete and reinforcement

4.3.1—For all reinforcement the design allowable stresses should not exceed one half of the specification yield strength, with a maximum of 24,000 psi (1687 kgf/cm²).

4.3.2—The design allowable stresses in the concrete should conform to the requirements of ACI 318-63 except as noted below:

- a. The shear stress v_c permitted on an unreinforced web should be 0.03 f'_c .
- b. Walls—Allowable compressive stress in concrete for precast low density concrete load-bearing walls should not exceed the following:

*ACI Committee 212, "Admixtures for Concrete," ACI JOURNAL, Proceedings V. 60, No. 11, Nov. 1963, pp. 1481-1524.

$$f_c = 0.2f'_c \left[1 - \left(\frac{h}{40t} \right)^3 \right]$$

Nonload-bearing partitions or curtain walls should be limited to an h/t ratio of not greater than 48.

4.4—Design of short-span roofing slabs by test

Precast concrete roofing slabs having structural concrete dimensions not exceeding 24 in. (61 cm) in width and 108 in. (274 cm) in length, and which are to be used for super imposed service loadings not exceeding 50 psf (244 kgf/m²) may be considered satisfactory with regard to strength design if the following requirements are met by tests of 0.25 percent of the units required, with a minimum of three units:

(1) Minimum ultimate uniform load capacity of a single unit 200 psf (977 kgf/m²)

(2) Average capacity of all units tested in accordance with (1) not less than 250 psf (1220 kgf/m²)

(3) Maximum deflection of a single unit at 150 psf (733 kgf/m²) uniform load 1/72 span

(4) Average deflection of all units at 150 psf (733 kgf/m²) uniform load not greater than 1/90 span

(5) Minimum ultimate resistance of a single unit to a concentrated load applied over a 4-in. (10 cm) circle to undamaged portion of the slab after the uniform load test; load to be applied at a point producing most severe test of slab, except distance between center of circle and edge of slab to be not less than 4-in. (10 cm) 400 lb (180 kgf)

(6) Average ultimate resistance of all units tested in accordance with (5) not less than 500 lb (227 kgf)

The limitations listed above should be used only for design and are not required or intended for production control.

4.5—Concrete protection for reinforcement

Precast floor, roof, and interior wall units made of high quality, factory-controlled low density concrete and mild steel reinforcement may, when used in locations protected from weather and moisture, be approved with 5/8 in. (1.6 cm) concrete cover for the reinforcement, provided, however, that the concrete cover in all cases should be at least equal to the diameter of the bars. For exterior wall units the cover shall be a minimum of 1 in. (2.5 cm). To insure exact final location of

the reinforcement, positive and rigid devices for that purpose should be used in the manufacturing process. Protective cover for direct fire hazard should be at least that necessary to comply with the local code or other applicable codes.

4.6—Deflections, span-depth ratios, and thickness

The permissible simple span deflections of floor and roof units are set by the test requirements of Section 6.1, but in no case should the span-depth ratio for floor units exceed 30, nor should the thickness be less than 2 in. (5 cm). For this purpose the thickness of a topping should not be included in computing the depth.

4.7—Modulus of elasticity

The modulus of elasticity should be determined essentially in accordance with "Static Young's Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio in Compression of Cylindrical Concrete Specimens" (ASTM C 469) except that the specimens may be rectangular prisms and only the results of the first cycle of loading should be utilized. Strains may be measured by use of electric strain gages, mechanical strain measuring devices, or dial gages attached to a suitable frame. Maximum strains should not exceed 0.001.

It is possible to determine E_c and n by direct measurement of deflection of production members in accordance with the transverse load section of ASTM E 72. Using the deflection formula:

$$\Delta = \frac{5wl^4}{384E_cI}$$

a value for E_cI can be calculated. By trial and error calculations for I of the uncracked transformed section, using assumed values of n , a value for E_c can be calculated. Correct values of E_c and n are obtained when the relationship E_s/E_c is equal to the assumed value for n . In lieu of test data, E_c may be calculated in accordance with Section 1102 of ACI 318-63.

4.8—Bearing

The allowable bearing unit stresses should be as provided for in ACI 318-63.

4.9—Interaction between units

The concrete roof and floor units should be designed so as to provide interaction with adjacent units, thus permitting the transfer of loads without differential displacement. Interaction between adjacent roof units may be omitted provided that the maximum difference in deflection between units is not greater than 1/8 in. (3.2 mm) under any condition of load for which the units are designed.

Where a floor system, which provides interaction between units, supports partition walls

parallel to the unit, or where heavy concentrated loads are to be expected, such loads may be considered to be uniformly distributed over not more than two identical units on each side thereof but never over a greater total width than 0.4 of the clear span distance.

4.10—Anchorage

4.10.1 *Cross rods*—All tensile steel should be anchored by a minimum of two cross rods welded in accordance with American Welding Society D12.1 "Recommended Practices for Welding Reinforcing Steel, Metal Inserts and Connections in Reinforced Concrete Construction" and located within 8 in. (20 cm) from each end and spaced at least 3 in. (7.6 cm) apart; additional cross rods should be spaced at intervals not exceeding 40 in. (100 cm). For compressive steel at least one cross rod should be placed 4 in. (10 cm) from each end; additional cross rods should be spaced at intervals not exceeding 40 in. (100 cm). The cross rods should be no smaller than one-third the area of the longitudinal steel.

4.10.2 *Weld shear strength*—The weld in shear should develop a minimum of one-half the specified yield strength times the cross-sectional area of the longitudinal steel.

4.11—Holes and openings

Holes may be drilled or cut providing the steel area in a unit is not reduced in excess of 30 percent. Slabs immediately adjacent to the cut slab should be made to act monolithically with the cut slab, either by keying, welding, doweling, or other mechanical means.

CHAPTER 5—MANUFACTURING

5.1—Curing

After molding, the units should be cured by one of the following methods:

(1) Moist curing at 70 F (21 C) or more for at least 7 days if normal (Type I) portland cement is used, or for at least 3 days if high-early-strength (Type III) cement is used

(2) High pressure steam curing

(3) Atmospheric pressure steam curing

(4) Other processes may be used which prevent the loss of water during curing and which result in the attainment of all minimum values of mechanical properties recommended in this Guide

5.2—Workmanship

The mix, gradation of the aggregate, and workability should be such as to insure complete filling of the form and intimate bond between the concrete and all steel. The finished product should have a uniformly textured surface and be essentially free of flaws and cracks which would

detract from its appearance and structural performance.

5.3—Dimensional tolerances

Dimensional tolerances should be as listed for precast concrete in the *Manual of Standard Practice for Detailing Reinforced Concrete Structures* (ACI 315).

5.4—Identification and marking

All units should bear a permanent identifying symbol as well as a mark indicating the top of the unit and its orientation. The identifying symbol should be the same one used for the unit in the manufacturer's literature and should be shown in a table on the setting plan together with the length, type, and size of unit and the amount, size, and arrangement of all reinforcement. The tabulated information should be complete enough to permit the calculation of the load capacity of the unit.

CHAPTER 6—TESTS

6.1—Tests of an individual flexural unit

When an individual unit designed by the working stress method is to be tested as a simple span beam, the zero for deflection measurements should be under the design total dead load to be carried. The maximum 24-hr midspan deflection due to a test load of twice the design live load [with minimum test loads of 80 and 60 psf (391 and 293 kgf/m²) for floors and roofs respectively] should not exceed 1/160 of the span, and the residual deflection immediately after removing the test load should not exceed 1/400 of the span. Such units should then be tested to complete failure. The test load at failure should be not less than two times the sum of design dead and live load, nor less than three times the design live load alone. If no failure fracture occurs, the load causing a deflection of 1/60 of the span should be considered the failure load (refer also to Section 4.6 herein).

6.2—Quality control, sampling and acceptance testing

The selection of minimum, average, and maximum concrete strengths, load capacities, and other characteristics of precast members should be based on standard statistical methods. To properly determine the range of acceptable values for these properties, a coefficient of variation *V* must be selected. According to ACI 214-65, good field practice in concrete making would be indicated by a coefficient of variation in the range of 10 to 15 percent for compressive strength. For precast concrete products made under factory controlled conditions, it would be reasonable to expect a coefficient of variation not greater than 10 percent.

It is recommended that the procedures outlined in ASTM E 122, "Choice of Sample Size to Estimate the Average Quality of a Lot or Process," be used. This procedure presents methods for calculating how many units to include in a sample in order to estimate, within a prescribed precision, the average strength, or other characteristics, for all the units of a lot of material or the average produced by the process.

CHAPTER 7—HANDLING

7.1—Handling

Units should be stored on suitably prepared supports, free from warp. They should not be delivered until they are of sufficient strength to be safely transported. They should be carefully placed in final position without overstressing or damage.

CHAPTER 8—FIRE RESISTANCE

The fire retardant functions of low density concrete range from that of supporting loads during and after a fire to that of significantly reducing heat transfer. This ability to resist the flow of heat at high temperatures, as measured by the rise in temperature on the unexposed side of an assembly during a fire test, is an important criterion in measuring fire retardance.

Fire retardance tests have been conducted on walls, floors, and roof assemblies constructed of low density concrete. Test results and construction details are published by the American Insurance Association and Underwriters Laboratories, Inc.

REFERENCES

1. Short, A., and Kinniburgh, W., *Lightweight Concrete*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1963, 368 pp.
2. Short, A., and Kinniburgh, W., "The Structural Use of Aerated Concrete," *The Structural Engineer* (London), V. 39, No. 1, Jan. 1961, pp. 1-16.
3. Valore, R. C., Jr., "Insulating Concretes," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 53, No. 5, Nov. 1956, pp. 509-532.
4. Valore, R. C., Jr., "Cellular Concretes," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 50: No. 9, May 1954, pp. 773-796; and No. 10, June 1954, pp. 817-836.
5. Kluge, Ralph W.; Sparks, Morris M.; and Tuma, Edward C., "Lightweight-Aggregate Concrete," *ACI JOURNAL, Proceedings* V. 45, No. 9, May 1949, pp. 625-642.
6. "Specifications for Vermiculite Concrete Roofs and Slabs on Grade," A122.1, United States of America Standards Institute, New York, 1965.
7. "Building Materials List," Underwriters' Laboratories, Inc., Chicago, Jan. 1968, 610 pp.
8. Grimm, C. T., "Vermiculite Insulating Concrete," *Civil Engineering—ASCE*, V. 33, No. 11, Nov. 1963, p. 69.

9. "Sound Transmission Loss Test," Reports No. L-136-3-63 and L-136-6-63, Michael J. Kodaras Acoustical Laboratories, Perlite Institute, Inc., New York, 1963.

10. Ryan, J. V., and Bender, E. W., "Fire Tests of Precast Cellular Concrete Floors and Roofs," *Monograph* 45, National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1962.

11. *Perlite Design Manual*, Perlite Institute, Inc., New York.

12. "Fire Resistance Ratings," American Insurance Association, New York.

13. "Zonolite Concrete," Universal Zonolite Insulation Co., Chicago, 1941.

14. *Lightweight Concrete*, RILEM Symposium (Göteborg, 1960), RILEM, Paris (Published by Akademiförlaget-Gumperts, 1961), 618 pp.

15. *Lightweight Aggregate Concretes*, RILEM Symposium (Budapest), RILEM, Paris (Published by Akademiai Kiado, Publishing House of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 1967) 785 pp.

16. Rudnai, Gyula, *Lightweight Concretes*, Akademiai Kiado, Publishing House of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 1963, 271 pp.

—————
This report was submitted to letter ballot of the committee which consists of 23 members; 18 members returned their ballots all of whom voted affirmatively.

Sinopsis—Résumé—Zusammenfassung

Guia para Unidades de Piso, Techo y Muros de Baja Densidad

Esta guía presenta información sobre los materiales, fabricación, propiedades, diseño y manipulación de losas precoladas de piso, techo y muros teniendo pesos después de secados al horno de 50 pcf 800 kg/m³ nominal (50 pcf) o menos. Estos concretos alcanzan sus pesos mediante el uso de agregados minerales de baja densidad, aire u otros gases.

Guide pour Sols, Toits et Pans de Murs de Faible Densité

Ce guide présente des informations sur les matériels, la fabrication, les propriétés le dessin et la manipulation de sols, toits et pans de mur précolés, ayant des densités après séchage au four de 800 kg/cm³ (50 pcf) ou moins. Le faible poids de ces bétons est obtenu par l'utilisation d'agregats minéraux de faible densité, d'air ou autre gaz.

Anleitung zur Herstellung von Leichtbauteilen für Decken, Dachplatten und Wände

In dieser Anleitung werden Angaben über Materialien, Herstellung, Eigenschaften, Entwurf und Transport von vorgefertigten Betonplatten mit einem Trockengewicht von höchstens 800 kp/m³ (50 pcf) für Decken, Dächer und Wände gegeben. Das geringe Gewicht dieser Betone ist auf die Verwendung von Leichtzuschlagstoffen, Luftporenbildnern oder anderen Gasen zurückzuführen.

Norma Oficial Mexicana. "Determinación de la Finura de Cementantes Hidráulicos Mediante el Tamiz No. 80 M (No. 200)" -- LGN-C-150-1973. (Esta Norma cancela la -- LGN-C-150-1970).

LA PRESENTE NORMA FUE PUBLICADA POR RESOLUCION
PUBLICADA EN EL DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION DE
FECHA 8 DE agosto DE 19 73 :

1. ALCANCE

Este método de prueba se usa para la determinación de la finura de cementantes hidráulicos por medio del tamiz No. 80 M (No. 200).

2. APARATOS Y EQUIPO

2.1 TAMIZ.- El tamiz No. 80 M está constituido con malla tejida de latón, bronce u otro alambre adecuado y montada sin distorsión en un marco a aproximadamente 5 cm abajo de la parte superior. El marco debe ser circular, de 20 cm de diámetro, de construcción rígida, provisto de charola y tapa. La unión entre la tela y el marco debe realizarse de tal modo que se evite la retención de partículas del cementante.

2.2 BALANZA.- La balanza debe ser de una capacidad máxima de 200 g con aproximación de 0.05 g.

2.3 BROCHA.- La brocha para limpiar la malla debe ser de cerdas, de 25 a 40 mm.

3. PROCEDIMIENTO

3.1 Factor de corrección de la malla.- El factor de corrección de la malla, es la diferencia entre la cantidad de residuo obtenido y la cantidad de residuo indicado por la finura especificada de la muestra patrón (ver Apéndice), expresado como porcentaje del primer residuo. (Ver 4.2).

3.2 Se pone una muestra de cemento de 50 g en el tamiz con la charola colocada y previamente limpios. No se deben usar rondanas, municiones o monedas para ayudar al tamizado. Se sostiene el tamiz sin tapa con ambas manos. Se tamiza con un movimiento suave

BIBLIOTECA INCYC

de la muñeca hasta que la mayor parte del material fino haya pasado a través de la malla y el residuo se vea libre de finos.

Esta operación usualmente requiere sólo de 3 a 4 minutos. En seguida se coloca la tapa del tamiz y se retira la charola, luego con el tamiz y tapa firmemente sostenida en una mano, se golpea suavemente el lado del tamiz con el mango de la brocha usada para limpiarlo; así el polvo adherido al tamiz se separa y la parte inferior del tamiz debe quedar limpia. Se vacía la charola, se limpia completamente con un paño y se reemplaza en el tamiz quitando cuidadosamente la tapa, se regresa cualquier material grueso que se haya atrapado en la tapa durante el golpeado del tamiz.

3.3 Se continúa el tamizado sin la tapa como se describió en 3.2 por 5 a 10 minutos dependiendo de la condición del cementante. El movimiento suave de la muñeca no presenta peligro de que se proyecten partículas del residuo, el cual se mantiene bien extendido en el tamiz. Continuamente se debe girar el tamiz durante el tamizado. Este cribado abierto usualmente puede ser continuado por 9 minutos o más, pero debe tenerse cuidado de no continuarlo demasiado. Se reemplaza la tapa y se limpia siguiendo el proceso descrito en 3.2; si el tamizado ha sido correcto, no debe apreciarse polvo en el residuo ni adherido en el tamiz o en la charola.

3.4 Procedimiento Optativo.- El procedimiento anterior puede sustituirse mediante el siguiente método con duración de 1 minuto. Se mantiene el tamiz con la charola y la tapa en una mano en posición ligeramente inclinada y se mueve hacia adelante y hacia atrás en el plano de la inclinación, golpeando al mismo tiempo el lado del tamiz contra la palma de la otra mano, en el movimiento hacia arriba, a razón de 150 veces por minuto. Se realiza el tamizado sobre papel blanco, con objeto de regresar al tamiz el material que pudiera escapar.

Después de cada 25 golpes se gira el tamiz alrededor de un sexto de revolución en la misma dirección, para lo cual la tapa puede ser marcada con líneas rectas que se intercepten a 60° . La operación de tamizado, se debe continuar hasta que no más de 0.05 g del material pase por la malla en un minuto de tamizado continuo. Se transfiere el residuo al platillo de la balanza, teniendo cuidado de limpiar la malla completamente por ambos lados para asegurar la remoción de todo el residuo.

3.5 Cribado Mecánico.- Se pueden usar dispositivos mecánicos de tamizado, pero el cementante no debe ser rechazado si cumple los requisitos de finura al probarse a mano.

4. CALCULOS Y RESULTADOS

4.1 Se calcula la finura de la muestra como sigue:

$$R_C = R_m (100 + C)$$

$$F = 100 - R_C$$

En donde:

F = Finura del cementante expresado como porcentaje corregido que pasó por la malla.

R_C = Residuo corregido en porciento.

R_m = Residuo de la muestra retenido en la malla No. 80 M, expresado en g.

C = Factor de corrección, determinado como se indicien 3.1 el -- cual puede ser en más o en menos.

4.2 Ejemplo.- Determinación del factor de corrección.

Residuo en tamiz No. 80 M
de la muestra patrón. 29.0 %

Residuo de una muestra de
22 g de la muestra patrón. 6.38 g

Residuo en el tamiz por
calibrar. 6.05 g

Diferencia. + 0.33 g

$$\text{Factor de corrección} = \frac{+ 0.33}{6.05} \times 100 = + 5.45 \%$$

Cálculo del residuo:

Factor de corrección del tamiz + 5.45 %

Residuo de la muestra por probar 0.85 g

Residuo corregido:

$$\frac{(100 + 5.45) \times (0.85 \times 2)}{100} = 1.79 \%$$

Parte corregida que pasó por el tamiz = (100.00 - 1.79) =
98.21 %.

5. APENDICE

5.1 La muestra patrón puede ser "esferas de vidrio calibradas

número 1018" del National Bureau of Standards de los Estados Unidos.

S.C. BIBLIOGRAFIA

A.S.T.M. C 184-66 "Fineness of Hydraulic Cement by the No. 100 and 200 Sieves".

México, D.F., a 2 AGO. 1973

P.A. DEL C. DIRECTOR GENERAL NOTULIS.

EL DIRECTOR DE NOTULIS

ING. GUILLERMO LAVEAGA

FME/mvc

**NOM C-155 1987
NORMA OFICIAL MEXICANA
INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION-CONCRETO
HIDRAULICO-ESPECIFICACIONES**

**BUILDING INDUSTRY-HIDRAULIC CONCRETE-
SPECIFICATIONS**

1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial Mexicana establece los requisitos que debe cumplir el concreto hidráulico dosificado en masa utilizado en la construcción.

No abarca las especificaciones para la colocación, compactación, curado y manejo del concreto.

2. REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

NOM-C-1	Industria de la Construcción-Cemento portland.
NOM-C-2	Industria de la Construcción-Cemento portland puzolana.
NOM-C-83	Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto.
NOM-C-109	Industria de la Construcción-Concreto-Cabeceo de especímenes cilíndricos.
NOM-C-111	Industria de la Construcción-Concreto-Agregados-Especificaciones.
NOM-C-122	Industria de la Construcción-Agua para concreto.
NOM-C-146	Industria de la Construcción-Aditivos para concreto-puzolana natural, cruda o calcinada y ceniza volante para usarse como aditivo mineral en concreto de cemento portland.
NOM-C-156	Industria de la Construcción-Concreto fresco-Determinación del revenimiento.
NOM-C-157	Determinación del contenido de aire del concreto fresco por el método de presión.
NOM-C-160	Industria de la Construcción-Concreto-Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto.
NOM-C-161	Muestreo del concreto fresco.

- NOM-C-162 Industria de la Construcción-Concreto-Determinación del peso unitario, cálculo de rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el método gravimétrico.
- NOM-C-175 Cemento portland de escoria de alto horno.
- NOM-C-200 Aditivos inclusores de aire para concreto.
- NOM-C-251 Industria de la Construcción-Concreto-Terminología.
- NOM-C-255 Industria de la Construcción-Aditivos químicos que reducen la cantidad de agua y/o modifican el tiempo de fraguado del concreto.

3. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, se establecen las definiciones siguientes:

3.1. Concreto premezclado

Es el concreto hidráulico, dosificado y mezclado por el fabricante, el cual se entrega al consumidor para su utilización en estado plástico.

3.2. Consumidor

Es el propietario de la obra, su representante o el contratista que compra concreto a un productor o fabricante.

3.3. Fabricante

Es el contratista, subcontratista, proveedor o productor especializado que suministra el concreto premezclado.

3.4. Diseño o proporcionamiento

Es el conjunto de las cantidades de materiales calculadas en masa por unidad de volumen de concreto para lograr las características deseadas.

3.5. Revoltura o carga

Es el volumen total de concreto contenido en el recipiente de mezclado o agitado.

4. REQUISITOS DE CALIDAD PARA CONCRETO HIDRAULICO

4.1. Resistencia

Cuando la resistencia es la base de la aceptación del concreto, deben elaborarse especímenes de acuerdo con la NOM-C-160 (véase 2).

El número de muestras debe estar de acuerdo con lo indicado en el inciso 9,

que considera para la prueba de resistencia como mínimo dos especímenes a la edad especificada de la muestra obtenida, según la NOM-C-161 (véase 2).

El resultado de una prueba debe ser el promedio de las resistencias obtenidas en los especímenes, excepto que si en algunos de ellos se observó una deficiencia de muestreo, elaboración, manejo, curado o prueba, no se toman en cuenta y el promedio de las resistencias de los especímenes restantes debe ser considerado como el resultado de la prueba.

No es motivo para rechazar el espécimen el que se obtenga una resistencia inferior a la especificada.

Para cumplir los requisitos de resistencia de esta norma, con un nivel de confianza del 98%, los resultados de las pruebas de resistencia deben cumplir con los requisitos que se indican.

4.1.1. Grado A

El concreto debe cumplir con lo siguiente:

- a) Se acepta que no más del 20% del número de pruebas de resistencia a compresión tengan valor inferior a la resistencia especificada $f'c$. Se requiere un mínimo de 30 pruebas.
- b) No más del 1% de los promedios de 7 pruebas de resistencia a compresión consecutiva debe ser inferior a la resistencia especificada. Además, debe cumplirse con todos los promedios consecutivos de las muestras anotadas en la tabla 1.

4.1.2. Grado B

El concreto debe 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) No más del 1% de los promedios de 3 pruebas de resistencia a compresión consecutiva, será inferior a la resistencia especificada.

Además, debe cumplirse con todos los promedios consecutivos de las muestras anotadas en la tabla 1.

NOTA 1. Debido a la variación en los materiales, operaciones y pruebas, la resistencia promedio para alcanzar estos requisitos, debe ser considerablemente más alta que la resistencia especificada. Esta resistencia es más alta a medida que las variaciones aumentan y más baja en la medida que éstas disminuyen (véase 12 y figura 1).

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 kgf/cm²) en el caso de resistencia a la compresión.

Una planta que cubra los requisitos de operación y materiales enunciados en esta norma, obtendrá generalmente valores de " s " alrededor de 2.45 a 3.92 MPa (25 a 40 kgf/cm²); a medida que los valores de " s " sean menores, logrará con economía reducir la probabilidad de resultados bajos. Este valor " s " debe calcularse utilizando información de una sola clase de concreto surtida por una sola planta, con más de 100 valores de pruebas de resistencia de muestras tomadas al azar por un mismo laboratorio y cubriendo un periodo lo más amplio posible cuando se trata del caso de productor, y con más de 30 valores cuando se trata de una sola obra específica.

4.1.3. De acuerdo con los métodos comunes de diseño, es recomendable utilizar concreto grado A, cuando se diseñe por el método de esfuerzos de trabajo, pavimentos y usos generales, y concreto grado B, cuando se diseñe por el método de resistencia última, para concreto preforzado y para estructuras especiales.

4.1.4. Criterio de aceptación para un número de pruebas insuficientes

Cuando el número de pruebas es insuficiente (menos de 30), para el cálculo del promedio de pruebas consecutivas establecidas según la calidad del concreto, todos los promedios de pruebas consecutivas posibles de resultados obtenidos, deben ser igual o mayor que las cantidades indicadas en la tabla 1 (fp min).

Tabla 1
Valores fp min

Número de pruebas consecutivas	Para concreto grado A resistencia a la compresión promedio en		Para concreto, grado B resistencia a la compresión promedio	
	MPa	(kgf/cm ²)	MPa	(kgf/cm ²)
1	$f'c - 4.90$	($f'c - 50$)	$f'c - 3.43$	($f'c - 35$)
2	$f'c - 2.74$	($f'c - 28$)	$f'c - 1.27$	($f'c - 13$)
3	$f'c - 1.67$	($f'c - 17$)	$f'c$	($f'c$)
4	$f'c - 1.07$	($f'c - 11$)		
5	$f'c - 0.69$	($f'c - 7$)		
6	$f'c - 0.39$	($f'c - 4$)		
7	$f'c$	($f'c$)		

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

$$f_p \text{ mín} = f'c - s \left(\frac{t_1}{\sqrt{n}} - t_{20} \right) : \text{ para concreto grado "A"}$$

$$f_p \text{ mín} = f'c - s \left(\frac{t_1}{\sqrt{n}} - t_{10} \right) : \text{ para concreto grado "B"}$$

En donde:

$f_p \text{ mín}$ = Valor mínimo aceptable del promedio de pruebas consecutivas, en MPa (kgf/cm²).

$f'c$ = Resistencia a la compresión especificada en MPa (kgf/cm²).

t_{10} = 1.282

t_{20} = 0.842

t_1 = 2.326

s = Desviación estándar para la resistencia a la compresión, 3.43 MPa (35 kgf/cm²).

n = Número de pruebas consecutivas.

4.2. Tamaño máximo nominal del agregado

El concreto de la muestra obtenida, como se indica en la NOM-C-161 (véase 2), debe pasar por las cribas indicadas en la tabla 2.

Tabla 2
Tamaño máximo nominal del agregado

A Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	B Abertura nominal de la criba (mm)
50	75
40	50
25	40
20	25
13	20
10	15

No debe retenerse más del 5% en masa del concreto en la criba que se fije como tamaño máximo nominal del agregado del concreto (tabla 2, columna B).

4.3. Revenimiento

Cuando no existan especificaciones al respecto, deben aplicarse las tolerancias indicadas en la tabla 3.

Tabla 3
Revenimiento

Revenimiento especificado en cm	Tolerancia en cm
menos de 5	± 1.5
de 6 a 10	± 2.5
más de 10	± 3.5

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

Cuando se llegue al lugar de la obra y el revenimiento del concreto sea menor que el solicitado, incluyendo su tolerancia, el fabricante puede agregar agua para obtener un revenimiento dentro de los límites requeridos, mezclando adicionalmente para cumplir con los requisitos de uniformidad especificados (véase tabla 6), para lo cual, la olla o las aspas deben girar 30 revoluciones adicionales como mínimo a la velocidad de mezclado. Es conveniente no llevar el revenimiento arriba del solicitado; además no debe añadirse agua a la revolvedora posteriormente.

4.3.1. El revenimiento del concreto debe estar dentro de los valores permisibles, durante los primeros 30 min, medidos a partir de que llega a la obra, a excepción del primero y último medio metro cúbico. El periodo máximo de espera en el sitio de entrega es de 30 min a la velocidad de agitación. En caso de que la entrega se haga en equipo no agitador puede reducirse el tiempo de espera, de común acuerdo entre el fabricante y el consumidor (véase 8).

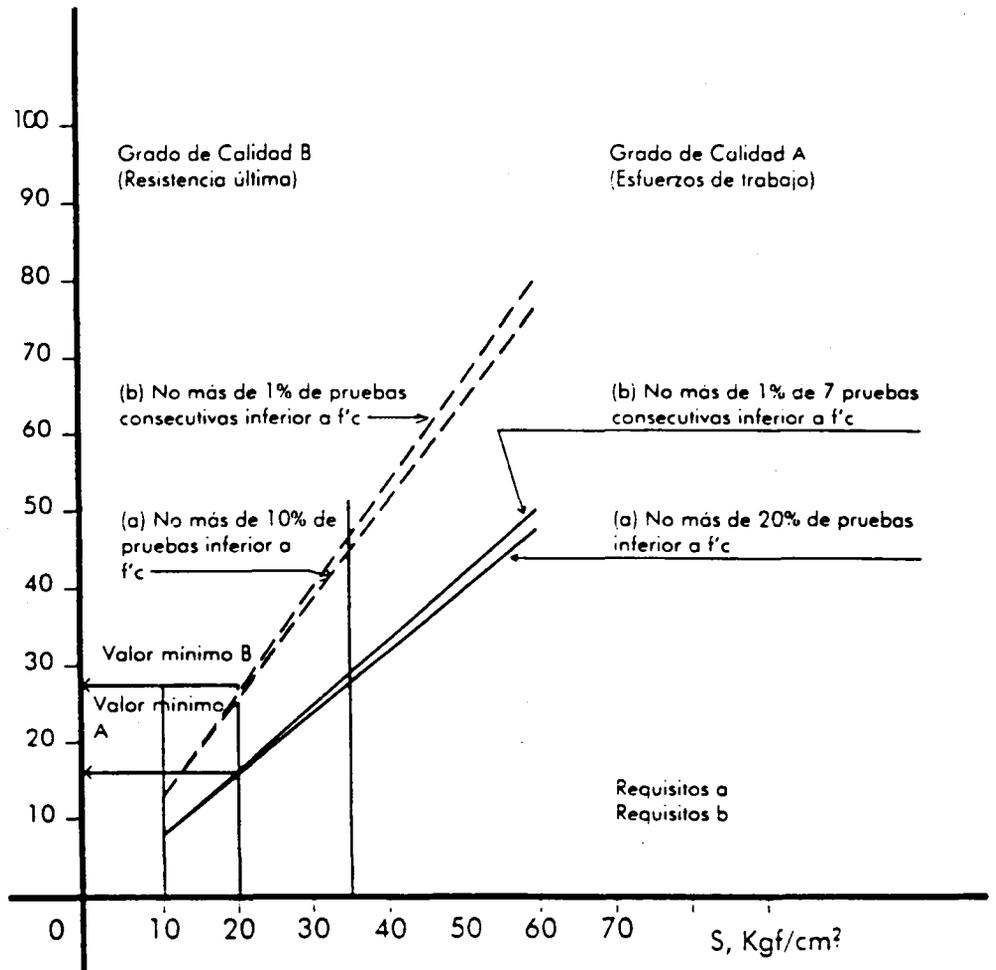
4.3.2. En el momento de la entrega, la aceptación o rechazo del concreto, debe hacerse en base a la prueba de revenimiento.

Si existe duda sobre el primer valor obtenido, puede solicitarse una segunda prueba, la que debe hacerse inmediatamente con otra porción de la misma muestra o de otra muestra de la misma entrega, la cual es definitiva para aceptación o rechazo.

En caso de una segunda falla, debe considerarse que el concreto no ha cumplido con los requisitos de esta especificación y el consumidor se responsabiliza íntegramente de su utilización, en caso de aceptar el mismo.

REQUISITOS DE GRADOS DE CALIDAD

Resistencia promedio requerido menos
resistencia especificada
Kg/kgf/cm²



4.4. Volumen

La base de la medición del concreto debe ser el metro cúbico de concreto fresco, tal como se descarga en el sitio de entrega.

El volumen de una carga establecida de concreto recién mezclado, debe determinarse a partir de la masa total de los materiales de la mezcla, dividido entre la masa unitaria del concreto mismo. La masa total de la mezcla puede ser calculada, ya sea como la suma de las masas de los materiales, inclusive el agua de toda la mezcla o como la masa neta de las masas, tal como se entrega.

La masa unitaria debe determinarse según la NOM-C-162 (véase 2) y debe ser el promedio de tres determinaciones por lo menos, cada una efectuada en una muestra obtenida de diferentes entregas con el mismo equipo y operador.

Las muestras deben tomarse según el procedimiento en la NOM-C-161 (véase 2).

El volumen suministrado, determinado como se indicó, puede aceptarse con una tolerancia de $\pm 1\%$ en relación con la nota de pedido.

NOTA 2. Debe entenderse que el volumen de concreto endurecido puede ser, o aparentar ser, menor que el suministrado debido al desperdicio, derrame sobre excavaciones, ensanchamiento o falta de calafateo en las cimbras, alguna pérdida de aire incluido, asentamiento de las mezclas húmedas y evaporación del agua, lo cual no es responsabilidad del productor.

4.5. Temperatura

En el caso de climas fríos, el consumidor debe procurar mantener la temperatura del concreto arriba de los límites indicados en la tabla 4.

La temperatura máxima del concreto producido con materiales calentados no debe exceder de 305 °K (32 °C) en el momento de la producción.

Tabla 4

Temperatura ambiente		Temperatura mínima del concreto			
		Secciones delgadas y losas sobre pisos		Secciones gruesas y concreto masivo	
°K	°C	°K	°C	°K	°C
280 a 272	7 a -1	289	16	283	10
270 a 255	-3 a -18	291	18	286	13
Menor de 255	Menor de -18	294	21	289	16

4.6. Aire incluido

El intervalo del contenido total de aire en el concreto debe fijarse por el proyectista, de acuerdo con las condiciones particulares de cada obra y en función de la precisión de la prueba. Deben realizarse pruebas para determinar el contenido de aire tanto preliminar, como de rutina, con el propósito de controlar durante la construcción, por lo menos en aquellas muestras en que se obtengan cilindros de concreto.

Para mejorar la resistencia al congelamiento y deshielo, según el tamaño máximo nominal de agregado, se recomiendan los porcentajes de contenido de aire total indicados en la tabla 5.

Tabla 5

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Cantidad de aire recomendado (%)
50	4
40	4.5
25	5
20	6
13	7
10	8

Los contenidos de aire menores a los indicados en la tabla 5 no mejoran la resistencia al congelamiento y deshielo. Contenidos superiores pueden reducir la resistencia a la compresión sin lograr una protección adicional.

En el momento de la entrega, la aceptación o rechazo del concreto debe hacerse en base a las pruebas de contenido de aire. Si los valores del contenido de aire caen fuera de los límites especificados, debe procederse en forma análoga a lo indicado en el inciso 4.6.

5 REQUISITOS DE LOS MATERIALES

5.1. Cemento

El cemento debe cumplir con las especificaciones de las NOM-C-1 ó NOM-C-2 (véase 2).

La masa del cemento debe determinarse en una tolva báscula. Cuando la cantidad de cemento de una revoltura de concreto sea igual o exceda el 30% de la capacidad total de la tolva báscula, la tolerancia máxima debe ser $\pm 1\%$ de la masa requerida. Para revolturas menores donde la cantidad de cemento es menor del 30% de la capacidad total de la tolva báscula, la cantidad de cemento cuya masa se determinó no debe ser menor que la requerida, ni mayor en 4%.

Bajo circunstancias especiales, el cemento puede ser dosificado en bolsas de masa normalizada, previamente verificada; no deben usarse fracciones de bolsas de cemento a menos que se determine la masa del contenido.

5.2. Agregados

Los agregados deben cumplir con lo que se especifica en la NOM-C-111 (véase 2).

Cuando los agregados se dosifiquen individualmente, la cantidad indicada por la tolva báscula debe tener una tolerancia de $\pm 2\%$ de la masa requerida.

Cuando se dosifiquen en forma acumulada y su masa sea del 30% o más de la capacidad de la tolva báscula, la tolerancia máxima debe ser de $\pm 1\%$ de la masa requerida, y si la masa es menor del 30%, la tolerancia máxima debe ser de $\pm 0.3\%$ de la capacidad total de la báscula o de $\pm 3\%$ de la masa acumulada requerida, aceptando el valor que sea menor.

5.3. Agua

El agua de mezclado debe cumplir con lo indicado en la NOM-C-122 (véase 2).

El agua agregada debe ser medida por masa o por volumen con una tolerancia de $\pm 1\%$. Al hielo agregado se le determina su masa.

En los equipos mezcladores, el agua de lavado debe eliminarse antes de cargar la siguiente revoltura de concreto.

5.4. Cuando se haga uso de aditivos, éstos deben cumplir con las NOM-C-146, NOM-C-200 y NOM-C-255 (véase 2).

A las puzolanas, cenizas volátiles y aditivos en polvo se les dosifica por masa, y los aditivos en pasta o líquidos pueden dosificarse, por masa o por volumen, con una tolerancia de $\pm 3\%$ de la cantidad requerida.

6. REQUISITOS PARA EL EQUIPO DE DOSIFICACION

6.1. Depósito y tolvas

Las plantas dosificadoras deben estar provistas de depósitos con compartimientos separados, adecuados para el agregado fino y para cada uno de los tamaños de agregado grueso utilizado.

Cada compartimiento del depósito debe ser diseñado y operado en tal forma que la descarga a la tolva báscula sea sin obstáculos, eficiente, con un mínimo de segregación.

Debe contarse con instrumentos de control, que pueden interrumpir la descarga del material en el momento que la tolva báscula contenga la can-

6
tidad deseada. Esta tolva no debe permitir acumulación de residuos y de materiales que pueden modificar la tara.

6.2. Báscula

Deben tener una precisión tal, que al calibrarse con carga estática la tolerancia sea de $\pm 0.4\%$ de su capacidad total.

Las básculas para dosificar los ingredientes para el concreto pueden ser de balancín o de carátula sin resortes. Pueden aceptarse otros equipos (eléctricos, hidráulicos, celdas de carga) diferentes a las básculas de balancín o de carátula sin resortes, siempre y cuando cumplan con las tolerancias señaladas.

Para la verificación y calibración de las básculas, se requiere de taras normalizadas. Deben mantenerse limpios todos los puntos de apoyo, abrazaderas y partes de trabajo similares de la báscula. Las básculas de balancín deben estar equipadas con un indicador suficientemente sensible para mostrar movimientos, cuando una masa igual al 0.1% de la capacidad nominal de la báscula se coloque sobre ella a partir del 10% de la capacidad de la báscula; la separación entre dos marcas debe ser cuando menos del 5% de la capacidad neta del brazo en su primera aproximación y del 4% del brazo en la segunda aproximación.

6.3. Medidores de agua

Los aparatos para la medición del agua añadida deben ser capaces de proporcionar la cantidad requerida a la revoltura, con la tolerancia establecida en el inciso 5.3. Deben estar arreglados de tal forma que las mediciones no sean afectadas por variaciones de presión en la tubería de abastecimiento del agua y los tanques de medición deben estar equipados con vertederos y válvulas para su calibración, a menos que se proporcionen otros medios para determinar rápidamente y con exactitud la cantidad de agua en el tanque.

6.4. Medidores de aditivos

El equipo de medición del aditivo debe proporcionar a la revoltura la cantidad requerida con la tolerancia establecida en el inciso 6.4. y debe contar con válvulas y vertederos para su calibración, a menos que se proporcionen otros medios para determinar rápidamente y con exactitud, la cantidad de aditivo en el dispositivo.

6.5. Mezcladoras y revolvedoras

Las mezcladoras pueden ser estacionarias o camiones mezcladores.

6.5.1. Mezcladoras estacionarias

Deben estar equipadas con una o más placas metálicas en las cuales esté claramente marcada la velocidad de mezclado de la olla o de las aspas, y la

capacidad máxima en términos de volumen de concreto mezclado cuando es utilizado para mezclar totalmente el concreto. Las mezcladoras estacionarias deben equiparse con un dispositivo que permita controlar el tiempo de mezclado.

6.5.2. Camión mezclador o agitador

Una o más placas de metal deben colocarse en un lugar visible del camión mezclador o agitador, en las cuales estén claramente marcadas las capacidades de la unidad en términos del volumen, como mezclador y como agitador, la velocidad mínima de rotación de la olla, aspas o paletas.

Cuando el concreto es parcialmente mezclado como se describe en el inciso 7.2., o mezclado en camión como se describe en el inciso 7.3., el volumen de concreto no debe exceder del 63% del volumen total de la unidad.

Cuando el concreto es agitado únicamente en la unidad, como se describe en el inciso 7.1., el volumen del concreto no debe exceder del 80% del volumen total de la unidad.

7. REQUISITOS DE MEZCLADO

El concreto debe ser mezclado por medio de una de las combinaciones de operación que se señalan en los incisos siguientes y de acuerdo con los requisitos de uniformidad de mezclado del concreto indicados en la tabla 6.

La aprobación de las mezcladoras puede ser otorgada con el cumplimiento cuando menos, de los requisitos 1, 3 y 5 indicados en la tabla antes mencionada.

7.1. Concreto mezclado en planta

Las mezcladoras deben ser operadas dentro de los límites de capacidad y velocidad designados por el fabricante del equipo. El tiempo de mezclado debe ser medido desde el momento en que estén todos los materiales en el interior de la mezcladora, incluyendo el agua.

Cuando no se hacen pruebas de uniformidad de mezclado (tabla 6), el tiempo aceptable para revolvedoras que tengan una capacidad de 1.0 m³ o menos y cuyo revenimiento del concreto sea mayor de 5 cm, no debe ser menor de 1.0 min. Para mezcladoras de mayor capacidad, el tiempo mínimo indicado debe ser aumentado en 15 s por cada metro cúbico o fracción de capacidad adicional.

Debe hacerse pruebas de uniformidad a los concretos con revenimiento inferior de los 5 cm, para determinar el tiempo de mezclado con el equipo que vaya a emplearse de acuerdo con la tabla 6.

Cuando se hayan hecho pruebas de uniformidad de mezclado y las mezcladoras sean cargadas a la capacidad estipulada para esas circunstancias en

Tabla 6
Requisitos de uniformidad de mezclado del concreto

Prueba	Diferencia máxima permisible entre resultados de prueba con muestras obtenidas de dos porciones diferentes de la descarga(*)
1. Masa volumétrica determinada según la NOM-C-162 en kg/m ³ .	15
2. Contenido de aire en % del volumen del concreto determinado según la NOM-C-157 para concretos con aire incluido.	1
3. Revenimiento: Si el revenimiento promedio es menor de 6 cm.	1.5
Si el revenimiento promedio está comprendido entre 6 y 12 cm.	2.5
Si el revenimiento promedio es superior a 12 cm.	3.5
4. Contenido del agregado grueso retenido en la criba G 4.75 expresado en por ciento de la masa de la muestra.	6
5. Promedio de la resistencia a la compresión a 7 días de edad de cada muestra, expresado en por ciento(**), determinado de acuerdo a la NOM-C-83.	10

(*) Las dos muestras para efectuar las determinaciones de esta tabla deben obtenerse de dos porciones diferentes tomadas al principio y al final de la descarga. (Principio: del 10 al 15%. Final: del 85 al 90% del volumen.)

(**) La aprobación tentativa de la mezcladora puede ser otorgada antes de obtener los resultados de la prueba de resistencia.

particular, el tiempo de mezclado aceptable puede ser reducido al punto en el cual un mezclado satisfactorio puede ser logrado.

7.2. Concreto mezclado parcialmente en la planta

En esta operación se inicia el mezclado del concreto en una revolvedora estacionaria y se completa en el camión mezclador.

El tiempo de mezclado en la revolvedora estacionaria puede ser exclusivamente el requerido para entremezclar los ingredientes y después de cargar el camión mezclador es necesario un mezclado adicional a la velocidad de mezclado (normalmente de 10 a 12 RPM), especificado en la

placa metálica del camión (véase inciso 6.5.2.), para que el concreto alcance los requisitos indicados en la tabla 6. Si se requieren revoluciones adicionales en el camión mezclador previo a la descarga, estas deben desarrollarse a la velocidad de agitación indicada en la placa metálica antes mencionada (normalmente de 2 a 6 RPM).

Ocasionalmente deben hacerse pruebas en el concreto para verificar que se cumplan con los requisitos de uniformidad que se indica en la tabla 6.

7.3. Concreto mezclado en camión

Cuando el concreto sea mezclado totalmente en el camión mezclador, se requieren de 70 a 100 revoluciones a la velocidad de mezclado especificada (normalmente de 10 a 12 RPM, véase inciso 6.5.2.).

Si se requieren revoluciones adicionales en el camión mezclador, éstas deben desarrollarse a la velocidad de agitación indicada en la placa metálica antes mencionada (normalmente de 2 a 6 RPM). En caso de duda sobre la uniformidad de mezclado, el supervisor puede realizar las pruebas indicadas en la tabla 6 y con base en los resultados, aceptar o rechazar el uso de la unidad, la cual no podrá utilizarse hasta que la condición sea corregida. Cuando se encuentre satisfactorio el mezclado de alguna revolventadora, puede considerarse el mezclado de revolventadoras del mismo diseño y con el mismo estado de aspas, igualmente satisfactorio.

8. TRANSPORTE Y ENTREGA

La descarga total del concreto debe hacerse dentro de la hora y media posterior a la introducción inicial del agua de mezclado.

En condiciones especiales de temperatura ambiente, empleo de aditivo y otros, esta limitación del tiempo de descarga puede modificarse de común acuerdo entre el fabricante y consumidor.

Cuando un camión mezclador o agitador se utiliza para transportar concreto mezclado completamente en revolventadoras estacionarias, durante el transporte la olla debe girar a la velocidad de agitación (véase inciso 6.5.2.).

El concreto mezclado en planta puede ser transportado en equipo no agitador, el cual debe satisfacer los requisitos siguientes: La caja del equipo de transporte debe ser metálica, lisa e impermeable y equipada con compuertas que permitan controlar la descarga del concreto y que eviten la segregación, fuga de mortero o lechada. Debe cubrirse la caja del camión para proteger el concreto. El concreto debe ser entregado en el lugar de trabajo con un grado satisfactorio de uniformidad (véase tabla 6).

9. MUESTREO

El productor debe facilitar la toma de muestras necesarias al comprador o al laboratorio autorizado, a fin de determinar si el concreto está produciéndose de acuerdo con los requisitos señalados en esta norma.

Las pruebas y visitas de inspección no deben interferir en la producción.

El muestreo para cada tipo de concreto, debe hacerse con la frecuencia indicada en la tabla 7, por día de colado y con el mínimo de muestras señalado para cada caso con el fin de que resulte efectivo.

Las pruebas de contenido de aire, si el concreto es con aire incluido, deben hacerse por lo menos en aquellas entregas para pruebas de resistencia a compresión.

Para la prueba de resistencia a la compresión, de la muestra obtenida y mezclada de acuerdo con la NOM-C-161 debe hacerse, como mínimo, 2 especímenes para probar a la edad especificada.

Tabla 7
Frecuencia de muestreo

Número de entrega (unidad mezcladora)	Número de muestras	
	Recomendado	Mínimo obligatorio
1	1	1
2 a 4	2	1
5 a 9	3	2
10 a 25	5	3
26 a 49	7	4
50 en adelante	9	5

10. METODOS DE PRUEBA

Para verificar las especificaciones que se establecen en esta norma, deben utilizarse los métodos de prueba que se indican en las Normas Oficiales Mexicanas siguientes: NOM-C-83, C-109, C-157, C-160, C-161, C-162 y C-156 (véase 2).

11. BASES DE CONTRATACION PARA CONCRETO PREMEZCLADO

11.1. Clasificación

La contratación del concreto premezclado se clasifica en tres grupos, según la forma de cómo se deslindan responsabilidades del diseño entre fabricante y consumidor, con dos grados de calidad designados como A y B (véase 4).

Los tres grupos en los que se clasifica el concreto hidráulico premezclado son:

Grupo 1. El consumidor asume la responsabilidad del diseño.

El consumidor debe especificar, además de lo indicado en el inciso 11.2., lo siguiente:

- a) Las fuentes probables de abastecimiento de los componentes del concreto.
- b) El contenido de cemento en kilogramos por metro cúbico de concreto fresco.
- c) El contenido de agua, en litros por metro cúbico de concreto con agregados en condición de saturados y superficialmente secos.
- d) Dosificación de arena y grava.
- e) Cuando se requiere el empleo de un aditivo, debe especificarse el tipo, el nombre y la dosificación del mismo.

El responsable de seleccionar las cantidades de los materiales que intervienen en el concreto, debe considerar los requisitos de trabajabilidad, colocación, durabilidad, textura superficial y masa unitaria en adición a aquellos de diseño estructural.

La información proporcionada por el consumidor y aceptada por el fabricante debe archivarse en la planta, asignándole una clave, la cual debe incluirse en la remisión de entrega.

Grupo 2. El fabricante asume la responsabilidad del diseño.

El consumidor debe especificar los requisitos del concreto solicitado de acuerdo al punto 11.2.

Grupo 3. El fabricante asume la responsabilidad del diseño y el consumidor fija el contenido de cemento.

El consumidor debe especificar, además de lo aplicable en el inciso 11.2, el contenido mínimo de cemento, en kilogramos por metro cúbico de concreto fresco.

El contenido mínimo de cemento, debe ser mayor o igual al que se requiere ordinariamente en la resistencia, tamaño de agregado y revenimiento especificado. Esta cantidad se elige para asegurar la durabilidad bajo las condiciones de servicio esperado, así como para obtener una textura superficial y masa específica satisfactoria.

Cualquiera que sea la resistencia que alcance el concreto, no debe disminuirse la cantidad mínima de cemento especificado. Sin la aprobación escrita del consumidor, no debe considerarse a los aditivos como sustitutos de una porción de la cantidad mínima de cemento especificado.

NOTA 3. Para los grupos 2 y 3, el fabricante debe proporcionar, además de lo indicado en el inciso 4, evidencia satisfactoria de que los materiales que emplea, producen un concreto de la calidad especificada según capítulo 4.

11.2. Datos de pedido

Los datos para el pedido de concreto premezclado deben ser los siguientes y aparecer además en las notas de remisión de las entregas.

- Nombre del solicitante.
- Lugar de entrega.
- Número de esta norma.
- Cantidad de metros cúbicos de concreto fresco.
- Grupo correspondiente (1, 2 ó 3).
- Resistencia especificada a compresión en MPa (kgf/cm^2).
- Grado de calidad del concreto (A o B)
- Edad a la que se garantiza la resistencia (28 días, a menos de que se establezca otra diferente).
- Tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Revenimiento solicitado en el lugar de entrega.

11.3. Datos opcionales para el pedido

Opcionalmente a solicitud del consumidor, en el cuerpo del contrato de suministro, pueden señalarse los datos siguientes y aparecer en las notas de remisión de las entregas.

- Contenido de aire en el sitio de descarga, cuando se especifique concreto con inclusor de aire.
- Tipo o tipos requeridos de cemento, pero si no lo especifica el cemento empleado, queda a elección del fabricante.
- Uso de agregado ligero que satisfaga los requisitos del proyecto.
- Uso de aditivos.
- Uso de agregados especiales, como barita, mármol, fibra y otros.
- Requisitos adicionales a lo indicado en esta norma.

11.4. Bases de entrega y aceptación

11.4.1. Entrega

En caso de que el consumidor no esté preparado para recibir el concreto, el fabricante no tiene responsabilidad por las limitaciones de revenimiento mínimo y contenido de aire después de un periodo total de espera de 30 min a la velocidad de agitación y de aquí en adelante, el consumidor asume la responsabilidad sobre las condiciones del concreto.

11.4.2. Aceptación

En caso de que la resistencia sea la base de aceptación y cuando las pruebas de resistencia obtenidas por un laboratorio autorizado, en muestras obtenidas de la unidad de transporte, en el punto de entrega y realizadas siguiendo las normas correspondientes, no cumplan con las especificaciones del inciso 4.1., el fabricante de concreto y el consumidor deben entablar pláticas para llegar a un acuerdo satisfactorio. En caso de no llegar a un acuerdo, la decisión debe partir de un grupo de tres técnicos, con capacidad

reconocida en la materia, uno de los cuales debe ser nombrado por el consumidor, otro por el fabricante y el tercero escogido de común acuerdo por los dos anteriores. La decisión es inapelable, excepto que se modifique por una disposición legal.

12. BIBLIOGRAFIA

Los documentos que sirvieron para la elaboración de esta norma son los siguientes:

ASTM-C-94-86 Standard specification for ready mixed concrete.
ACI-211-1 Recommended practices for inspection concrete.
ACI-214 Recommended practices for evaluation of strength test results of concrete.
ACI-305 Hot weather concreting.
ACI-306 Cold weather concreting.
ACI-318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete.

Recommended Practice for Measuring the Uniformity of Concrete.
Produced in Truck Mixers N.R.M.C.A.

Concrete Plant Mixer Standards of the Concrete Manufacturers Bureau.

Recommendations for the treatment of the Variations of the Concrete Strength in Codes of Practices. Report of Working groups CB/CIB/FIP/RILE/Committee.

Recommended Guide Specification Covering Plant and Accessory Equipment for Ready Mixed Concrete in Construction for Highway.
T.M.M.B., C.P.M.B. y N.R.M.C.A.

13. CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

No puede establecerse concordancia por no existir referencia al momento de la elaboración de la presente.

México, D.F., a 10 de diciembre de 1987

LA DIRECTORA GENERAL DE NORMAS

LIC. CONSUELO SAEZ PUEYO



NORMA OFICIAL MEXICANA
INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - CONCRETO - ELABORACION Y CURADO EN EL LABORATORIO, DE ESPECIMENES.

NOM
C-159-1985

BUILDING INDUSTRY - CONCRETE - MAKING AND CURING SPECIMENS IN THE LABORATORY.

1 OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACION

Esta Norma Oficial Mexicana establece los procedimientos para elaborar y curar en el laboratorio, los especimenes de concreto utilizados para las pruebas de resistencia a la compresion y a la flexion.

2 REFERENCIAS

Esta norma se complementa con las siguientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes:

- NOM-B-231 Industria siderurgica - Cribas de laboratorio para clasificacion de materiales granulares - Especificaciones.
- NOM-C-109 Industria de la construccion - Concreto - Cabecero de especimenes cilindricos.
- NOM-C-148 Gabinetes y cuartos humedos y tanques de almacenamiento para las pruebas de cementantes y concretos hidraulicos - Especificaciones.
- NOM-C-156 Industria de la construccion - Concreto fresco - Determinacion del revenimiento.
- NOM-C-157 Determinacion del contenido de aire del concreto fresco por el metodo de presion.
- NOM-C-158 Determinacion del contenido de aire del concreto fresco por el metodo volumetrico.
- NOM-C-160 Industria de la construccion - Concreto - Elaboracion y curado, en obra, de especimenes.
- NOM-C-162 Industria de la construccion - Concreto - Determinacion del peso unitario, calculo del rendimiento y contenido de aire del concreto fresco por el metodo gravimetrico.
- NOM-C-164 Industria de la construccion - Agregados - Determinacion de la masa especifica y absorcion de agua del agregado grueso.
- NOM-C-165 Industria de la construccion - Agregados - Masa especifica y absorcion de agua del agregado fino - Metodo de prueba.

Prohibido su reproduccion sin autorizacion de la Direccion General de Normas

Referencias:

La Direccion General de Normas de la Secretaria de Comercio y Fomento Industrial aprobó la presente Norma que fue publicada en el Diario Oficial de la Federacion el 8 ABO. 1985

Resumen sucinto. Esta Norma cancela la NOM-C-159-1977

22

NOM-C-166	SECTOR - DGN	Industria de la construcción - Agregados - Contenido total de humedad por secado - Método de prueba.
NOM-C-177		Determinación del tiempo de fraguado de mezclas de concreto, mediante la resistencia a la penetración.
NOM-C-245		Determinación de la humedad superficial del agregado fino.

3 DEFINICIONES

Para los fines de esta norma se establece la siguiente definición:

3.1 Curado

Es el proceso mediante el cual, en un ambiente especificado de humedad y temperatura, se favorece la hidratación del cemento o de los materiales cementantes en la mezcla.

4 APARATOS Y EQUIPO

4.1 Moldes en general

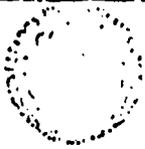
Los moldes y los accesorios para elaborar los especímenes de concreto deben ser de acero, fierro fundido, o cualquier otro material no absorbente y no reactivo con el concreto de cemento portland u otros cementantes hidráulicos. Los moldes deben cumplir con las dimensiones y tolerancias que se especifican en esta norma y deben mantener estas dimensiones y sus formas bajo condiciones severas de trabajo. Deben ser impermeables durante su empleo y si es necesario se podrá usar un material de sello que evite la fuga de agua por las juntas, tal como, grasa, plastilina o parafina. Deben estar provistos de los elementos necesarios para fijarlos firmemente a sus bases.

A los moldes de uso repetitivo se les debe aplicar un desmoldante que facilite sacar el espécimen del molde.

4.2 Moldes cilíndricos

4.2.1 Moldes cilíndricos verticales

Los moldes deben ser de lámina metálica gruesa, o de cualquier otro material rígido y no absorbente (véase inciso 4.2.1.1). El plano definido por el borde del cilindro debe ser perpendicular a su eje. Las dimensiones del molde no deben variar de los valores especificados, en más de 1.5 mm en su diámetro, ni en más de 6.0 mm en su altura. Deben estar provistos de una base metálica maquinada, en el caso de moldes metáli-



SECOPI - DGN

cos; o en el caso de otros materiales, la base debe ser del mismo material que el de las paredes del molde o metálicas, con planos lisos y con elementos para sujetarla firmemente al molde con su plano perpendicular al eje del cilindro.

4.2.1.1. Moldes cilíndricos verticales para usarse una sola vez (desechables).

Los moldes desechables deben tener la forma y cumplir con las dimensiones y tolerancias establecidas en el inciso anterior. Se podrá requerir una supervisión y una atención especial para garantizar que las deformaciones se mantengan dentro de las tolerancias especificadas y que los materiales no sean absorbentes. Los moldes hechos de lámina delgada o de otro material deben ser empleados con la preparación necesaria para asegurar que no se deformen más de la tolerancia especificada, de preferencia se pueden emplear cilindros metálicos rígidos para mantener la forma de los moldes durante la operación de moldeo del concreto.

4.2.2 Moldes cilíndricos horizontales para pruebas de deformación diferida (flujo plástico)

Estos moldes deben tener la forma y cumplir con las dimensiones y tolerancias indicadas en el inciso 4.2.1 y se emplean únicamente para aquellos especímenes que contengan deformímetros ahogados axialmente. Deben tener una ranura horizontal con un ancho de medio diámetro del espécimen y a todo lo largo del molde, a fin de recibir el concreto con el molde en posición horizontal. Si es necesario los bordes de la ranura deben estar reforzados para mantenerlos indeformables.

Deben contar con dos placas metálicas, torneadas, de cuando menos 2.5 cm de espesor para las bases del cilindro, cuando no se requiera cabecear o pulir las bases para la prueba y deben cumplir con los requisitos de superficie uniforme y rugosidad de la Norma NOM-C-109 (véase 2). Se debe contar con unos dispositivos para fijar firmemente las bases al molde y los necesarios para colocar en posición correcta el medidor de deformaciones. La superficie interior de cada base debe contar cuando menos con tres pernos de 2.5 cm de longitud, firmemente sujetos a la placa, a fin de quedar ahogados en el concreto. A una de las bases se le hará una perforación de adentro hacia afuera, con un ángulo tal, que permita el paso del alambre del medidor de deformaciones a través del borde de la placa y del menor diámetro posible.

4.3 Moldes prismáticos

Los moldes para las pruebas de flexión, u otros que requieran especímenes de forma prismática deben ser rectangulares, a menos que se especifique otra forma, y de las dimensiones que estipule el método de prueba correspondiente. Las superficies interiores deben ser lisas y libres de imperfecciones. Los lados y el fondo deben formar ángulos rectos entre sí y deben ser superficies planas. La máxima variación que se permite en cualesquiera de las dimensiones de su sección transversal nominal es-

SILOFI-DEM

de 3 mm, para moldes con una profundidad de 15 cm ó más, y de 1.5 mm para moldes con profundidades menores. Los moldes no deben variar de la longitud especificada en más de 1.5 mm excepto para los especímenes de flexión.

Los moldes de los especímenes para las pruebas de flexión no deben ser más cortos que 1.5 mm de la longitud requerida, pero sí pueden exceder ésta en una cantidad mayor que la anterior.

4.4 Varillas para la compactación

Según el tipo de prueba se especifican dos tamaños de varillas, cada una debe consistir en una barra lisa cilíndrica de acero, cuando menos con un extremo semiesférico, de diámetro igual al de la barra. Si se prefiere, los dos extremos pueden redondearse.

4.4.1 Varilla larga

Consiste en una barra lisa de 16 mm de diámetro y aproximadamente 60 cm de largo.

4.4.2 Varilla corta

Consiste en una barra lisa de 10 mm de diámetro y aproximadamente 30 cm de largo.

4.5 Vibradores

Los vibradores de inmersión pueden ser de flecha flexible o rígida, de preferencia accionados por un motor eléctrico. Su frecuencia de vibración dentro del concreto, debe ser de 7000 ó más vibraciones por minuto. El diámetro externo, o la dimensión lateral del cabezal, no deben ser menores de 20 ni mayores de 40 mm. La longitud combinada de la flecha y el cabezal debe exceder cuando menos en 10 cm a la profundidad máxima de la sección que se esté vibrando. Los vibradores externos pueden ser de dos tipos: de mesa o de plancha. Su frecuencia de vibración no debe ser menor de 3600 vibraciones por minuto y de preferencia ser mayor. Se debe contar con dispositivos adecuados para fijar firmemente los moldes al aparato vibrador y se debe emplear un tacómetro para verificar la frecuencia de vibración.

Los impulsos vibratorios frecuentemente se imparten por medio de vibradores electromagnéticos, o por masas excéntricas accionadas directa o indirectamente con motores eléctricos.

4.6 Herramienta auxiliar

Se debe contar con herramientas auxiliares, tales como: palas, recipientes, llanas, enrasadores, cucharones, reglas, guantes de hule y charolas de lámina para mezclar.

SECCION DGN

4.7 Equipo de revenimiento

El equipo para medir el revenimiento debe cumplir con los requisitos de la NOM-C-156 (véase 2).

4.8 Charola para el remezclado de la muestra

La charola debe ser de lámina metálica gruesa, de fondo plano, impermeable, con una profundidad conveniente y de una capacidad suficiente que permita un mezclado eficiente de toda la revoltura con la pala o cucharas, o, si la mezcla se hace mecánicamente, esta capacidad debe ser suficiente para recibir toda la revoltura directamente de la descarga de la mezcladora y permitir un remezclado fácil con las palas o cucharas.

4.9 Equipo para determinar el contenido de aire

El equipo para medir el contenido de aire debe cumplir con lo especificado por las Normas NOM-C-157 y C-162 (véase 2).

4.10 Báscula

La báscula debe tener una aproximación de 0.3% de la carga de prueba en cualquier punto dentro del intervalo de uso. Debe cumplir con las especificaciones de sensibilidad y tolerancias establecidas por la Dirección General de Normas.

En general, no se debe determinar la masa de cantidades pequeñas en básculas de gran capacidad. En todos los casos, la menor masa por determinar debe ser mayor que el 10% de la capacidad de la báscula; sin embargo, esto puede variar de acuerdo a la sensibilidad y funcionamiento de cada báscula, y de la aproximación deseada. La mayoría de las básculas aceptables para determinar la masa de materiales para concreto, deben tener una aproximación de 0.1 % de la capacidad total y debe observarse la precaución indicada anteriormente. Sin embargo algunas balanzas analíticas y de precisión son la excepción a la regla y pueden determinar la masa con exactitud hasta de 0.001 %. Cuando se determine la masa de una pequeña cantidad de material, se debe tener un cuidado muy especial, determinándola por diferencia entre dos cantidades bastante mayores.

4.11 Mezcladora de concreto

Puede consistir de un tambor rotatorio, de una revoladora basculante, de una mezcladora de aspas con eje horizontal o de una mezcladora de aspas con eje vertical, capaz de mezclar íntimamente las revolturas del tamaño y revenimiento requerido.

4.11.1 Para mezclar concretos con revenimientos menores de 2.5 cm puede ser más eficiente una mezcladora de aspas con eje horizontal o vertical que un tambor rotatorio. En cuanto a las revoladoras basculantes, no siempre son adecuadas para mezclar concretos en el laboratorio, aún cuando se pueda regular la velocidad de rotación, el ángulo de inclinación res-



SECOFI - DGN

pecto a la horizontal y la capacidad de mezclado. Puede ser útil en algunos casos, el reducir la velocidad de rotación, la inclinación y la capacidad respecto a la máxima especificada por el fabricante, para lograr mezclas apropiadas.

5 MATERIALES, AGREGADOS, CEMENTO Y ADITIVOS

5.1 Preparación de los materiales

5.1.1 Temperatura

Los materiales deben mantenerse a una temperatura uniforme, de preferencia entre 293 y 298 K (20 y 25°C), antes del mezclado del concreto.

5.1.2 Cemento

El cemento debe ser almacenado en un lugar seco, en recipientes impermeables, de preferencia metálicos. El cemento debe mezclarse perfectamente para lograr uniformidad de la muestra en todas las pruebas y pasarse por una criba NOM- M.085 que se establece en la NOM-B-231 (véase 2), o más fina, eliminando todo los grumos .

5.1.3 Agregados

Para evitar la segregación del agregado grueso, éste debe ser clasificado en fracciones de cada tamaño nominal y dosificado por cada revoltura en la proporción adecuada, para obtener la composición granulométrica deseada. En contadas ocasiones es posible dosificar el agregado grueso como una sola fracción de un tamaño.

El número de fracciones puede ser generalmente de 2 a 5 para agregado menor de 63.5 mm. Cuando una de las fracciones por dosificarse es de un contenido mayor del 10%, la relación de aberturas entre la criba mayor y la menor, no debe exceder de 2.0. Se aconseja, en ocasiones, emplear fracciones de menor variación granulométrica.

5.1.3.1 Al menos que el agregado fino sea dividido en fracciones de tamaños individuales (o sea en porciones retenidas en diferentes cribas), debe ser puesto y/o mantenido en condiciones húmedas hasta el momento de ser empleado, para evitar segregación, exceptuando el caso en que el material con granulometría uniforme, sea subdividido en porciones dosificadas para la prueba, empleando un " cuarteador mecánico" con la abertura apropiada. Si se requiere estudiar granulometrías poco usuales, puede ser necesario secar y separar el agregado fino. En este caso, si la cantidad total que se requiere del agregado fino es mayor de la que se puede mezclar en una misma revoltura, se deben determinar las masas en las cantidades requeridas, de cada porción para cada revoltura individual. Cuando sea posible, la cantidad total del agregado fino que se requiera para la investigación completa debe ser mezclada perfectamente, dosificada y mantenida en condición húmeda.

SECON-DGN

La masa específica y la absorción de los agregados deben ser determinadas de acuerdo con las NOM-C-164 y C-165 (véase 2).

Los agregados deben ser preparados antes de incorporarlos al concreto, asegurando una condición definida y uniforme de humedad. La masa de los agregados por emplearse en la revoltura debe ser determinada por los procedimientos señalados en los siguientes incisos:

5.1.3.2 A los agregados con absorción menor de 1.0 % se les debe determinar su masa en condiciones de ambiente seco, haciendo la corrección por la cantidad de agua que será absorbida por el agregado antes de fraguar el concreto. Este procedimiento es particularmente útil para el agregado grueso, el cual debe ser dosificado en tamaños individuales. Debido a que el agregado fino puede producir segregación, solamente debe ser empleado cuando se hayan separado también en porciones de tamaños individuales.

Cuando se empleen estos agregados, la absorción puede ser estimada en un 80 por ciento de la diferencia entre la absorción a 24 horas de los agregados, determinada por la NOM-C-164 (véase 2) y la cantidad de agua en los poros de los agregados, en su condición de ambiente seco, determinada por la NOM-C-166 (véase 2).

5.1.3.3 A las porciones de tamaños individuales del agregado se les puede determinar su masa por separado, recombinadas en un recipiente tarado con la dosificación requerida y sumergidas en agua durante 24 horas antes de ser usadas. Después de la inmersión, el exceso de agua se decanta y se determina la masa combinada del agregado y del agua de mezclado. Se debe hacer ajuste por la cantidad de agua absorbida por el agregado. El contenido de humedad del agregado se debe determinar de acuerdo con la NOM-C-245 y C-166 (véase 2).

5.1.3.4 El agregado fino debe ser saturado y mantenido en esa condición, con humedad superficial en cantidades suficientemente pequeñas para evitar la pérdida por drenado, por lo menos durante 24 horas antes de ser usado. Cuando se emplee este método, para permitir el cálculo de la cantidad correcta del agregado húmedo, el contenido de humedad del agregado debe ser determinado de acuerdo con las NOM-C-245 y C-166 (véase 2) - haciendo los ajustes necesarios por el agua absorbida. La humedad superficial determinada debe ser considerada como parte del agua de mezclado requerida.

Este método no se recomienda para el agregado grueso por la dificultad para determinar con precisión el contenido de humedad, pero si se emplea, cada porción de tamaños se debe procesar por separado para asegurar la composición granulométrica considerada.

5.1.3.5 El agregado, fino o grueso, debe ser puesto y mantenido en condición de saturado y superficialmente seco hasta el momento en que se

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS
D.G.N.

le determine en masa para su empleo. Este método debe ser usado únicamente cuando se prepare material para revolturas no mayores de 7 litros. Deben observarse precauciones para evitar el secado del material durante la determinación de su masa y demás operaciones.

5.2 Agregados ligeros

Los procedimientos para obtener la masa específica y la absorción, y para el manejo de los agregados mencionados en esta norma, se refieren a materiales con capacidad normal de absorción. Los agregados ligeros, la escoria enfriada por aire y algunos agregados naturales de alta porosidad o vesiculares, pueden ser tan absorbentes que se dificultaría el procedimiento de mezcla. El contenido de humedad del agregado ligero, al momento de mezcla, puede tener efectos importantes sobre las características de los cementos ya sea recién mezclados o endurecidos, tales como: pérdida del revenimiento, de la resistencia a la compresión y de la resistencia al congelamiento y deshielo.

5.3 Aditivos

Los aditivos en polvo que sean completamente o en gran parte insolubles, que no contengan sales higroscópicas y que deban agregarse en pequeñas cantidades, deben ser mezclados con una porción del cemento antes de introducir los materiales a la revolvedora, para asegurar una mezcla uniforme en todo el concreto; materiales esencialmente insolubles que sean empleados en cantidades mayores de un 10% en masa del cemento, tales como las puzolanas, deben ser manejados y agregados a la revoltura en la misma forma que el cemento. Los adicionantes en polvo que sean en gran parte insolubles pero que contengan sales higroscópicas, pueden producir grumos en el cemento por lo cual deben ser mezclados con la arena. Los aditivos solubles en agua y los de consistencia líquida deben ser agregados a la revolvedora en forma de solución, en el agua de mezclado. La cantidad que se emplee de tal solución se debe incluir en el cálculo del contenido de agua de concreto. Los aditivos que sean incompatibles en forma concentrada, tales como soluciones de cloruro de calcio y algunos incluso de aire y retardantes, no deben ser mezclados entre sí antes de ser agregados al concreto. El tiempo y el método para agregar algunos aditivos a una revoltura de concreto pueden ocasionar efectos de importancia sobre algunas de las propiedades del mismo, tales como el tiempo de fraguado y el contenido de aire. El método escogido debe ser uniforme para todas las revolturas y debe reproducir las condiciones óptimas de la obra.

Se deben tener precauciones especiales para limpiar la revolvedora y demás equipo, a fin de asegurar que las sustancias químicas o aditivos que se hayan empleado en ciertas revolturas de concreto, no afecten a las revolturas subsiguientes.

6 CLASIFICACION



SE. OFI - DGN

6.1 Para los efectos de esta norma los especímenes de concreto se clasifican en tres tipos:

Tipo 1.- Cilíndricos

Tipo 2.- Prismáticos

Tipo 3.- De otras formas

6.1.1 Especímenes cilíndricos

Se elaborarán para las pruebas de compresión, módulo de elasticidad, flujo plástico y compresión diametral, con un diámetro mínimo de 5 cm y una longitud mínima de 10 cm.

Cuando se desee correlacionar o comparar los resultados de estos cilindros con los cilindros elaborados en obra, de acuerdo con la NOM-C-160, los cilindros deben ser de 15 cm de diámetro y 30 cm de longitud. De lo contrario las dimensiones están gobernadas por el inciso 6.2 y por el método de prueba correspondiente.

6.1.1.1 Los especímenes cilíndricos para las pruebas anteriores, excepto para la de flujo plástico, deben elaborarse y dejarse endurecer con el eje del cilindro en posición vertical.

6.1.1.2 Los especímenes cilíndricos, para la prueba de flujo plástico, se podrán elaborar con el eje del cilindro horizontal o vertical y se deben dejar endurecer en la posición original como fueron elaborados.

6.1.2 Especímenes prismáticos

Especímenes tales como vigas para la prueba de flexión, cubos para la de compresión, barras para ciclos de congelación, deshielo, adherencia, cambios de longitud, cambios de volumen y otros se deben elaborar con su eje mayor horizontal; excepto que otra posición sea requerida por el método de prueba correspondiente, y deben cumplir con las dimensiones especificadas en dichos métodos de prueba.

6.1.3 Otros especímenes

Se pueden elaborar especímenes de otras formas, para pruebas especiales, siguiendo el procedimiento general que se establece en este método.

6.2 Especificaciones del espécimen

6.2.1 Dimensionales

6.2.1.1 Tamaño del espécimen en relación al tamaño del agregado

El diámetro de los especímenes cilíndricos o la dimensión menor de una sección transversal rectangular, debe ser cuando menos tres veces el ta-

El tamaño máximo nominal del agregado grueso empleado en el concreto. Durante la elaboración de los especímenes, se deben eliminar manualmente aquellas partículas mayores al anterior que ocasionalmente se encuentren dentro de la granulometría normal.

El tamaño máximo nominal, debe ser el correspondiente a la criba siguiente superior a la que retiene cuando menos 10% del agregado. En caso contrario se considera como tamaño máximo nominal el de la criba que retiene la fracción.

6.3 Número de especímenes

La cantidad de especímenes y de mezclas de prueba depende de los objetivos establecidos y de la naturaleza del programa de pruebas. Comúnmente se proporcionan las indicaciones adecuadas para determinar estas cantidades en los métodos o en las especificaciones de prueba correspondientes. En general se deben preparar dos o más especímenes para cada edad y para cada condición de prueba, a menos que otra cosa se especifique (véase inciso 6.4).

Aquellos especímenes que involucren una variable determinada, se deben hacer con tres revolturas diferentes, mezcladas en distintos días. En cada día se debe hacer un número igual de especímenes por cada variable. Cuando sea imposible hacer cuando menos una muestra por cada variable en un determinado día, la elaboración de toda la serie de especímenes se debe completar en el menor número posible de días, y una de las mezclas se debe repetir cada día como patrón de comparación.

6.4 Edad de prueba de los especímenes

Las edades de prueba comúnmente empleadas son: 7 y 28 días para las pruebas de resistencia a la compresión, 6, 14 y 28 días para la de resistencia a la flexión. Los especímenes elaborados con cemento tipo III, de rápida resistencia alta, se prueban frecuentemente a 1, 3, 7, 14 y 28 días de edad. Para las pruebas de resistencia a la compresión y a la flexión a edades posteriores, se emplean a menudo, 3, 6 y 12 meses. Para otros tipos de especímenes se pueden requerir otras edades.

7 PROCEDIMIENTO

7.1 Mezclado del concreto

7.1.1 Generalidades

Se mezcla el concreto en una revolvedora apropiada, o a mano, en revolturas de cantidad suficiente para dejar un remanente de aproximadamente 10% después de moldear los especímenes de prueba. El mezclado a mano no debe ser empleado para concreto con aire incluido o concreto de revenimiento cero, en revolturas tentativas con volumen máximo de 7 litros. Los procedimientos de mezclado se describen en los incisos 7.1.2 y 7.1.3. Sin embargo, otros procedimientos pueden ser empleados cuando se pretenda reproducir condiciones o sistemas especiales, o cuando los métodos espe-

SECCIÓN - DGN

ificados no resulten prácticos. Se describe un procedimiento de mezclado mecánico, apropiado para revolvedoras de tipo de olla.

Es importante que no se alteren las secuencias de mezclado ni el procedimiento de revoltura a revoltura, a menos que se pretenda estudiar el efecto de tales variaciones.

7.1.2 Mezclado mecánico

Antes de iniciar la operación de la revolvedora se añade el agregado grueso, parte del agua de mezclado y la solución de aditivos, cuando ésta se requiera, de acuerdo con el inciso 5.3. Cuando sea factible, el aditivo puede ser disuelto en el agua de mezclado antes de agregarla. Se inicia la operación de la revolvedora y luego se añade el agregado fino, el cemento y el agua mientras gira la olla. Si no resulta práctico, para algún tipo particular de revolvedora o para alguna prueba especial, el agregar los componentes descritos mientras se encuentra en operación, podrán ser adicionados a la revolvedora parada, después de haber permitido que gire unas cuantas revoluciones conteniendo el agregado grueso y parte del agua.

Se mezcla el concreto durante 3 minutos, después de haber cargado todos los ingredientes, seguido de un descanso de 3 minutos; se termina con otro período de mezclado de 2 minutos. Se tapa la boca de la revolvedora con un paño húmedo durante el período de descanso para evitar la evaporación. Se hace la compensación necesaria del mortero que retenga la revolvedora, para que la revoltura descargada al ser empleada, tenga las proporciones correctas. Para eliminar la segregación, se deposita el concreto mezclado por la revolvedora en una charola limpia y húmeda y se remezcla con pala o cucharón hasta obtener una apariencia uniforme. Es difícil recuperar todo el mortero de la revolvedora. Para compensar esta pérdida se debe emplear el procedimiento siguiente, a fin de conseguir las proporciones finales correctas en la revoltura.

7.1.2.1 Preparación de la revolvedora

Inmediatamente antes de iniciar el mezclado de la revoltura de prueba, la revolvedora debe prepararse con una revoltura de mortero o concreto proporcionada aproximadamente igual a la de prueba. El mortero que se adhiere a la revolvedora después de la descarga evita la pérdida de mortero en la revoltura de prueba.

Se deben tener precauciones especiales para limpiar la revolvedora y demás equipo, a fin de asegurar que las sustancias químicas o aditivos que se hayan empleado en ciertas revolturas de concreto, no afecten a las revolturas subsiguientes.

7.1.3 Mezclado a mano

Se mezcla la revoltura en una charola o recipiente metálico liso, limpio y húmedo con un cucharón empleando el procedimiento, siguiente, cuando los agregados han sido preparados de acuerdo con los incisos 5.1.3.2, 5.1.3.3 y 5.1.3.4.

7.1.3.1 Se mezcla el cemento, el aditivo insoluble en caso de requerirse, y el agregado fino, hasta lograr una combinación uniforme.

7.1.3.2 Se añade el agregado grueso y se mezcla toda la revoltura, hasta lograr su distribución uniforme.

7.1.3.3 Se agrega el agua y la solución del aditivo en caso de emplearse, y se mezcla hasta obtener un concreto homogéneo en apariencia y de la consistencia deseada. Si se requiere un mezclado prolongado para ajustar la consistencia a base de incrementos de agua, se desecha esta revoltura y se elabora una nueva, en la cual no se interrumpa el mezclado.

7.2 Obtención de la muestra

De la revoltura del concreto se obtiene la fracción representativa para las pruebas y para elaborar los especímenes. Cuando el concreto no esté en proceso de mezclado o de muestreo, se cubre para evitar la evaporación del agua con un paño húmedo.

7.3 Pruebas al concreto fresco

7.3.1 Consistencia

La medida de la consistencia de cada mezcla de prueba, debe realizarse inmediatamente después del mezclado de acuerdo con la NOM-C-156 (véase 2) o con cualquier otro método normalizado.

La prueba de revenimiento no es apropiada para concretos con revenimiento inferior a 5 cm ni mayor de 20 cm.

7.3.2 Contenido de aire

Se determina el contenido de aire, cuando se requiera, de acuerdo con cualquiera de los métodos establecidos en las Normas NOM-C-157 o C-158. El método de la NOM-C-157 no debe emplearse en concretos fabricados con agregados ligeros, escoria de alto horno o agregados de alta porosidad. El concreto empleado en la determinación del contenido de aire se desecha.

7.3.3 Rendimiento

Se determina el rendimiento de cada revoltura de concreto, si es necesario, de acuerdo con la NOM-C-162. El concreto empleado en las determinaciones de la consistencia y rendimiento puede ser incorporado a la revoltura remezclándolo.

7.3.4 Tiempos de fraguado

Cuando se requiera, la determinación de los tiempos de fraguado del concreto debe realizarse de acuerdo con la NOM-C-177.

SECCIÓN - DGN

7.4 Elaboración de especímenes

7.4.1 Sitio de la elaboración

Se elaboran los especímenes lo más cerca posible al lugar en donde deben ser almacenados durante las 24 horas. Si no es posible su elaboración en el mismo lugar de almacenaje, se deben transportar cuidadosamente los moldes con los especímenes a dicho lugar inmediatamente después de su enraseado. Se colocan en una superficie rígida y horizontal, que no esté sujeta a vibraciones u otras perturbaciones. Se deben evitar los movimientos bruscos, los golpes y las inclinaciones o rayado de la superficie de los especímenes.

7.4.2 Colocación

Se coloca el concreto en los moldes usando un cucharón. Es necesario el remezclado del concreto en la charola, o con cucharón, para evitar la segregación durante el moldeo de los especímenes. Se toma el concreto del recipiente de mezclado en tal forma, que sea representativo de la revoltura. Se mueve el cucharón alrededor del borde superior del molde al descargar el concreto, para asegurar una distribución uniforme y recibir la segregación del agregado grueso.

Se distribuye el concreto colocado, empleando la varilla, antes de iniciar la compactación. Al colocar la última capa el operador debe procurar que la cantidad de concreto llene el molde rebosándolo después de su compactación.

7.5 Número de capas

Se elaboran los especímenes llenando y compactando en capas, según lo indicado en la tabla 1.

7.6 Compactación

7.6.1 Métodos de compactación

La elaboración de especímenes adecuados requiere el empleo de diferentes métodos de compactación. Los métodos de compactación son el varillado y vibrado interno o externo. La selección del método de compactación, debe basarse en el revenimiento, a menos que el método se establezca en las especificaciones estructurales. Se varillan los concretos con un revenimiento mayor de 8 cm. Se varillan y se vibran los concretos con revenimiento entre 3 y 8 cm. Se compacta con vibración los concretos con revenimiento menor de 3 cm. (véase 7.6.1.1). No se debe emplear la vibración interna en cilindros de diámetro de 10 cm o menor, o en vigas o prismas de 10 cm de ancho o altura, o menos.



SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS Y CONSTRUCCIÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS

T A B L A 1
NUMERO DE CAPAS REQUERIDAS PARA LOS ESPECIMENES

Tipo y tamaños del espécimen. cm	Método de compactación.	Número de capas	Espesor aproximado de la capa en cm
CILINDROS:			
Hasta 30	varillado	3 iguales	- - - - -
más de 30	varillado	según se requiera.	10
Hasta 45	vibrado	2 iguales	- - - - -
más de 45	vibrado	3 ó más	15 ó lo más cercano posible
PRISMAS Y CILINDROS HORIZONTALES PARA FLUJO PLASTICO			
Hasta 20	varillado	2 iguales	- - - - -
más de 20	varillado	3 ó más	10
Hasta 20	vibrado	1	- - - - -
más de 20	vibrado	2 ó más	20 ó lo más cercano posible.

7.6.1.1 El concreto de contenido de agua tan bajo, que no pueda ser consolidado por los métodos aquí descritos, no se incluye en esta norma. Los procedimientos para la elaboración de especímenes y los métodos de prueba deben consultarse en las normas correspondientes. Hay concretos que pueden ser compactados con vibración externa, pero se requieren fuerzas adicionales en la superficie para acomodar completamente el agregado grueso y consolidar la revólturna.

7.6.2 Varillado

Se coloca el concreto dentro del molde, en el número de capas especificadas.



de aproximadamente igual espesor. Se varilla cada capa con el extremo redondeado empleando el número de penetraciones y tamaño de varilla especificado en la tabla 2. Se compacta la capa inferior en todo su espesor. Se distribuyen los golpes uniformemente en toda la sección transversal del molde y para cada capa superior, permitiendo que la varilla penetre aproximadamente 1 cm dentro de la capa inmediata inferior, cuando el espesor de esa capa sea menor a 10 cm y aproximadamente 2 cm cuando su espesor sea de 10 cm o más. Si la varilla produce oquedades, se golpean ligeramente las paredes del molde para eliminar hasta donde sea posible. En el caso de los moldes prismáticos, después de que cada capa se ha varillado, debe introducirse y sacarse repetidamente una cuchara de albañil u otra herramienta adecuada en la zona de contacto del concreto y el molde en todo su perímetro.

T A B L A 2

DIAMETRO DE LA VARILLA Y NUMERO DE PENETRACIONES EMPLEADOS PARA MOLDEAR LOS ESPECIMENES DE PRUEBA

CILINDROS		VERTICALES	
Diámetro del cilindro	Diámetro de varilla	Número de penetraciones por capas	
cm	mm		
Entre 5 y menos de 15	10	25	
15	16	25	
20	16	50	
25	16	75	

V I G A S Y P R I S M A S

Area superficial superior del espécimen en	Diámetro de varilla	Número de penetraciones por capa
cm ²	mm	
160 ó menos	10	25
Entre 165 y 310	10	Uno por cada 7 cm ² de superficie
320 ó más	16	Uno por cada 10 cm ² de superficie.

C I L I N D R O S H O R I Z O N T A L E S (Para flujo plástico)

Diámetro del cilindro	Diámetro de varilla	Número de penetraciones por capa
cm	mm	
15	16	50 en total, 25 de cada lado del eje.



SECOFI - DGN
Vibrado

7.6.3

La duración requerida para la vibración, depende de la trabajabilidad del concreto, la efectividad del vibrado y las dimensiones del molde. Se efectúa la vibración solo el tiempo necesario para lograr una compactación apropiada del concreto la cual se logra en el momento en que la superficie del concreto empieza a tener un aspecto relativamente liso. El exceso de vibración puede producir segregación. Se debe procurar que el tiempo de vibrado en moldes similares y en el mismo tipo de concreto, sea siempre el mismo. Se coloca dentro del molde todo el concreto de una capa, antes de iniciar la vibración de la misma. Se coloca la última capa en tal forma, que se evite rebasar el molde en más de 5 mm, se enrasa la superficie, ya sea durante la vibración, cuando ésta se aplique externamente o después cuando se aplique interiormente.

7.6.3.1 Vibración interna

En el caso de vigas o prismas el diámetro de la flecha del vibrador interno debe ser como máximo, la tercera parte del ancho del molde. Para cilindros, la relación del diámetro del cilindro al del vibrador, debe ser de 4 ó mayor. Al compactar el espécimen, el vibrador no debe descansar o tocar el fondo o los lados del molde, o golpear los elementos ahogados en el concreto, tales como los deformímetros. Se extrae cuidadosamente el vibrador, en tal forma que no produzca oquedades en el espécimen. Después de vibrar cada capa se golpean ligeramente los lados del molde, para asegurar la eliminación de burbujas de aire atrapado.

7.6.3.1.1 Cilindros

Para cada capa, se introduce tres veces el vibrador en diferentes puntos, permitiendo que penetre la capa en proceso y aproximadamente 2 cm en la capa inmediata inferior.

7.6.3.1.2 Vigas, prismas y cilindros horizontales para flujo plástico

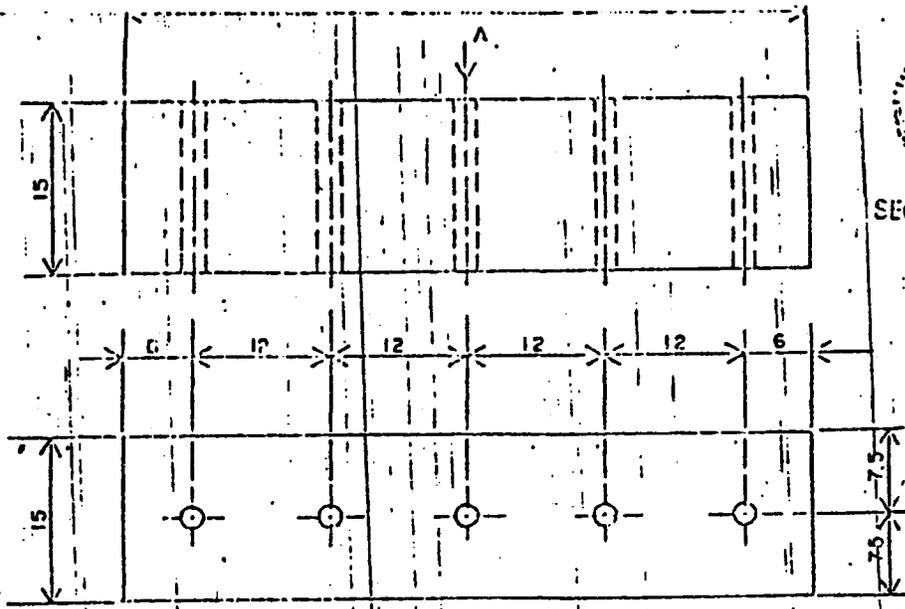
Se introduce el vibrador, en separaciones que no excedan de 15 cm, a lo largo del eje longitudinal del espécimen, en ambos lados, pero sin hacer contacto con el deformímetro, en el caso de cilindros para flujo plástico. Para especímenes de ancho mayor de 15 cm, se introduce el vibrador en forma alternada a lo largo de dos líneas, permitiendo que penetre aproximadamente 2 cm en la capa inmediata inferior. (véase fig. 1).

7.6.3.2 Vibración externa

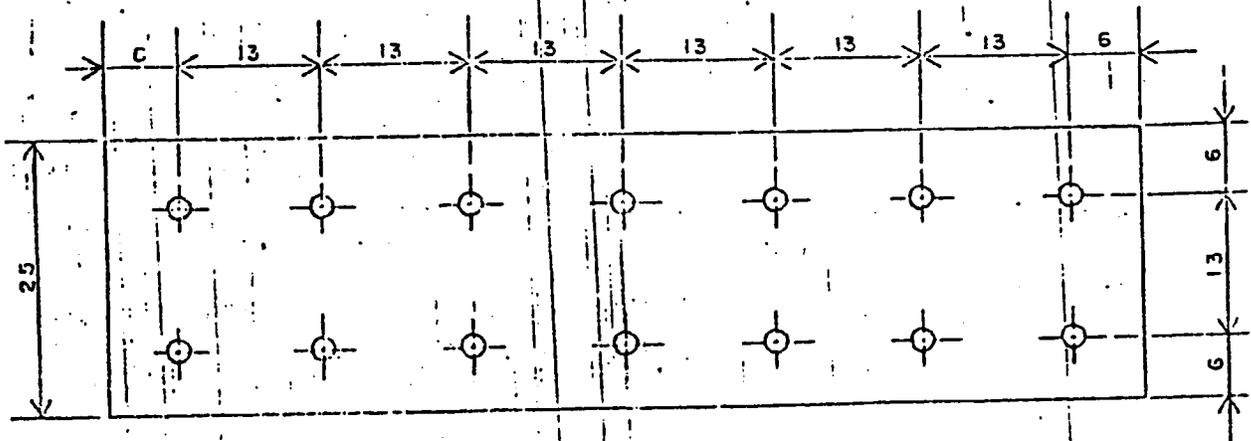
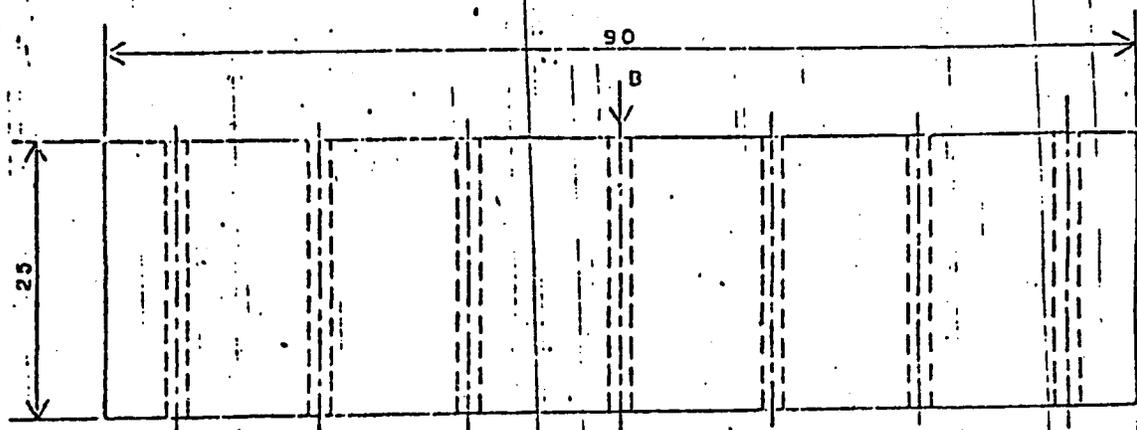
Al emplear vibración externa, se debe cuidar que el molde esté sujeto firmemente contra el elemento vibrador o la superficie vibratora. El molde debe ser lo suficientemente rígido, para asegurar la transmisión de las vibraciones al concreto y no perder su forma durante el vibrado.



SECOFI - DGN



VISTA-A



VISTA-B

Escuela no
Acof.
Dibujó F.J.G.G.

LOCALIZACION DE LOS
PUNTOS DE PENETRACION
DEL VIBRADOR EN LOS MOLDES

NOM-C-159

Fig. 1

7.7

SI. 1071-DGN
Acabado

Después de la compactación con cualquiera de los métodos anteriores, a menos que el enrasado se haya efectuado durante la vibración (7.6.3.2) se enrasa la superficie del concreto. Si no se especifica el tipo de acabado, se termina la superficie con un enrasador rígido de madera o de metal. Se efectúa el acabado con el mínimo de pasadas necesarias para producir una superficie plana y uniforme, que esté a nivel con las orillas del molde y que no tenga depresiones o promotorios mayores de 3.0 mm.

7.7.1

Cilindros

Después de la compactación, se termina la superficie superior enrasándola con un enrasador de madera o metal. Si se desea, se puede cabecear la superficie del cilindro recién elaborado con una capa delgada de pasta de cemento, que se endurezca y se cure con el espécimen de acuerdo con la NOM-C-109 (véase 2).

7.7.2

Cilindros moldeados horizontalmente para flujo plástico

Después de compactado se termina el espécimen con un enrasador curvo, con el mismo radio del espécimen, para terminar con precisión la superficie del concreto en la abertura del molde.

8

CURADO

8.1

Protección después del acabado

Para evitar la evaporación del agua de los especímenes de concreto sin fraguar, se deben cubrir inmediatamente después de terminados, de preferencia, con una placa no absorbente y no reactiva, o con una tela de plástico durable impermeable. Se puede emplear yute húmedo, pero debe cuidarse de mantenerse con humedad y evitar el contacto con el concreto hasta que los especímenes sean extraídos de los moldes. El colocar una tela de plástico sobre el yute facilita mantenerlo húmedo.

8.2

Descimbrado

Los especímenes deben ser descimbrados no antes de 20 ni después de 48 horas de su elaboración.

8.3

Ambiente de curado

A menos que otro método se especifique de otra manera todos los especímenes deben ser curados en humedad a temperatura de $296 \pm 3 \text{ K}$ ($23 \pm 3^\circ\text{C}$), durante las primeras 24 horas, después de ese tiempo deben mantenerse a una temperatura de $296 \pm 2 \text{ K}$ ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) con una humedad relativa de 95% mínima, hasta el momento de la prueba.

El almacenaje durante las primeras 48 horas debe ser, en un sitio libre de vibraciones. Con relación a los especímenes extraídos de los moldes, el curado húmedo significa que los especímenes de prueba deben mantenerse

SECCION - DGN

con agua libre en su superficie en todo tiempo. Esta condición se logra por inmersión en agua saturada con cal, o por almacenamiento en un cuarto húmedo o gabinete que cumpla con los requisitos de la NOM-C-146 (véase 2). Los especímenes no deben ser expuestos a goteo directo o a agua corriente.

8.4 Especímenes para pruebas de resistencia a la flexión

Los especímenes para pruebas de flexión deben ser curados en la forma descrita en 8.1, 8.2 y 8.3 con la excepción de que durante el almacenaje, por un período mínimo de 20 horas inmediatamente antes de la prueba, sean sumergidos en una solución de agua saturada con cal a 296 ± 2 K ($23 \pm 2^\circ$ C). Al final del período de curado, entre el momento en que se suspende dicho curado y el inicio de la prueba, debe evitarse que la superficie del espécimen se seque, pues zonas "secas" aún pequeñas producen esfuerzos de tensión en las fibras extremas que reducen dicha resistencia.

9 BIBLIOGRAFIA

ASTM-C-192-81 Standard Method of " Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory".

10 CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES

No se puede establecer concordancia por no existir referencia al momento de la elaboración de la presente.

México, D. F.; a 8 ABO. 1985

LA DIRECTORA GENERAL DE NORMAS.

LIC. CONSUELO SAEZ RUEYO.

15.
31
750

50

RGA*ELGR*VLCS*JEDM*ICAM*mept.

**ORGANISMO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN Y
CERTIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN Y EDIFICACIÓN, S.C.**

**NORMA MEXICANA
NMX - C - 156 - 1997 - ONNCCE**

(Esta norma cancela a la NMX-C-156-1988)

Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 19 de marzo de 1998

**"INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CONCRETO - DETERMINACIÓN
DEL REVENIMIENTO EN EL CONCRETO FRESCO"**

**"BUILDING INDUSTRY - CONCRETE - SLUMP DETERMINATION
OF FRESH CONCRETE"**

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
Constitución # 50 Col. Escandón C.P. 11800 México, D.F. Tel. 273 33 99 y 273 19 91 Fax: 273 34 31
Email: onnccce@mext.clubinter.net

© Derechos reservados REPRODUCCIÓN PROHIBIDA



NORMA MEXICANA NMX-C-156-1997-ONNCCE Esta norma cancela a la NMX-C-156-1988) Declaratoria de vigencia publicada en el D.O.F. el Día 19/marzo/1998	"INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN - CONCRETO - DETERMINACIÓN DEL REVENIMIENTO EN EL CONCRETO FRESCO" "BUILDING INDUSTRY - CONCRETE - SLUMP DETERMINATION OF FRESH CONCRETE"
--	--

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
 Constitución # 50 Col. Escandón C.P. 11800 México, D.F. Tel. 273 33 99 y 273 19 91 Fax: 273 34 31
 Email: onncce@mext.clubinter.net

© Derechos reservados REPRODUCCIÓN PROHIBIDA



COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN DE MATERIALES COMPONENTES Y SISTEMAS ESTRUCTURALES CTN- 1

0. PREFACIO

En la elaboración de esta norma, participaron las siguientes Empresas e Instituciones:

- ASOCIACIÓN MEXICANA DE LA INDUSTRIA DEL CONCRETO PREMEZCLADO, A.C. (AMIC)
- COMINDE PRESTACIONES Y SERVICIOS
- COMISIÓN DE VIALIDAD Y TRANSPORTE URBANO
- CONCRETOS KARYMA, S.A. DE C.V.
- CONCRETOS METROPOLITANOS, S.A. DE C.V.
- CONTROL DE CALIDAD Y MEDICIONES, S.A. DE C.V.
- EQUIDISEÑO, S.A. DE C.V.
- EUROESTUDIOS
- GRUPO BAL, S.A. DE C.V.
- GRUPO CORPORATIVO INTERESTATAL, S.A. DE C.V.
- GRUPO MOGA, S.A. DE C.V.
- IMPULSORA TLAXCALTECA DE INDUSTRIAS, S.A. DE C.V.
- INGENIERÍA EXPERIMENTAL, S.A. DE C.V.
- INGENIERÍA EXPERIMENTAL, S.A. DE C.V.
- INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S.A. DE C.V. (ICA-SOLUM)
- INSPECTEC, S.A. DE C.V.
- INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO, S.C. (IMCYC)
- LABORATORIO DE CALIDAD TOTAL, S.A. DE C.V.
- LABORATORIO DE CONTROL, S.A. DE C.V.
- LABORATORIO NACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN, S.A.
- LADIM, S.A. DE C.V.
- LATINOAMERICANA DE CONCRETO, S.A. DE C.V.
- LIAC, S.A. DE C.V.
- PRECONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, S.A. DE C.V.
- SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES (SCT)
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA (UAM)

ÍNDICE

		PAGINA
0.	PREFACIO.....	2
1.	OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN.....	3
2.	REFERENCIAS.....	3
3.	DEFINICIONES.....	3
4.	EQUIPO APARATOS E INSTRUMENTOS.....	3
5.	PROCEDIMIENTOS.....	4
6.	PRECISIÓN.....	4
7.	INFORME DE LA PRUEBA.....	4
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	5
9.	CONCORDANCIA CON NORMAS INTERNACIONALES.....	5
10.	VIGENCIA.....	5

1. OBJETIVO Y/O CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma mexicana establece los procedimientos para determinar la consistencia del concreto fresco mediante el revenimiento. Esta prueba no es aplicable en concreto con tamaño máximo nominal del agregado mayor de 50 mm.

2. REFERENCIAS

Esta Norma, se complementa con las siguientes Normas Mexicanas:

NMX-C-161-ONNCCE Industria de la construcción - Concreto fresco - Muestreo.

3. DEFINICIONES

3.1. Revenimiento

Es una medida de la consistencia del concreto fresco en término de la disminución de altura.

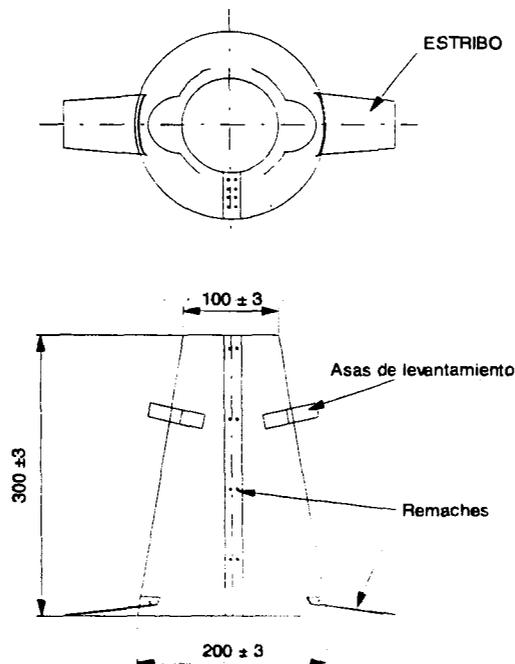
4. EQUIPO APARATOS E INSTRUMENTOS

4.1. Molde

De metal o cualquier otro material no absorbente, no susceptible de ser atacado por la pasta de cemento. El molde debe ser rígido y tener la forma de un tronco de cono de 20 cm de diámetro en la base inferior, 10 cm en la parte superior y 30 cm de altura, con una tolerancia de ± 3 mm en cada una de estas dimensiones.

La base y la parte superior deben ser paralelas entre sí y deben formar un ángulo recto con el eje longitudinal del cono. Debe estar provisto de dos estribos para apoyar los pies y de dos asas para levantarlo. La superficie interior del molde debe ser lisa, libre de protuberancias o remaches; el cuerpo del cono no debe tener abolladuras y puede estar fabricado con junta o costura (véase figura 1).

El molde puede estar provisto de abrazaderas o bridas en la parte inferior para sujetarlo a una base de material no absorbente, en lugar del tipo mostrado en la figura 1. El sistema de sujeción debe ser tal que pueda aflojar sin mover el molde.



Nota: Las dimensiones se refieren a las medidas interiores

Figura 1.- Cono de revenimiento

4.2. Varilla para la compactación

Es una barra de acero de sección circular, recta, lisa, de 16 mm (5/8" aproximadamente) de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, con uno o los dos extremos de forma semiesférica del mismo diámetro de la varilla.

4.3. Equipo auxiliar

Pala, cucharón, guantes de hule y escala.

5. PROCEDIMIENTOS

La muestra debe obtenerse de acuerdo con lo indicado en la NMX-C-161 (véase 2. Referencias).

Después de haber obtenido la muestra, se remezcla el concreto con una pala o cucharón lo necesario para garantizar uniformidad en la mezcla y se procede a hacer la prueba inmediatamente.

Se humedece el molde; se coloca sobre una superficie horizontal, plana rígida, húmeda y no absorbente. El operador lo debe mantener firme en su lugar durante la operación de llenado, apoyando los pies en los estribos que tiene para ello el molde. A continuación se llena el molde con tres capas aproximadamente de igual volumen. La primera capa corresponde a una altura aproximada de 7 cm, la segunda capa debe llegar a una altura de aproximadamente 15 cm y la tercera, al extremo del molde. Se compacta cada capa con 25 penetraciones de la varilla introduciéndola por el extremo redondeado, distribuidos uniformemente sobre la sección de cada capa, por lo que es necesario inclinar la varilla ligeramente en la zona perimetral; aproximadamente la mitad de las penetraciones se hacen cerca del perímetro, después, con la varilla vertical se avanza en espiral hacia el centro.

Se compacta la segunda capa y la superior a través de todo su espesor, de manera que la varilla penetre en la capa anterior aproximadamente 2 cm, para el llenado de la última capa se coloca un ligero excedente de concreto por encima del borde superior del molde, antes de empezar la compactación. Si a consecuencia de la compactación, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde, a la décima y/o vigésima penetración, se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del borde del molde, todo el tiempo. Después de terminar la compactación de la última capa, se enrasa el concreto mediante un movimiento de rodamiento de la varilla. Se limpia la superficie exterior de la base de asiento, e inmediatamente se levanta el molde con cuidado en dirección vertical.

La operación para levantar completamente el molde de los 30 cm de su altura, debe hacerse en $5 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$, alzándolo verticalmente sin movimiento lateral o torsional. La operación completa desde el comienzo del llenado hasta que se levante el molde, debe hacerse sin interrupción y en un tiempo no mayor de 2,5 min. Se mide inmediatamente el revenimiento, determinando el asentamiento del concreto a partir del nivel original de la base superior del molde, midiendo esta diferencia de alturas en el centro desplazado de la superficie superior del espécimen. Si alguna porción del concreto se desliza o cae hacia un lado, se desecha la prueba y se efectúa otra con una nueva porción de la misma muestra.

Si dos pruebas consecutivas hechas de la misma muestra presentan fallas al caer parte del concreto a un lado, probablemente el concreto carece de la necesaria plasticidad y cohesividad; en este caso no es aplicable la prueba de revenimiento.

Para confirmar esta situación, es recomendable obtener una nueva muestra de la misma entrega.

6. PRECISIÓN

El revenimiento debe medirse con una aproximación de 1 cm. En esta prueba se obtienen valores confiables de revenimiento en el intervalo de 2 cm a 20 cm.

7. INFORME DE LA PRUEBA

El informe debe incluir los siguientes datos:

- a) Revenimiento obtenido en cm.
- b) Revenimiento de proyecto.
- c) Tamaño máximo del agregado.
- d) Identificación del concreto.

8. BIBLIOGRAFÍA

ASTM-C-143-78 Slump of Portland cement concrete.
NOM-008-SCFI-1993 "Sistema General de Unidades de Medida"
NMX-C-251-1997-ONNCCE Industria de la construcción - Concreto - Terminología.
NMX-Z-013-SCFI-1977 "Guía para la redacción y presentación de las normas mexicanas"

9. CONCORDANCIA CON NÓRMAS INTERNACIONALES

La presente norma no coincide con ninguna norma internacional por no existir referencia alguna al momento de su elaboración.

10. VIGENCIA

La presente norma mexicana entrará en vigor al día siguiente de su declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación por parte de la SECOFI.



Standard Specification for PORTLAND CEMENT¹

This Standard is issued under the fixed designation C 150; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal.

1. Scope

1.1 This specification covers eight types of portland cement, as follows (see Note 1):

1.1.1 *Type I*—For use when the special properties specified for any other type are not required.

1.1.2 *Type IA*—Air-entraining cement for the same uses as Type I, where air-entrainment is desired.

1.1.3 *Type II*—For general use, more especially when moderate sulfate resistance or moderate heat of hydration is desired.

1.1.4 *Type IIA*—Air-entraining cement for the same uses as Type II, where air-entrainment is desired.

1.1.5 *Type III*—For use when high early strength is desired.

1.1.6 *Type IIIA*—Air-entraining cement for the same use as Type III, where air-entrainment is desired.

1.1.7 *Type IV*—For use when a low heat of hydration is desired.

1.1.8 *Type V*—For use when high sulfate resistance is desired.

NOTE 1—Attention is called to the fact that cements conforming to the requirements for all of these types may not be carried in stock in some areas. In advance of specifying the use of other than Type I cement, it should be determined whether the proposed type of cement is or can be made available.

NOTE 2—The values stated in U.S. customary units are to be regarded as the standard.

2. Applicable Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 33 Specification for Concrete Aggregates²
- C 109 Test for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50-mm Cube Specimens)³
- C 114 Chemical Analysis of Hydraulic Ce-

ment³

- C 115 Test for Fineness of Portland Cement by the Turbidimeter³
- C 151 Test for Autoclave Expansion of Portland Cement³
- C 183 Sampling Hydraulic Cement³
- C 185 Test for Air Content of Hydraulic Cement Mortar³
- C 186 Test for Heat of Hydration of Hydraulic Cement³
- C 191 Test for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle³
- C 204 Test for Fineness of Portland Cement by Air Permeability Apparatus³
- C 219 Definitions of Terms Relating to Hydraulic Cement³
- C 226 Specification for Air-Entraining Additions for Use in the Manufacture of Air-Entraining Portland Cement³
- C 265 Test for Calcium Sulfate in Hydrated Portland Cement Mortar³
- C 266 Test for Time of Setting of Hydraulic Cement by Gillmore Needles³
- C 451 Test for Early Stiffening of Portland Cement (Paste Method)³
- C 452 Test for Potential Expansion of Portland Cement Mortars Exposed to Sulfate³
- C 465 Specification for Processing Additions for Use in the Manufacture of Hydraulic Cements³
- C 563 Test for Optimum SO₃ in Portland Cement³

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C-1 on Cement and is the direct responsibility of Subcommittee C01.10 on Portland Cement. Current edition approved March 31, 1978. Published May 1978. Originally published as C 150 - 40 T. Last previous edition C 150 - 78.

² Annual Book of ASTM Standards, Part 14.

³ Annual Book of ASTM Standards, Part 13.

3. Definitions

3.1 *portland cement*—a hydraulic cement produced by pulverizing clinker consisting essentially of hydraulic calcium silicates, usually containing one or more of the forms of calcium sulfate as an interground addition.

3.2 *air-entraining portland cement*—a hydraulic cement produced by pulverizing clinker consisting essentially of hydraulic calcium silicates, usually containing one or more of the forms of calcium sulfate as an interground addition, and with which there has been interground an air-entraining addition.

4. Ordering Information

4.1 The purchaser should specify the type desired, and indicate which, if any, of the optional requirements apply. When the type is not specified, the requirements of Type I shall apply.

5. Additions

5.1 The cement covered by this specification shall contain no addition except as provided for below.

5.1.1 Water or calcium sulfate, or both, may be added in amounts such that the limits shown in Table 1 for sulfur trioxide and loss-on-ignition shall not be exceeded.

5.1.2 At the option of the manufacturer, processing additions may be used in the manufacture of the cement, provided such materials in the amounts used have been shown to meet the requirements of Specifications C 465.

5.1.3 Air-entraining portland cement shall contain an interground addition conforming to the requirements of Specification C 226.

6. Chemical Requirements

6.1 Portland cement of each of the eight types shown in Section 1 shall conform to the respective standard chemical requirements prescribed in Table 1. In addition, optional chemical requirements are shown in Table 1A.

7. Physical Requirements

7.1 Portland cement of each of the eight types shown in Section 1 shall conform to the respective standard physical requirements prescribed in Table 2. In addition, optional physical requirements are shown in Table 2A.

8. Sampling

8.1 When the purchaser desires that the cement be sampled and tested to verify compliance with this specification, sampling should be performed in accordance with Methods C 183.

8.2 Methods C 183 are not designed for manufacturing quality control and are not required for manufacturer's certification.

9. Test Methods

9.1 Determine the applicable properties enumerated in this specification in accordance with the following methods:

9.1.1 *Air Content of Mortar*—Method C 185.

9.1.2 *Chemical Analysis*—Method C 114.

9.1.3 *Strength*—Method C 109.

9.1.4 *False Set*—Method C 451.

9.1.5 *Fineness by Air Permeability*—Method C 204.

9.1.6 *Fineness by Turbidimeter*—Method C 115.

9.1.7 *Heat of Hydration*—Method C 186.

9.1.8 *Autoclave Expansion*—Method C 151.

9.1.9 *Time of Setting by Gillmore Needles*—Method C 266.

9.1.10 *Time of Setting by Vicat Needles*—Method C 191.

9.1.11 *Sulfate Expansion*—Method C 452.

9.1.12 *Calcium Sulfate in Mortar*—Method C 265.

9.1.13 *Optimum SO₃*—Method C 563.

10. Inspection

10.1 Inspection of the material shall be made as agreed upon by the purchaser and the seller as part of the purchase contract.

11. Testing Time Requirements

11.1 The following periods from time of sampling shall be allowed for completion of testing:

1-day test	6 days
3-day test	8 days
7-day test	12 days
28-day test	33 days

12. Rejection

12.1 The cement may be rejected if it fails to meet any of the requirements of this specification.

12.2 Cement remaining in bulk storage at



the mill, prior to shipment, for more than 6 months, or cement in bags in local storage in the hands of a vendor for more than 3 months, after completion of tests, may be retested before use and may be rejected if it fails to conform to any of the requirements of this specification.

12.3 Packages varying more than 3 % from the weight marked thereon may be rejected; and if the average weight of packages in any shipment, as shown by weighing 50 packages taken at random, is less than that marked on the packages, the entire shipment may be rejected.

13. Manufacturer's Statement

13.1 At the request of the purchaser, the manufacturer shall state in writing the nature, amount, and identity of the air-entraining agent used, and of any processing addition that may have been used, and also, if requested, shall supply test data showing compliance of such air-entraining addition with the provisions of Specification C 226, and of any such processing addition with Specification C 465.

14. Packaging and Marking

14.1 When the cement is delivered in pack-

ages, the words "Portland Cement," the type of cement, the name and brand of the manufacturer, and the weight of the cement contained therein shall be plainly marked on each package. When the cement is an air-entraining type, the words "air-entraining" shall be plainly marked on each package. Similar information shall be provided in the shipping advices accompanying the shipment of packaged or bulk cement. All packages shall be in good condition at the time of inspection.

15. Storage

15.1 The cement shall be stored in such a manner as to permit easy access for proper inspection and identification of each shipment, and in a suitable weather-tight building that will protect the cement from dampness and minimize warehouse set.

16. Manufacturer's Certification

16.1 Upon request of the purchaser in the contract or order, a manufacturer's report shall be furnished at the time of shipment stating the results of tests made on samples of the material taken during production or transfer and certifying that the applicable requirements of this specification have been met.



Standard Test Method for COMPRESSIVE STRENGTH OF HYDRAULIC CEMENT MORTARS (USING 2-in. OR 50-mm CUBE SPECIMENS)¹

This Standard is issued under the fixed designation C 109; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval.

1. Scope

1.1 This method covers determination of the compressive strength of hydraulic cement mortars, using 2-in. or 50 mm cube specimens.

NOTE 1—ASTM Method C 349, Test for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure),² provides an alternative procedure for this determination (not to be used for acceptance tests).

NOTE 2—The values stated in U.S. customary units are to be regarded as the standard.

2. Applicable Documents

2.1 ASTM Standards:

C 184 Test for Fineness of Hydraulic Cement by the No. 100 (150- μ m) and 200 (75- μ m) Sieve,²

C 230 Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement,²

C 305 Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency,²

C 349 Test for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure),²

C 670 Recommended Practice for Preparing Precision Statements for Test Methods for Construction Materials²

E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes,³

3. Apparatus

3.1 *Scales*, for weighing materials for mortar mixes, conforming to the following requirements: On scales in use the permissible variation at a load of 2000 g shall be ± 2.0 g. The permissible variation on new scales shall be one half of this value. The sensibility reciprocal⁴ shall be not greater than twice the permissible variation.

3.2 *Weights*—The permissible variations on weights used in weighing materials for mortar mixes shall be as prescribed in Table 1. The permissible variations on new weights shall be one half of the values in Table 1.

3.3 *Sieves*, square-hole, woven wire-cloth No. 100 (150- μ m), No. 50 (300- μ m), No. 40 (425- μ m), No. 30 (600- μ m) and No. 16 (1.18-mm) sieves conforming to Specification E 11 shall be used.

3.4 *Glass Graduates*, of suitable capacities (preferably large enough to measure the mixing water in a single operation) to deliver the indicated volume at 68 F (20 C). The permissible variation shall be ± 2 ml. These graduates shall be subdivided to at least 5 ml, except that the graduation lines may be omitted for the lowest 10 ml for a 250-ml graduate and for the lowest 25 ml for a 500-ml graduate. The main graduation lines shall be circles and shall be numbered. The least graduations shall extend at least one seventh of the way around, and intermediate graduations shall extend at least one fifth of the way around.

3.5 *Specimen Molds*, for the 2-in or 50-mm cube specimens shall be tight fitting. The

¹This method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-1 on Cement and is the direct responsibility of Subcommittee C01.27 on Strength.

Current edition approved Feb. 25, 1977. Published April 1977. Originally published as C 109 - 34 T. Last previous edition C 109 - 75.

²Annual Book of ASTM Standards, Part 13.

³Annual Book of ASTM Standards, Parts 14 and 41.

⁴Generally defined, the sensibility reciprocal is the change in load required to change the position of rest of the indicating element or elements of a nonautomatic-indicating scale a definite amount at any load. For a more complete definition see "Specifications, Tolerances, and Regulations for Commercial Weighing and Measuring Devices," Handbook H44, National Bureau of Standards, September 1949, pp 92-93.

molds shall have not more than three cube compartments and shall be separable into not more than two parts. The parts of the molds when assembled shall be positively held together. The molds shall be made of hard metal not attacked by the cement mortar. For new molds the Rockwell hardness number of the metal shall be not less than HRB 55. The sides of the molds shall be sufficiently rigid to prevent spreading or warping. The interior faces of the molds shall be plane surfaces with a permissible variation of 0.001 in. (0.025 mm) for new molds and 0.002 in. (0.05 mm) for molds in use. The distances between opposite faces shall be 2 ± 0.005 in. or 50 ± 0.13 mm for new molds, and 2 ± 0.02 in. or 50 ± 0.50 mm for molds in use. The height of the molds, measured separately for each cube compartment, shall be 2 in. or 50 mm with permissible variations of +0.01 in. (0.25 mm) and -0.005 in. (0.13 mm) for new molds, and -0.01 in. and -0.015 in. (0.38 mm) for molds in use. The angle between adjacent interior faces, and between interior faces and top and bottom planes of the mold, shall be 90 ± 0.5 deg measured at points slightly removed from the intersection of the faces.

3.6 *Mixer, Bowl and Paddle*, an electrically driven mechanical mixer of the type equipped with paddle and mixing bowl, as specified in 2.1, 2.2, and 2.3 of Method C 305.

3.7 *Flow Table and Flow Mold*, conforming to the requirements of Specification C 230.

3.8 *Tamper*, a nonabsorptive, nonabrasive, nonbrittle material such as a rubber compound having a Shore A durometer hardness of 80 ± 10 or seasoned oak wood rendered nonabsorptive by immersion for 15 min in paraffin at approximately 392 F (200 C), and shall have a cross section of $\frac{1}{2}$ by 1 in. (13 by 25 mm) and a convenient length of about 5 to 6 in. (120 to 150 mm). The tamping face shall be flat and at right angles to the length of the tamper.

3.9 *Trowel*, having a steel blade 4 to 6 in. (100 to 150 mm) in length, with straight edges.

3.10 *Testing Machine*, either the hydraulic or the screw type, with sufficient opening between the upper bearing surface and the lower bearing surface of the machine to permit the use of verifying apparatus. The load applied to the test specimen shall be indicated with an

accuracy of ± 1.0 percent. The upper bearing shall be a spherically seated, hardened metal block firmly attached at the center of the upper head of the machine. The center of the sphere shall lie at the center of the surface of the block in contact with the specimen. The block shall be closely held in its spherical seat, but shall be free to tilt in any direction. The diagonal or diameter (Note 3) of the bearing surface shall be only slightly greater than the diagonal of the face of the 2-in. or 50-mm cube in order to facilitate accurate centering of the specimen. A hardened metal bearing block shall be used beneath the specimen to minimize wear of the lower platen of the machine. The bearing block surfaces intended for contact with the specimen shall have a Rockwell hardness number not less than HRC 60. These surfaces shall not depart from plane surfaces by more than 0.0005 in. (0.013 mm) when the blocks are new and shall be maintained within a permissible variation of 0.001 in. (0.025 mm).

NOTE 3—A diameter of $3\frac{1}{8}$ in. (79.4 mm), which is large enough for testing 3 by 6-in. (75 by 150-mm) cylinders, is satisfactory, provided that the lower bearing block has a diameter slightly greater than the diagonal of the face of the 2-in. or 50-mm cube but not more than 2.9 in. (74 mm), and is centered with respect to the upper bearing block and held in position by suitable means.

4. Materials

4.1 Graded Standard Sand:

4.1.1 The sand (Note 4) used for making test specimens shall be natural silica sand from Ottawa, Ill., graded as follows:

Sieve	Percent Retained
No. 100 (150 μ m)	98 \pm 2
No. 50 (300 μ m)	75 \pm 5
No. 40 (425 μ m)	30 \pm 5
No. 30 (600 μ m)	2 \pm 2
No. 16 (1.18 mm)	none

NOTE 4: *Segregation of Graded Sand*—The graded standard sand should be handled in such a manner as to prevent segregation, since variations in the grading of the sand cause variations in the consistency of the mortar. In emptying bins or sacks, care should be exercised to prevent the formation of mounds of sand or craters in the sand, down the slopes of which the coarser particles will roll. Bins should be of sufficient size to permit these precautions. Devices for drawing the sand from bins by gravity should not be used.

4.1.2 For checking the grading of the sand, make a sieving test of the sand on each of the five sieves specified in 3.3. Quarter samples of sand for the sieve tests from a sample of about

700 g obtained by the method of quartering the contents of a full sack which have been thoroughly mixed and the pile flattened or spread out to minimize segregation during quartering.

4.1.3 Make the test on each sieve with approximately 100 g of sand. Do not attempt the selection of an exact predetermined weight. Perform the sieving operations in the manner specified for sieving cement in Method C 184 except continue the sieving until not more than 0.5 g passes through in 1 min of continuous sieving. Express the weight of residue on the sieve as a percentage of the weight of the original sample. Mechanical sieving devices may be used, but the sand shall not be rejected if it meets the requirements when tested by the hand method described in Method C 184.

5. Temperature and Humidity

5.1 *Temperature*—The temperature of the air in the vicinity of the mixing slab, the dry materials, molds, base plates, and mixing bowl, shall be maintained between 68 and 81.5 F (20 and 27.5 C). The temperature of the mixing water, moist closet or moist room, and water in the storage tank shall not vary from 73.4 F (23 C) by more than ± 3 F (1.7 C).

5.2 *Humidity*—The relative humidity of the laboratory shall be not less than 50 percent. The moist closet or moist room shall be so constructed as to provide storage facilities for test specimens at a relative humidity of not less than 95 percent.

6. Test Specimens

6.1 Three or more specimens shall be made for each period of test specified.

7. Preparation of Specimen Molds

7.1 Thinly cover the interior faces of the specimen molds with mineral oil or light cup grease. Thinly cover the contact surfaces of the halves of each mold with a heavy mineral oil or light cup grease such as petrolatum. After assembling the molds, remove excess oil or grease from the interior faces and the top and bottom surfaces of each mold. Set the molds on plane, nonabsorptive base plates that have been thinly coated with mineral oil, petrolatum, or light cup grease. Apply a mixture

of 3 parts of paraffin to 5 parts of rosin by weight, heated between 230 and 248 F (110 and 120 C), at the outside contact lines of the molds and base plates so that watertight joints are effected between the molds and the base plates.

NOTE 5: *Watertight Molds*—The mixture of paraffin and rosin specified for sealing the joints between molds and base plates may be found difficult to remove when molds are being cleaned. Use of straight paraffin is permissible if a watertight joint is secured, but due to the low strength of paraffin it should be used only when the mold is not held to the base plate by the paraffin alone. A watertight joint may be secured with paraffin alone by slightly warming the mold and base plate before brushing the joint. Molds so treated should be allowed to return to the specified temperature before use.

8. Procedure

8.1 *Composition of Mortars:*

8.1.1 The proportions of materials for the standard mortar shall be one part of cement to 2.75 parts of graded standard sand by weight. Use a water-cement ratio of 0.485 for all portland cements and 0.460 for all air-entraining portland cements. The amount of mixing water for other than portland and air-entraining portland cements shall be such as to produce a flow of 110 ± 5 as determined in accordance with 8.3 and shall be expressed as weight percent of cement.

8.1.2 The quantities of materials to be mixed at one time in the batch of mortar for making six and nine test specimens shall be as follows:

	Number of Specimens	
	6	9
Cement, g	500	740
Sand, g	1375	2035
Water, ml		
Portland (0.485)	242	359
Air-entraining portland (0.460)	230	340
Other (to flow of 110 ± 5)

8.2 *Preparation of Mortar:*

8.2.1 Mechanically mix in accordance with the procedure given in Section 6 of Method C 305.

8.3 *Determination of Flow:*

8.3.1 Carefully wipe the flow-table top clean and dry, and place the flow mold at the center. Place a layer of mortar about 1 in. (25 mm) in thickness in the mold and tamp 20 times with the tamper. The tamping pressure shall be just sufficient to ensure uniform filling

of the mold. Then fill the mold with mortar and tamp as specified for the first layer. Cut off the mortar to a plane surface, flush with the top of the mold, by drawing the straight edge of a trowel (held nearly perpendicular to the mold) with a sawing motion across the top of the mold. Wipe the table top clean and dry, being especially careful to remove any water from around the edge of the flow mold. Lift the mold away from the mortar 1 min after completing the mixing operation. Immediately, drop the table through a height of $\frac{1}{2}$ in. (12.7 mm) 25 times in 15 s. The flow is the resulting increase in average base diameter of the mortar mass, measured on at least four diameters at approximately equispaced intervals, expressed as a percentage of the original base diameter. Make trial mortars with varying percentages of water until the specified flow is obtained. Make each trial with fresh mortar.

8.4 Molding Test Specimens:

8.4.1 For portland and air-entraining portland cements, allow the mortar to stand in the mixing bowl 90 s without covering. During the last 15 s of this interval, quickly scrape down into the batch any mortar that may have collected on the side of the bowl. Then remix for 15 s at medium speed. Upon completion of mixing, the mixing paddle shall be shaken to remove excess mortar into the mixing bowl.

8.4.2 Immediately following completion of the flow test, in the case of other than portland and air-entraining portland cements, or when a flow is desired on portland and air-entraining portland cements (Note 6), return the mortar from the flow table to the mixing bowl. Quickly scrape down into the batch the mortar that may have collected on the side of the bowl and then remix the entire batch 15 s at medium speed. Upon completion of mixing, the mixing paddle shall be shaken to remove excess mortar into the mixing bowl.

8.4.3 Start molding the specimens within a total elapsed time of not more than 2 min and 30 s after completion of the original mixing of the mortar batch. Place a layer of mortar about 1 in. (25 mm) (approximately one half of the depth of the mold) in all of the cube compartments. Tamp the mortar in each cube compartment (3.8) 32 times in about 10 s in 4 rounds, each round to be at right angles to the

other and consisting of eight adjoining strokes over the surface of the specimen, as illustrated in Fig. 1. The tamping pressure shall be just sufficient to ensure uniform filling of the molds. The 4 rounds of tamping (32 strokes) of the mortar shall be completed in one cube before going to the next. When the tamping of the first layer in all of the cube compartments is completed, fill the compartments with the remaining mortar and then tamp as specified for the first layer. During tamping of the second layer bring in the mortar forced out onto the tops of the molds after each round of tamping by means of the gloved fingers and the tamper upon completion of each round and before starting the next round of tamping. On completion of the tamping, the tops of all cubes should extend slightly above the tops of the molds. Bring in the mortar that has been forced out onto the tops of the molds with a trowel and smooth off the cubes by drawing the flat side of the trowel (with the leading edge slightly raised) once across the top of each cube at right angles to the length of the mold. Then, for the purpose of leveling the mortar and making the mortar that protrudes above the top of the mold of more uniform thickness, draw the flat side of the trowel (with the leading edge slightly raised) lightly once along the length of the mold. Cut off the mortar to a plane surface flush with the top of the mold by drawing the straight edge of the trowel (held nearly perpendicular to the mold) with a sawing motion over the length of the mold.

NOTE 6—When a duplicate batch is to be made immediately for additional specimens, the flow test may be omitted and the mortar allowed to stand in the mixing bowl for 90 s and then remixed for 15 s at medium speed before starting the molding of the specimens.

8.5 *Storage of Test Specimens*—Immediately upon completion of molding, place the test specimens in the moist closet or moist room. Keep all test specimens, immediately after molding, in the molds on the base plates in the moist closet or moist room from 20 to 24 h with their upper surfaces exposed to the moist air but protected from dripping water. If the specimens are removed from the molds before 24 h, keep them on the shelves of the moist closet or moist room until they are 24-h old, and then immerse the specimens, except those for the 24-h test, in saturated lime water

in storage tanks constructed of noncorroding materials. Keep the storage water clean by changing as required.

8.6 Determination of Compressive Strength:

8.6.1 Test the specimens immediately after their removal from the moist closet in the case of 24-h specimens, and from storage water in the case of all other specimens. All test specimens for a given test age shall be broken within the permissible tolerance prescribed as follows:

Test Age	Permissible Tolerance
24 h	$\pm 1/2$ h
3 days	± 1 h
7 days	± 3 h
28 days	± 12 h

If more than one specimen at a time is removed from the moist closet for the 24-h tests, keep these specimens covered with a damp cloth until time of testing. If more than one specimen at a time is removed from the storage water for testing, keep these specimens in water at a temperature of 73.4 ± 3 F (23 ± 1.7 C) and of sufficient depth to completely immerse each specimen until time of testing.

8.6.2 Wipe each specimen to a surface-dry condition, and remove any loose sand grains or incrustations from the faces that will be in contact with the bearing blocks of the testing machine. Check these faces by applying a straightedge (Note 7). If there is appreciable curvature, grind the face or faces to plane surfaces or discard the specimen. A periodic check of the cross-sectional area of the specimens should be made.

NOTE 7: *Specimen Faces*—Results much lower than the true strength will be obtained by loading faces of the cube specimen that are not truly plane surfaces. Therefore, it is essential that specimen molds be kept scrupulously clean, as otherwise, large irregularities in the surfaces will occur. Instruments for cleaning molds should always be softer than the metal in the molds to prevent wear. In case grinding specimen faces is necessary, it can be accomplished best by rubbing the specimen on a sheet of fine emery paper or cloth glued to a plane surface, using only a moderate pressure. Such grinding is tedious for more than a few thousandths of an inch (hundredths of a millimetre); where more than this is found necessary, it is recommended that the specimen be discarded.

8.6.3 Apply the load to specimen faces that were in contact with the true plane surfaces of the mold. Carefully place the specimen in the testing machine below the center of the upper bearing block. Prior to the testing of each

cube, it shall be ascertained that the spherically seated block is free to tilt. Use no cushioning or bedding materials. An initial loading up to one half of the expected maximum loads for specimens having expected maximum loads of more than 3000 lbf (13.3 kN) may be applied at any convenient rate. Apply no initial loading to specimens having expected maximum loads of less than 3000 lbf (13.3 kN). Adjust the rate of load application so that the remainder of the load (or the entire load in the case of expected maximum loads of less than 3000 lbf (13.3 kN)) is applied, without interruption, to failure at such a rate that the maximum load will be reached in not less than 20 nor more than 80 s from start of loading. Make no adjustment in the controls of the testing machine while a specimen is yielding before failure.

NOTE 8—It is advisable to apply only a very light coating of a good quality, light mineral oil to the spherical seat of the upper platen.

9. Calculation

9.1 Record the total maximum load indicated by the testing machine, and calculate the compressive strength in pounds per square inch (or pascals). If the cross-sectional area of a specimen varies more than 1.5 percent from the nominal, use the actual area for the calculation of the compressive strength. The compressive strength of all acceptable test specimens (see Section 10) made from the same sample and tested at the same period shall be averaged and reported to the nearest 10 psi (70 kPa).

10. Faulty Specimens and Retests

10.1 In determining the compressive strength, do not consider specimens that are manifestly faulty, or that give strengths differing by more than 10 percent from the average value of all test specimens made from the same sample and tested at the same period (Note 9). After discarding specimens or strength values, if less than two strength values are left for determining the compressive strength at any given period, make a retest.

NOTE 9—Reliable strength results depend upon careful observance of all of the specified requirements and procedures. Erratic results at a given test period indicate that some of the requirements and procedures have not been carefully observed; for

example, those covering the testing of the specimens prescribed in 8.6.2 and 8.6.3. Improper centering of specimens resulting in oblique fractures or lateral movement of one of the heads of the testing machine during loading will often cause lower strength results.

1. Precision

11.1 The following precision statements are applicable when a test result is the average of compressive strength tests of three cubes molded from a single batch of mortar and tested at the same age. They are applicable to mortars made with Type I, II, or III cement tested at 3 or 7 days. The appropriate limits are likely somewhat larger for 1-day tests and slightly smaller for tests at ages greater than 7 days.

11.1.1 The multilaboratory coefficient of variation has been found to be 7.3 % (Note 10). Therefore, results of properly conducted tests of single batches by two different laboratories should not differ by more than 20.6 % of their average (Note 10).

11.1.2 The single-laboratory coefficient of variation has been found to be 3.8 % (Note 10). Therefore, results of two properly conducted tests of single batches of mortar made with the same materials either on the same day or within the same week should not differ from each other by more than 10.7 % of their average (Note 10).

NOTE 10—These numbers represent, respectively, the (1S) and (D2S) limits as described in Recommended Practice C 670.

Centro de Información-Biblioteca



30002005795520