

2014

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ARAGON”

“FABRICACION Y DISEÑO DE MEZCLAS  
DE CONCRETO NORMAL”

T E S I S

Que para obtener el Título de:

I N G E N I E R O C I V I L

P r e s e n t a

**FELIPE DE JESUS GARCIA RODRIGUEZ**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

México, D.F. Septiembre 1994



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

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

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

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

**A mí Madre:**

Mamá, gracias por darme el ser, y permitir ver, por primera vez la luz del mundo. Por todo el apoyo recibido durante y después de mi época de estudiante, por tu gran esfuerzo y sacrificio por darme una carrera -- profesional, por tus valiosos consejos, por tus cuidados, por la confianza que depositastes en mí y por tu gran valor y valentía de ser -- Madre y Padre a la vez.     ;; Te felicito Mamá !!

**A mí Padre Dios:**

Gracias Dios mío, por permitir que formara parte de Tu creación, de este mundo tan maravilloso que fué creado por Tí y por todos los favores recibidos.

**A mis hermanos:**

José Luis, Ma. Guadalupe, Miguel Gerardo, Enrique, Luis Jaime y Ana Rosa.

Gracias por su valiosa cooperación moral y económica. Los invito a que luchen diariamente y mi mayor deseo es que logren triunfar en esta --- Vida.

**A mí tío Fray Javier:**

Gracias tío por tu gran ayuda y apoyo que me brindastes durante mis estudios, por tus valiosos consejos que me impulsarán a lograr una carrera profesional.

**A mis sobrinos:**

César Luis, Adriana, Martha, Sandra, Angel y hermanito.

Quiero decirles que los adoro mucho y al mismo tiempo les recuerdo que deben estudiar bastante para que triunfen en la vida y no defrauden a sus Padres.

**A mis profesores:**

Gracias por todos los conocimientos transmitidos a través de todos estos años( 17 años ), desde la primaria hasta los estudios profesionales. Un reconocimiento a todos ellos.

**Al Padre Juan y Miguel:**

Gracias por su valiosa ayuda y apoyo.

**Al señor Guadalupe Díaz "Güero" (qepd):**

Gracias por su valiosa ayuda y cooperación.

**A mis compañeros(as) y amigos(as):**

Un reconocimiento a todos ellos por la valiosa cooperación que hubo entre nosotros.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCION

FELIPE DE JESUS GARCIA RODRIGUEZ  
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 13 de mayo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. JOSE PAULO MEJORADA MOTA pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " FABRICACION Y DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO NORMAL ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, Mex., 19 de mayo de 1994  
EL DIRECTOR

M. en C. CLAUDIO C. MARRIFELO CASTRO



- c c p Lic. Alberto Ibarra Rosas, Jefe de la Unidad Académica.
- c c p Ing. José Paulo Mejorada Mota, Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil.
- c c p Asesor de Tesis.

CCMC'AIR'11a.

# ÍNDICE

	Pág.
<b>CAPITULO I</b>	
Introducción .....	1
<b>CAPITULO 2</b>	
Fabricación del concreto .....	6
Manejo de los materiales: .....	6
- Agregados .....	6
- Cemento .....	13
- Agua .....	14
- Aditivos .....	14
- Puzolanas .....	15
Controles y sistemas de dosificación .....	15
Plantas manuales .....	16
Equipo auxiliar de la planta: .....	19
- Registradores .....	19
- Medidor de humedad .....	22
- Medidor de la consistencia .....	23
Dosificación de la mezcla .....	23
Precisión de la medición .....	25
Equipo de calibración y verificación .....	27
Dosificación .....	30
Camiones para mezclas secas .....	32
Mezcladoras .....	34
Tipos de mezcladoras .....	34
Operación y control .....	37
Concreto premezclado .....	40
Historia .....	40
Equipo .....	43
Mezclado volumétrico continuo .....	44
Operación y control .....	45
Tiempo y velocidad de mezclado .....	48
Control del agua .....	49
dolotas de carga .....	51

Mezclado prolongado .....	53
Mezclado retardado .....	56
Manejo de los desperdicios .....	57
Responsabilidades .....	58
Responsabilidades del productor .....	59
Responsabilidades del contratista .....	60
Responsabilidades conjuntas .....	61

### CAPITULO 3

Control de calidad: .....	62
- Durabilidad .....	63
- Trabajabilidad .....	64
- Tamaño máximo del agregado .....	66
- Granulometría y tipo de agregado .....	66
- Relación agregado/cemento .....	68
- Técnicas estadísticas .....	70
- Variaciones de los ensayos .....	70
- Factores para calcular la desviación estándar en los ensayos .....	71
- Método para calcular la desviación estándar .....	71
- Ejemplo .....	76
Consideraciones básicas: .....	78
- Costo .....	78
- Especificaciones .....	79
Propiedades de los materiales: .....	89
- Peso específico o densidad .....	89
- Peso volumétrico .....	89
- Módulo de finura .....	89
- Absorción .....	89
- Humedad .....	90
- Peso unitario .....	92
Selección de las características de la mezcla: .....	94
- Tamaño máximo del agregado .....	95



- Relación agua-cemento .....	97
- Revenimiento .....	98
- Contenido de agua .....	99
- Contenido de aire .....	100
- Contenido de cemento .....	100
Proporciones de la mezcla y pesos por lote .....	110
Método de cálculo por volumen absoluto .....	110
Combinación de agregados para obtener una granulometría tipo .....	118
Ejemplo sencillo de diseño tradicional de mezclas .....	123
Diseño de mezclas de alta resistencia .....	127
Concreto de resistencia muy elevada .....	133
Diseño para resistencia a la flexión .....	136
Diseño de mezclas con aire incluido .....	139
Método estadounidense para el diseño de mezclas (ACI): .....	141
- Ejemplo .....	143
Proporcionamiento de mezclas por medio de las curvas de ABRAHMS: ..	157
- Ejemplo .....	159
- Dosificaciones en peso y en volumen .....	166
Tabla comparativa de mezclas: .....	168
Requisitos del concreto fluidificado .....	169
Pequeñas obras de concreto .....	169
Concreto sin revenimiento .....	176
Concreto con agregado de granulometría no uniforme .....	177
<b>CAPITULO 4</b>	
Conclusiones .....	179
Apéndice .....	181
Bibliografía .....	196

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El concreto se compone principalmente de cemento, agregado y agua. También puede contener cierta cantidad de aire atrapado y de aire deliberadamente incluido, obtenido mediante el empleo de un aditivo o de cemento inclusor de aire. Los aditivos se emplean también con frecuencia para otros fines, como los de acelerar o retardar el fraguado, mejorar la trabajabilidad, reducir la cantidad de agua requerida en la mezcla, incrementar la resistencia o alterar otras propiedades del concreto.

La dosificación del concreto implica el equilibrio entre una economía razonable y los requisitos especificados de colado, resistencia, durabilidad, densidad y apariencia.

Las características requeridas se rigen por el empleo que se va a dar al concreto y por las condiciones que se espera encontrar en el momento del colado.

El empleo de la relación agua/cemento como herramienta para estimar la resistencia fue reconocido alrededor del año 1918. Las notables mejoras en la durabilidad, resultantes de la inclusión de aire, fueron reconocidas a principios de los años cuarenta.

Los requerimientos básicos para el concreto establecidos para cada tipo de estructura y sus respectivas condiciones de exposición a la intemperie, son la maniobrabilidad del concreto fresco, la resistencia de acuerdo con la carga de proyecto de la estructura de que se trate y la durabilidad necesaria para permitir que la estructura resista un largo período de tiempo. Además de todo esto, es necesario lograr una máxima economía.

El diseño de mezclas puede definirse como el proceso para seleccionar los componentes adecuados del concreto y determinar sus cantidades relativas, con el fin de producir, con el mayor ahorro posible, concreto con un mínimo de ciertas características, principalmente consistencia, resistencia y durabilidad.

Los requerimientos para el concreto están establecidos en las especificaciones, ya sea mencionando los valores reales de las propiedades ---

seleccionadas( por ejemplo la resistencia específica ), haciendo referencia a los estándares de ciertas industrias, o (más comúnmente), combinando ambos métodos.

Las proporciones calculadas por cualquier método deben considerarse -- siempre objeto de una revisión basada en la experimentación con las -- mezclas de prueba. De acuerdo con las circunstancias, las mezclas de -- prueba pueden prepararse en un laboratorio o, de preferencia, como --- muestras de campo de tamaño natural. Este último procedimiento, cuando es factible, evita las posibles fallas derivadas de suponer que los -- datos de pequeñas mezclas hechas dentro del laboratorio predican el -- comportamiento en condiciones de campo. Cuando se emplean agregados de tamaño máximo, mayores de 5 cm, las mezclas de prueba de laboratorio - deben verificarse y ajustarse en el campo empleando mezcladoras del ta -- maño y tipo de las que se utilizarán en la construcción.

En el concreto elaborado apropiadamente, cada partícula de agregado, - ya sea grande o pequeña, está completamente rodeada de pasta, y todos- los espacios entre las partículas están totalmente rellenos de éstas. Los agregados se consideran materiales inertes mientras que la pasta - es el medio cementado que envuelve a las partículas de agregado en una masa sólida.

En algunos casos se agrega un aditivo con el objeto de modificar o me- jorar las características del concreto. Cuando la fuente de los compo- nentes, el tipo de cemento y la cantidad de aditivo permanezcan igua- les, la cantidad de cemento, la granulometría de los agregados y la -- consistencia del concreto pueden modificarse considerablemente sin que se afecte la resistencia, siempre y cuando la calidad de la pasta de - cemento, determinada por la relación agua-cemento, sea constante. Cuando varían las fuentes de los ingredientes, puede variar en forma - importante la resistencia del concreto, aún cuando permanezca constan- te la relación agua-cemento.

El presente trabajo se ha dividido en cuatro capítulos.

El capítulo dos se refiere a la fabricación del concreto desde un punto de vista general. Incluye el manejo de los materiales (agregados, cemento, agua, aditivos y puzolanas), controles y sistemas de dosificación (plantas manuales, registradores, medidores de la humedad y de la consistencia) y dosificación de la mezcla (precisión de la medición, equipo de calibración y verificación así como la dosificación).

Asimismo menciona los camiones para mezclas y tipo de mezcladoras, incluyendo sus características tales como: control del agua, operación y control así como el tiempo y velocidad de mezclado.

Por otro lado también hace referencia al mezclado prolongado, mezclado retardado y manejo de los materiales de desperdicio.

Por último abarca las responsabilidades del productor del concreto premezclado y del contratista.

El capítulo tres está enfocado básicamente al diseño de mezclas de concreto normal y abarca los siguientes subcapítulos:

Control de calidad, consideraciones básicas, propiedades de los materiales, selección de las características de la mezcla, proporciones de la mezcla y pesos por lote, método de cálculo por volumen absoluto, combinación de agregados para obtener una granulometría tipo, ejemplo sencillo de diseño tradicional de mezclas, diseño de mezclas de alta resistencia, concreto de resistencia muy elevada, diseño para resistencia a la flexión, diseño de mezclas con aire incluido, método estadounidense para el diseño de mezcla (Instituto Americano del Concreto), proporcionamiento de mezclas por medio de las curvas de abrahms, requisitos del concreto fluidificado, concreto sin ravenimiento y concreto con agregado de granulometría no uniforme.

Es importante señalar que el presente capítulo está enfocado principalmente al diseño de mezclas de concreto normal por medio de los dos métodos más usuales e importantes y son: El método estadounidense ACI -- (Instituto Americano del Concreto) y curvas de Abrahms.

Es verdad que se mencionan otros métodos de diseño de mezclas, además de los indicados anteriormente, su enfoque es puramente informativo y de conocimiento para el lector.

En el capítulo cuatro se hace un resumen, de las conclusiones de todos y cada uno de los capítulos que conforman el presente trabajo, el cual tiene como finalidad ser lo más útil posible para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil.

Los objetivos que se pretenden obtener con el presente trabajo son los siguientes:

- 1.- Conocer las propiedades de los materiales (cemento, agua, agregado grueso y fino y aditivos), almacenamiento, utilización y manejo de los mismos.
- 2.- Así como los diferentes sistemas de dosificación, equipo auxiliar de la planta, equipo de calibración y verificación, tipos de mezcladoras y equipo para transportar el concreto.
- 3.- Además de los diferentes tipos de mezclado, manejo de los desperdicios, responsabilidades del productor, del contratista y responsabilidades conjuntas.
- 4.- Para el diseño de mezclas debemos considerar el control de calidad de los materiales, propiedades del concreto y técnicas estadísticas para evaluar el control.

- 5.- También debemos tener en cuenta el costo, especificaciones y propiedades de los materiales para el diseño de mezclas y seleccionar -- las características de la misma.
  
- 6.- Una vez conocido los diferentes tipos de diseño de mezclas, aplicar el más conveniente de acuerdo a las necesidades de la obra y la disponibilidad de los materiales.

# CAPÍTULO 2

## FABRICACIÓN DEL CONCRETO



## FABRICACION DEL CONCRETO.

El concreto es un material alterable que rápidamente cambia sus propiedades. Por esta razón debe utilizarse en un período de unas cuantas -- horas después de haberse revuelto los materiales en la planta dosificadora o mezcladora. El equipo utilizado para dosificar o mezclar el concreto difiere en tamaño y complejidad según la escala con que fluctúa el suministro, pudiendo emplearse desde una carretilla sencilla que -- alimenta una mezcladora portátil pequeña, hasta plantas automáticas -- complicadas permanentes con capacidad para producir cientos de metros cúbicos de concreto por hora. Con la creciente utilización de concreto premezclado, prácticamente han desaparecido de la escena de la cons--- trucción los equipos portátiles pequeños. En casi todos los pueblos y ciudades existe por lo menos una planta de concreto premezclado, algunas de las cuales no ofrecen, sin embargo, virtualmente garantías en el aspecto de control.

El control no es función de la dimensión. Es posible controlar con precisión la calidad del concreto a escala de carretilla y mezcladora con capacidad para tres sacos, si se opera cuidadosamente y se practican -- inspecciones con personal calificado. Por otra parte, el equipo automático más moderno no se aprovecha decididamente si este se pone en manos de operadores despreocupados e inspectores descuidados.

### Manejo de los materiales.

#### Agregados.

Al revolverlos con el concreto, los agregados deben tener una granulometría y un contenido de humedad razonablemente uniforme, libres de -- materiales contaminantes y deben ajustarse a los requerimientos de la Norma No. 26 - 2 del U.B.C. Un agregado que no se ajuste a dicha norma puede utilizarse en caso de que los ensayos y la práctica hayan demostrado que puede reducirse el concreto satisfactorio y capaz de ser --- aprobado por el Building Official.

Los requerimientos específicos de la Norma No. 26 - 2 incluyen la clasificación, propiedades físicas y limitaciones de sustancias perjudiciales que aquí se incluyen en las tablas 2.1 y 2.2. El interesado -- debe apearse a la norma aplicable en lo que se refiere a los requerimientos definitivos.

Se estipula que el agregado fino (material que nominalmente pasa en su totalidad por la malla No. 4) sea arena natural, arena elaborada o una combinación de ambas. La arena elaborada es el producto que se obtiene al triturar o moler rocas y piedras y normalmente es, hasta cierto punto, un material angular y áspero.

El agregado grueso debe ser piedra triturada, grava, escorias de altos hornos enfriadas con aire o una combinación de éstos materiales. La -- mayor parte del agregado grueso proveniente de fuentes naturales de -- grava contiene un material producto de la fractura de rocas de gran tamaño y guijarros que se encuentran en depósito.

Son de especial importancia las precauciones que se deben tomar en -- aquellas áreas geográficas en las cuales se encuentran agregados reactivos.

A menos que el Building Official apruebe otra cosa, el tamaño máximo -- del agregado grueso se determinará con base en los espacios disponibles existentes en los moldes, según se indica en la figura 2.1.

Los tamaños máximos son los siguientes;  $1/5$  de la dimensión más angosta entre las paredes de los moldes;  $1/3$  del peralte de losas ó  $3/4$  del espacio libre mínimo entre las barras de refuerzo, atados de barras, -- torones presforzados o ductos pretensados. Los ensayos han demostrado que el espacio entre el refuerzo y la cara de los moldes no es significativo si el tamaño máximo del agregado grueso se ajusta a estas limitaciones.

En algunos casos el productor puede instalar un tamizado fino en la -- planta dosificadora, el cual reducirá el trabajo para ajustarse exactamente a los requerimientos de granulometría al suministrar el agregado

La razón del tamizado es remover el material que se encuentra por debajo del tamaño límite. Los agregados gruesos, además de lavarse y triturarse, se pasan por tamices de diversos tamaños con objeto de que las mezclas de concreto puedan dosificarse aproximadamente. Sin embargo, durante el tiempo que transcurre para separar tamaños y llevarlo a la planta dosificadora, el agregado puede llegar a contener una gran cantidad de tamaños que no se ajusten al límite establecido, a causa de las numerosas operaciones de manejo, o puede segregarse considerablemente. El tamizado final de los agregados gruesos en la planta dosificadora elimina ampliamente las acumulaciones de partículas de tamaño inadecuado y reduce la segregación. Véase figura 2.2.

Cuando los agregados se entregan en la planta por camión, surgen dos fuentes potenciales de problemas. En algunas plantas el material se vierte en el área de depósito para almacenamiento mediante un cucharón. En esta operación los camiones pueden transportar lodo y barro dentro del área de depósito o el operador de la grúa descuidadamente recoge tierra que revuelve con el agregado, contaminando la pila de material.

En caso de que los agregados se coloquen en una pila de almacenamiento en contacto con la tierra, una cantidad considerable del material que se encuentra en la parte inferior de la pila tendrá grandes probabilidades de no ajustarse a los requerimientos usuales porque se ha mezclado con materias extrañas no deseables. Si se están tomando los agregados de la parte inferior de la pila, debe tenerse especial cuidado para evitar la inclusión de material inconveniente. Véase figuras 2.3 y 2.4.

TABLA No. 26-2-B DE LAS NORMAS U.B.C.- LÍMITES PARA SUBSTANCIAS DELETEREAS CONTENIDAS EN EL AGREGADO PARA CONCRETO

9

Material	Porcentaje Máximo por Peso de la Muestra Total	
	Agregado fino	Agregado Grueso
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables.	3.0	5.0
Partículas blandas		5.0
Horsteno que se desintegrará inmediatamente (ensaye de solidez, cinco ciclos).		1.0
Material más fino que el que pasa por la malla No. 220:		1.0 <sup>1</sup>
Concreto sujeto a abrasión	3.0 <sup>2</sup>	
Cualquier otro tipo de concreto	5.0 <sup>2</sup>	
Hulla y lignito:		
En donde es importante apariencia superficial del concreto	0.5	0.5
Cualquier otro tipo de concreto	1.0	1.0

Tabla 2.1

1

En el caso de agregados triturados, si el material más fino que el que pasa por la malla No. 200 consiste en polvo del material fracturado, esencialmente libre de arcilla o esquisto, puede aumentarse este porcentaje a 1.5

2

En el caso de arena fabricada, si el material más fino que el que pasa por la malla No. 200 consiste en polvo del material fracturado esencialmente libre de arcilla o esquisto, pueden incrementarse estos límites a 5 y 7 por ciento, respectivamente.

AGREGADO GRUESO PARA CONCRETO

	Aire Frío en Escorias de Altos Hornos	Grava Triturada, Grava, o Roca Tritu- rada
Resistencia, pérdida de 5 ciclos max. porcenta- je del peso;		
Sulfato de Sodio	8	12
Sulfato de Magnesio	12	18
Peso Unitario Compacto, mínimo, Kg/m <sup>3</sup> .	70	
Abrasión, pérdida max., porcentaje del peso		50

Tabla 2.2.

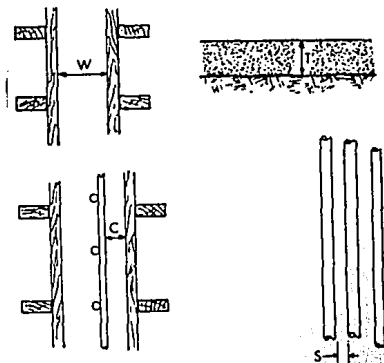


Figura 2.1 El tamaño máximo del agregado depende de la dimensión del elemento estructural que se construirá y del espaciamiento del acero de refuerzo.



Figura 2.2 Material fino indeseable en el agregado grueso resultante de la segregación, abrasión y contaminación durante su manejo.



Figura 2.3 Las pilas de almacenamiento formadas, aproximadamente, presentan un aspecto agradable.



Figura 2.4 Desperdicio y contaminación son el resultado del manejo descuidado del cucharón.

Algunas veces el conductor de un camión o de una grúa colocará indebidamente el material en una pila o en un depósito equivocado. El único recurso es remover el material perjudicial, lo que puede requerir el vaciado del depósito. Pueden evitarse esas medidas drásticas si la planta dosificadora cuenta con un tamiz de acabado que elimine el material indeseable.

Cuando se colocan agregados de diferentes tipos o tamaños en compartimentos colindantes del mismo depósito de almacenamiento, la separación entre ambos debe construirse a una altura suficiente para evitar que el material caiga de un compartimento a otro. Las separaciones deben ser firmes y no deben tener agujeros que permitan que los materiales finos pasen a través de ellos de un depósito a otro.

Por lo general, cuando se dosifican los agregados, éstos tienen diferentes contenidos de humedad, lo que depende del tiempo que estuvieron almacenados, de las condiciones del tiempo y de otros factores. A menos que se lleve a cabo una corrección considerando estas variaciones, el contenido de agua del concreto variará, con las consecuentes fluctuaciones en el revenimiento y la resistencia los cambios de humedad en el agregado a menudo son resultado del procedimiento seguido para alimentar la planta alternativamente con porciones húmedas y secas de la pila, o de una pila relativamente seca y carros o lanchones que tengan arena húmeda. Deben darse instrucciones precisas a los operado-

res de los montacargas y grúas en el sentido de que eviten cargar material para la planta proveniente de más de una fuente.

No deben utilizarse los agregados inmediatamente después de que lleguen de la planta de procesamiento, sino que deben permitirse que se drenen por lo menos durante 24 horas.

En el caso de los embarcados por ferrocarril se supone que han tenido el tiempo suficiente para el drenado. Si es necesario humedecer el agregado grueso, la operación debe concluir varias horas antes de que vaya a ser utilizado el material. La humectación puede realizarse instalado rociadores en las pilas de almacenamiento. El intentar humedecer los agregados en depósitos colocados en la planta puede originar problemas para controlar el agua excedente y el revenimiento del concreto.

Siempre que sea posible debe evitarse almacenar los agregados en pilas colocadas directamente sobre la tierra en la planta dosificadora.

### Cemento.

Varias plantas dosificadoras tienen capacidad para almacenar más de un tipo de cemento, en cuyo caso debe almacenarse cada tipo distinto en un compartimento o silo separado de los demás. Cada depósito del cual se tome el cemento que se va a dosificar debe tener instalaciones separadas para llevarlo hasta la dosificadora, incluyendo una compuerta y una transportadora.

Los embarques de cemento deben ser verificados antes de descargarlos, especialmente si la planta está utilizando más de un tipo o marca, -- teniendo cuidado de cerciorarse de que el cemento se coloque en el silo o depósito. El equipo extractor de polvo debe operar apropiadamente. Excepto en casos especiales, cuando se requieren pequeñas cantidades de un cemento especial, rara vez utiliza cemento en sacos.

Las diferencias en el tipo y la marca del cemento pueden apreciarse -- por lo general comparando el color de muestras pequeñas de los cementos.



### Agua.

El almacenamiento y el manejo del agua prácticamente nunca presenta -- problemas, ya que, por lo general, la planta cuenta con agua entubada -- proveniente del sistema de distribución municipal. En las plantas don -- de el agua se almacena en tanques, deben observarse las precauciones -- normales para evitar la contaminación. Las fluctuaciones de presión de -- la línea pueden afectar la precisión de ciertos dispositivos de medi -- ción, haciéndose necesaria la instalación de un regulador de presión.

Cuando se utiliza hielo para enfriar el agua en tiempo de calor, deben tomarse las medidas necesarias para incluir el hielo como parte del -- agua de mezclado. El hielo debe agregarse triturado o en fusión. Un me -- didor de agua instalado a un tanque volumétrico para estimar pesos, -- usualmente permite medir e introducir el hielo con el agua. Si el agua se mide a través de un medidor volumétrico o en un tanque cerrado, de -- ben buscarse otros medios para medir el hielo, tales como un tanque -- auxiliar o una báscula.

### Aditivos.

Cuando se reciben los aditivos del fabricante pueden encontrarse en -- cualquiera de las siguientes tres condiciones: una solución lista para utilizarse, un líquido concentrado que debe diluirse en agua antes de -- emplearlo y un polvo seco o granulado que debe disolverse en agua an -- tes de utilizarlo. El almacenar durante largos períodos de tiempo al -- gunos aditivos líquidos puede producir la segregación o la estratifica -- ción del material en el barril o tanque, pero el material no se daña -- por esta separación y puede arreglarse agitándolo. Pequeñas mezclado -- ras eléctricas o neumáticas que pueden insertarse en el tambor o tan -- que permiten obtener un mezclado satisfactorio.

Las soluciones de aditivos que se han congelado se estratificarán en -- la misma forma pero pueden arreglarse de manera similar.

Los aditivos secos deben protegerse contra la contaminación y la hume -- dad durante su almacenamiento. El cloruro de calcio, que fácilmente --

absorbe la humedad del aire aparentemente seco, se hace chicloso y se convierte en terrones y no debe utilizarse en esas condiciones.

Deben observarse fielmente las instrucciones del fabricante con respecto al almacenamiento, mezclado y utilización del cualquier aditivo.

### Puzolanas.

Los materiales considerados en esta clasificación deben manejarse en la misma forma que el cemento. Debido a su extrema finura, las puzolanas requieren de dispositivos que intercepten positivamente el flujo de puzolana después del cierre.

En varias plantas se utiliza la puzolana en sacos debido a que el requerimiento poco frecuente de este material hace incosteable su manejo en volumen. Las revolturas de concreto en este caso deben ser de tales proporciones que la cantidad requerida de puzolana en la revoltura sea un múltiplo de sacos completos. No deben utilizarse sacos parcialmente llenos a menos que se pese la puzolana.

### Controles y sistemas de dosificación.

Los sistemas de control varían desde dosificadoras individuales controladas manualmente que dependen completamente de la observación del operador, de una báscula o de un indicador volumétrico, hasta sistemas totalmente automáticos que son accionados por una señal de arranque y paran automáticamente cuando se ha alcanzado el peso determinado de cada material. Parte de este equipo se ilustra en las figuras 2.5 y 2.6.

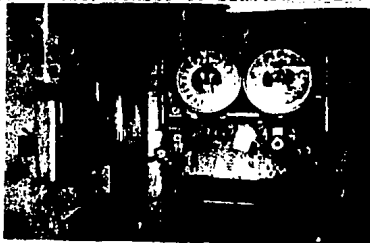


Figura 2.5 Una parte de los controles de una planta dosificadora automática.

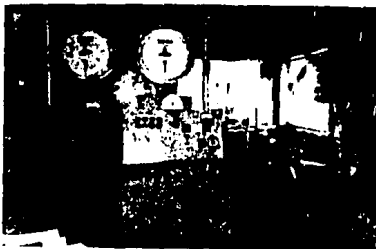


Figura 2.6 Cuarto de control de una planta; dosificadora automática.

### Plantas manuales.

Estas, por lo general, están provistas de compuertas que se abren y se cierran por medio de operaciones manuales, aun cuando algunas de estas plantas operan con energía eléctrica, hidráulica o neumática.

La Concrete Plant Manufacturers Bureau, describe las plantas más complicadas como sigue:

El sistema de dosificación parcialmente automático deberá consistir en una combinación de controles de dosificación, de los cuales por lo menos debe controlar el cemento o los agregados ya sea semiautomática o automáticamente, y los demás son manuales. La inclusión de aditivos es opcional. Los dispositivos de dosificación, controlados manualmente, deben accionarse en esta forma, dependiendo de la precisión de las operaciones de dosificación, de la observación visual del operador y de la báscula correspondiente. Los dispositivos de dosificación pueden accionarse manualmente, o con ayuda neumática, hidráulica o de energía eléctrica.

La dosificadora, controlada semiautomáticamente, deberá accionarse por medio de un mecanismo de arranque que iniciará la operación de pesado y parará automáticamente cuando se haya alcanzado el peso asignado a cada material. La interrelación entre mecanismos en cualquier grado puede ser opcional.

La dosificadora controlada automáticamente debe ser accionada por medio de una señal de arranque, que iniciará la operación de pesado de cada material y parará automáticamente cuando se haya alcanzado el peso asignado a cada material; estará programada de tal manera que:

- a) El dispositivo de carga no puede operar hasta que la báscula haya regresado a cero, operación que se realiza con una aproximación comprendida dentro de  $\pm$  un 0.3 por ciento de la capacidad de la báscula.
- b) El dispositivo de carga no puede actuar si está abierto el dispositivo de descarga.
- c) El dispositivo de descarga no puede accionarse si está abierto el dispositivo de carga.
- d) El dispositivo de descarga no puede accionarse hasta que el material indicado se encuentre dentro de las tolerancias aplicables.

Para dosificaciones acumulativas debe contarse con controles secuenciales programados y las tolerancias aplicables estipularán el peso acumulativo requerido por el material en el momento de efectuarse la dosificación.

El sistema de dosificación semiautomático consistirá de una combinación de los controles de dosificación programados automáticamente, o de una programación semiautomática y controles de dosificación automáticos. La inclusión de controles sobre el aditivo es opcional a menos que la dosificación de éste se inicie con la de uno de los demás ingredientes. La programación en cualquier grado puede ser opcional.

La dosificación controlada y programada automáticamente debe ser accionada por uno o varios mecanismos que iniciarán la operación de pesado de cada material y pararán automáticamente cuando se haya alcanzado el peso designado de cada material, programado de tal manera que el dispositivo de descarga no pueda accionarse hasta que el material indicado se encuentre dentro de las tolerancias aplicables.

La dosificadora controlada automáticamente será accionada por una sola

señal de arranque que iniciará la operación de pesado de cada material y parará automáticamente cuando se ha alcanzado el peso designado de cada material; está programada de tal manera que:

- a) El dispositivo de carga no podrá accionarse hasta que la operación se realice con una aproximación comprendida dentro de  $\pm 0.3$  por ciento de la capacidad de la báscula.
- b) El dispositivo de carga no puede accionarse si el dispositivo de descarga está dentro.
- c) El dispositivo de descarga no puede accionarse si el dispositivo de carga está abierto.
- d) El dispositivo de carga no puede accionarse hasta que el material indicado se encuentre dentro de las tolerancias aplicables.

Para dosificaciones acumulativas, pueden suministrarse controles secuenciales programados y las tolerancias aplicables considerarán el peso acumulativo requerido del material conforme se va dosificando.

El sistema de dosificación automática consistirá en una combinación de controles de dosificación automáticos que se ajuste a los siguientes requerimientos:

- a) Todo el equipo dosificador del sistema para la dosificación de los ingredientes por peso, debe ser accionado por un solo mecanismo de arranque. Se permite un mecanismo separado de arranque para la dosificación volumétrica de agua y/o (menciónese los aditivos) no dosificados en el momento de la operación de pesados.
- b) Cada dosificadora automática debe regresar a la tolerancia cero y cada dispositivo volumétrico debe volver a la posición de "arranque" o indicador "Vacio", antes de que pueda cargarse.
- c) La descarga de cualquier ingrediente en el sistema no puede iniciarse a menos que de todos los controles haya desaparecido la dosificación anterior, la báscula se encuentra en posición de tolerancia cero y los dispositivos volumétricos nuevamente en posición de "arranque" o indicador "vacío".

Los controles de dosificación automática deben accionarse por medio de una señal de arranque, excepto en los casos mencionados en (a), que -- iniciará la operación de pesado de cada material y parará automática-- mente cuando se haya alcanzado el peso asignado de cada material; esta-- rán programados de tal manera que:

- a) El dispositivo de carga no pueda accionarse hasta que la báscula -- haya regresado de cero dentro de  $\pm 0.3$  por ciento de su capacidad.
- b) El dispositivo de carga no puede accionarse hasta que esté abierto-- el dispositivo de descarga.
- c) El dispositivo de descarga no puede accionarse si está abierto el -- dispositivo de carga.
- d) El dispositivo de descarga no puede accionarse hasta que el mate--- rial indicado se encuentre dentro de las tolerancias aplicables.

Para dosificadoras acumulativas deben considerarse controles secuencia-- les programados y las tolerancias aplicables se referirán al peso acu-- mulativo requerido del material que se está dosificando.

#### Equipo auxiliar de la planta.

La mayoría de las plantas modernas están provistas de aparatos regis-- tradores que llevan un registro impreso de cada dosificación, de un me-- didor de humedad que indica la cantidad de humedad libre en la arena -- que se encuentra en la dosificadora y de un indicador que da la medi-- ción de la consistencia del concreto en la mezcladora (en plantas per-- manentes).

#### Registrador.

La función de un registrador es llevar un registro permanente de las -- operaciones de la planta. El Código no establece su empleo, pero mu-- chas especificaciones lo requieren y diversas plantas de premezclado -- lo utilizan como parte de su sistema de control y registro. La guía re-- comendada por la Concrete Plant Manufacturers Bureau requiere que cada planta de dosificación automática cuente con uno o dos registradores -- como máximo.

Los hay de diferentes tipos: el gráfico, acoplado eléctrica o mecánicamente, el digital y el fotográfico. Debe conservarse en un estante hermético al polvo que pueda cerrarse con llave y que permita observar los pesos registrados de la revoltura sin necesidad de abrirlo.

Además de llevar un registro de las operaciones de la planta, el cuadro del registrador permite que cualquier persona verifique si se resolvió la mezcla correctamente, si realmente se dosificó convenientemente el material, el número total de revolturas y la precisión de la operación de pesado. También debe indicar la fecha, hora y minuto de cada operación. Los registradores deben diseñarse de manera que tengan una precisión de lecturas de por lo menos 0.5 por ciento de la capacidad de la báscula; varios de ellos están contruidos para una precisión de 0.1 por ciento.

Las especificaciones sugeridas por la Manufacturers Bureau recomiendan:

Cada planta de dosificación automática debe estar provista de un registrador o de registros precisos, los que permitirán llevar un registro continuo y permanente de las operaciones de dosificación. Cada planta debe contar con un máximo de dos unidades de registro conservadas bajo llave. Cada registrador debe llevar un registro digital o gráfico en cuadros, cintas o tarjetas y proporcionará la siguiente información:

- a) La cantidad de pesos dosificados de cada agregado, material cementado y agua.
- b) La condición de cero de cada báscula después de haber descargado las dosificadoras o antes de iniciar la operación de dosificación.
- c) Un medio para identificar cada aditivo requerido.
- d) El peso y la fecha en que se entregó cada revoltura (requerido en un solo cuadro).
- e) Identificación de la fórmula de la mezcla o clasificación del concreto (cuando se requiera de más de una clase).
- f) Número de cada revoltura entregada.

El registro de una dosificación debe recogerse cuando lo indique el -- ingeniero y pasará a ser propiedad del Departamento.

En el registrador gráfico, el registro se lleva a cabo por medio de -- una pluma acoplada mecánicamente o eléctricamente a la báscula, que traza -- una línea continua sobre un papel milimétrico. Véase figura 2.7.

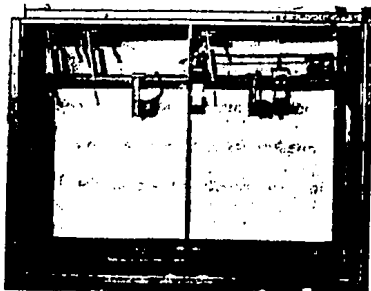


Figura 2.7 Un registrador gráfico que registra las cantidades de materiales pesados para cada dosificación. También se imprimen en el cuadro la fecha, hora del día, tipo de cemento, tipo de aditivo y número de serie. (Koehring Road Division).

Puede adherirse el indicador a la carátula de la báscula o directamente a ésta.

El registrador digital imprime el peso del material en forma digital -- en una cinta o tarjeta. Las indicaciones de cero en la báscula no siempre son impresas y las operaciones de pesado en una planta de alta velocidad pueden demorarse para dar tiempo al ciclo de impresión.

Un registrador fotográfico consta de una cámara instalada apropiadamente para tomar fotografías de la carátula o del balancín de la báscula y del indicador cuando se alcanza el peso de la revoltura. No se incurre en retraso o demora alguna en el proceso de pesado y es de gran -- precisión si se evita el paralaje.

Este registro no se presta para efectuar una revisión inmediata como -- en los registradores.



### Medidor de humedad.

Varias plantas permanentes y semipermanentes cuentan entre su equipo - con medidores de humedad. Un instrumento de este tipo está formado por dos electrodos (algunas veces la parte lateral de la dosificadora de - acero es un electrodo) instalados en la dosificadora de arena y conectados eléctricamente a un dispositivo indicador en una consola de operación, por medio de la cual el operador y el inspector están informados del porcentaje de humedad de la arena que se está dosificando, de manera que puedan realizarse las modificaciones necesarias. Un tipo de medidor se conecta con un registrador que puede registrar permanentemente las variaciones de humedad. El registrador también sirve para -- contar el número de dosificaciones de arena pesadas. Las instalaciones más complejas incluyen dispositivos de compensación por medio de los - cuales se compensa automáticamente la cantidad de agua libre que contiene la arena en la dosificación de agua, de tal manera que se introduce en la mezcladora la cantidad total correcta de agua, mientras que al mismo tiempo se corrige el peso de la arena para mantener el peso - seco correcto de ésta.

Los electrodos deben conservarse limpios y ocasionalmente deben revisarse y verificar todas sus partes. El instrumento puede calibrarse -- como sigue:

- 1.- Verificar que la lectura indique cero cuando no hay arena en la dosificadora.
- 2.- Cargar la dosificadora en la forma acostumbrada y observar la lectura del medidor.
- 3.- Tomar una muestra de arena (alrededor de una libra), asegurandonos de que es idéntica a la que rodea los electrodos.
- 4.- Determinar el contenido de humedad de la muestra poniéndola a secar.
- 5.- Ajustese el medidor para corregir cualquier discrepancia entre la lectura del medidor y el contenido de humedad corregido, para --

considerar la humedad absorbida.

Los ajustes efectivos de las básculas y medidores deben ser realizados por personal de la planta. El inspector debe abstenerse de operar y ajustar el equipo de ésta.

#### Medidor de la consistencia.

También existen instrumentos para medir la consistencia del concreto en la mezcladora. Algunas veces se denominan medidores del revenimiento; uno de ellos es un medidor de vatios que mide la energía necesaria para que gire la mezcladora, ya que una revoltura seca requiere de más energía que una húmeda. Otro mide el momento de volcamiento que actúa en una revoladora basculante, ya que una mezcla seca tiende a concentrarse en un extremo de ésta en lugar de nivelarse como ocurriría con una mezcla más húmeda. Otros se han utilizado experimentalmente, habiéndose diseñado uno en tal forma que automáticamente introduce agua en la mezcladora si el revenimiento fuera demasiado bajo, pero este procedimiento produciría un exceso incontrolable de agua en la re vo l t u r a del concreto.

Cualquiera de estos instrumentos requiere de calibración para las diferentes mezclas y distintas cantidades de revolturas.

Se han hecho otros estudios experimentales en un intento por desarrollar un medidor instalado sobre una revoladora de camión, pero este aparato no está disponible en el mercado.

#### Dosificación de la revoltura.

Existe una gran variedad de equipo para pesar y dosificar, que puede combinarse en diversas formas, pero todas estarán sujetas a un requerimiento básico: el cemento debe pesarse separado de los demás materiales. Algunas plantas manuales antiguas pesan primero el cemento en básculas acumulativas en las cuales se han pesado los agregados, pero éste no es un método conveniente, ya que no se ajusta a las especificaciones. Una disposición adecuada del equipo consiste en suspender la dosificadora del cemento en el centro de la dosificadora de agregados o de la

tolva, pero en forma independiente. A continuación se procede a pesar por separado e independientemente primero el cemento y subsecuentemente los agregados, cada material en su propia báscula. Esta forma de operar el equipo se presta convenientemente para aplicar el método "banda transportadora" para alimentar la mezcladora.

La dosificación de los agregados puede ser acumulativa, pesando cada agregado a su vez en una dosificadora o individualmente pesando cada agregado por separado en su propia dosificadora. Las básculas puede ser del tipo balancín o de carátula.

Si se pesa el agua se necesitan dos básculas separadas para este objeto. En la mayoría de las plantas el agua se mide volumétricamente utilizando, por lo general, un medidor o bien, ocasionalmente, un tanque-calibrado. Véase figura 2.8.

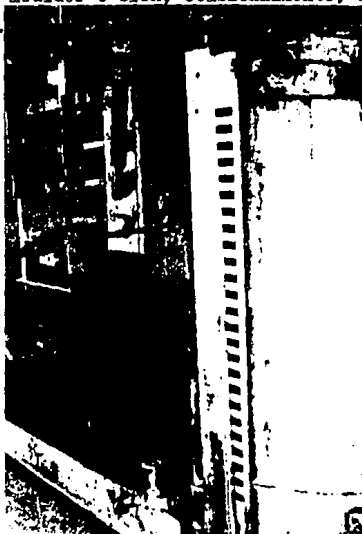


Figura 2.8 El agua se mide volumétricamente, observando su altura en el tubo indicador. Esta instalación se encontraba en una planta manual en la cual el control se ejercía operando manualmente palancas y observando visualmente las básculas de balancín.

Las dosificadoras de agua para pavimentadoras o mezcladoras portátiles son del tipo sifón o de descarga volumétrica.

Los aditivos que deben manejarse en solución pueden medirse ya sea por peso o por volumen. Un tipo de surtidor para aditivos líquidos controla la cantidad, medida por medio de un contador de tiempo, que regula el período durante el cual una pequeña bomba impulsa el material a través de un orificio calibrado. Otros surtidores operan mediante un pistón de carrera variable, tanques de sifón o de descarga y otros dispositivos. Los aditivos en polvo seco deben pesarse.

### Precisión de la medición.

Las tolerancias en la medición de los materiales se estipulan en la Sección 26, 1305, de la Norma No. 26-13 del U.B.C., para concreto premezclado. Estas tolerancias, que se refieren a tolerancias de dosificación en todo tipo de plantas, a menos que sean modificadas por las especificaciones del trabajo, se indican en la tabla 2.3.

En circunstancias especiales, el comprador puede permitir la medición del cemento por sacos completos estándar. Los pesos de los agregados deben basarse en pesos, secos corregidos para considerar el contenido de humedad. Las tolerancias para el agua se refieren a la cantidad medida y no al agua total de la revoltura de concreto.

Las variaciones en la presión del agua pueden dar como resultado cantidades variables del agua dosificada en ciertos tipos de dispositivos de medición volumétrica, ya que la dosificación puede dejar de llenarlos completamente cuando la presión es baja. En ese caso, puede instalarse un tanque de almacenamiento en la planta o en la mezcladora, que alimenta la dosificadora y compensa la presión, suministrando así dosis uniformes de agua.

Variaciones del revenimiento en ocasiones son producto de un operador sin experiencia y descuido, que no opera apropiadamente el equipo de dosificación y de pesado, lo que ocasiona alteraciones en los pesos de las dosis de ingredientes, que se reflejan en rendimientos, consisten-

## TOLERANCIAS DE DOSIFICACION, NORMA No. 26-13 DFL U.S.G.

	Peso de la revoltura mayor que el 30% de la capacidad de la báscula		Peso de la revoltura menor que el 30% de la capacidad de la báscula	
	Individual	Acumulativo	Individual	Acumulativo
Cemento <sup>1</sup>	± 1% del peso requerido	-	0 a 4% del peso requerido	-
Agregados	± 2%	± 1%	± 2%	± 0.3% de la capacidad de la báscula ó ± 3% del peso acumulativo requerido. El que sea menor.
Agua <sup>2</sup>				
Agua total	± 1%	-	± 1%	-
Incluyendo agua de lavado en el camión mezclador	± 3%	-	± 3%	-
Aditivos <sup>3</sup>	± 3%	-	± 3%	-

Tabla 2.3

1

De aprobarse para circunstancias especiales, la medición puede hacerse sobre la base de sacos llenos (94 libras) (42.64 Kilogramos).

2

Por peso o volumen.

3

Si la estimación es por volumen, la tolerancia es de 3% o más o menos el volumen de la dosis de un saco, el que sea mayor.

cias variables del concreto. Otra fuente de problemas es el funcionamiento de un equipo desgastado o desajustado. Una fuga en una válvula de la dosificadora o del medidor de agua puede originar amplias fluctuaciones en la cantidad de agua dosificada, especialmente si transcurren períodos variables de tiempo entre las revolturas.

La frecuencia en la carga de materiales en la mezcladora afecta la eficiencia del mezclado, y por consiguiente, la calidad y uniformidad del concreto que se está mezclando. Es indispensable establecer una secuencia de dosificación en todas las plantas para producir concreto uniforme de la mejor calidad. El agua debe preceder, acompañar y seguir a los ingredientes sólidos de la mezcladora. La denominada "alimentación por banda transportadora" mediante la cual el cemento y todos los agregados alimentan la mezcladora simultáneamente, propicia la completa integración de todos los materiales, lo que conduce a un mezclado eficiente.

El tiempo y el método aplicado para cargar los aditivos tienen un efecto importante sobre la eficacia de cualquiera de ellos. El aditivo debe cargarse en el mismo punto de la secuencia de carga de la mezcladora, en cada revoltura. Los líquidos pueden medirse en el agua de mezclado conforme van fluyendo en la mezcladora y los aditivos secos pueden colocarse en la banda con los demás agregados. Cuando se está utilizando más de un agregado, deben mantenerse separados hasta que se encuentren en la mezcladora.

#### Equipo de calibración y verificación.

Ocasionalmente debe verificarse la precisión de las básculas y las dosificadoras. En la mayoría de las jurisdicciones, el Building Official requiere que el inspector de pesos y medidas revise y calibre las básculas a intervalos determinados. Cuando se lleve a cabo una calibración ésta debe incluir la totalidad del sistema de pesado, utilizando pesos muertos, y no únicamente calibración de la cabeza o el balancín de la báscula. Las lecturas en la carátula de la báscula o en su balancín, cuando la carátula de control del operador se encuentre en una po-

sición diferente, uno de los registradores se tomará como cero en diferentes puntos de la capacidad de la escala.

Las básculas son inherentemente resistentes y si los dispositivos son precisos, y mediante un mantenimiento aprobado, darán muy buen servicio.

Las básculas y el equipo de dosificación deben conservarse limpios y ajustados en todo tiempo. Cuando se pegan los bordes las cuchillas y puntos de apoyo por estar achatados sucios, se originan graves errores de pesada.

Las taras pueden variar si el material está adherido o pegado a la dosificadora-pesadora. Las básculas de carátula deben verificarse diariamente para cerciorarse de que la manecilla regresa a cero cuando la revoladora está vacía.

Las básculas de balancín deben nivelarse a cero cuando solo el balancín está cargado.

El método y el equipo requeridos para verificar las básculas variará ligeramente, dependiendo del tamaño y la complejidad del sistema de registro y pesado. Por lo general, se sugiere el siguiente procedimiento, sujeto a modificación según el tipo de planta de que se trate. Una vez que una planta haya sido verificada y ajustada, deberá producir exactamente muchos metros cúbicos de concreto mientras se mantenga en buenas condiciones.

Pueden llevarse a cabo verificaciones cortas ocasionales para asegurar se de su precisión.

Si la planta está provista de un registrador autográfico que lleve un registro de las dosificaciones, debe verificarse al mismo tiempo que las básculas. El procedimiento es el siguiente:

- 1.- Véase que la tolva-dosificadora se encuentre vacía y limpia.
- 2.- Véase que las tolvas, fulcros, bordes de las cuchillas y todas las partes móviles están libres y no se peguen, ni haya roce, ni haya fricción. Los apoyos de las cuchillas deben estar bien centrados y los bordes de éstas afilados.

- 3.- Con las básculas niveladas a cero, cerciórese de que el registrador, si lo hay, indica cero.
- 4.- Colocar los pesos de prueba en los soportes, registrando las lecturas de la báscula y del registrador cada vez que haya un incremento de 227 Kilos.  
Ambos aparatos deben calibrarse junto con todo el equipo para que estén en condiciones de operación satisfactoria. No se desconecte el registrador. Debe considerarse una tolerancia por el habilitamiento de tablonos y soportes para colocar los pesos.
- 5.- Usualmente el número de pesos de prueba no equivale al peso máximo deseado. En estos casos, retírense todos los pesos y el habilitamiento, equilibrado las básculas y el registrador a cero, después llenar la dosificadora hasta que las básculas indiquen el máximo alcanzado en (4) y a continuación colóquense los soportes para los pesos y procédase como se indica en (4).
- 6.- Los trabajadores deben tener la precaución de colocar y retirar los pesos cuidadosamente para causar el menor movimiento posible en las básculas y del registrador.

Los dispositivos para medir el agua deben calibrarse con mucho cuidado y conservarse siempre en buenas condiciones de operación. Antes de intentar alimentar una dosificadora de agua deben verificarse las válvulas y otros mecanismos y, de ser necesario, hacer las reparaciones requeridas. El sistema de agua de una mezcladora moderna o de una planta está diseñado para que el agua medida pueda extraerse a través de un orificio de salida en la línea de descarga. La calibración se lleva a cabo pasando una determinada cantidad de agua a través del medidor o de la dosificadora, estrayéndola por un orificio de salida especial y recibiendo el agua medida en un tanque de 50 galones o en algún otro depósito, el cual a continuación se pesa en una báscula de plataforma. Si es necesario hacer la conversión a galones, se efectúa ésta dividiendo el peso ( en libras ) por 8.33.

Nota: 50 galones equivalen a 189.25 litros.



El indicador del tanque de medición o del medidor debe colocarse en -- una lectura ligeramente menor que cualquier cantidad que se considere se va a utilizar, y que el agua descargada en el barril en el que se -- pesa.

El indicador debe adelantarse alrededor de 25 libras, el tanque debe -- volverse a llenarse y nuevamente se procede a descargar y a pesar el -- agua. Esto debe repetirse hasta que se alcance la capacidad de la dosi -- ficadora. La precisión de la medición debe encontrarse dentro de la to -- lerancia especificada. Nota: 25 libras equivalen a 11.34 Kilogramos.

### Dosificación.

La dosificación manual, o sea, abriendo y cerrando compuertas por me -- dio de palancas y controles operados manualmente, con corte controlado por el operador que observa un indicador o la carátula de una báscula -- es un poco más lenta que la automática o semiautomático.

Sin embargo, existe un control de las velocidades de carga y descarga -- que no pueden funcionar con ninguno de los sistemas automáticos. El -- operador puede regular el flujo de material colocando la compuerta en -- posición "totalmente abierta" o bien dejando una pequeña "abertura" -- para obtener una alimentación lenta de material. Las compuertas auto -- máticas usualmente cuentan con una instalación de "alimentación por go -- teo", por medio de la cual se puede efectuar la alimentación lenta --- abriendo y cerrando rápidamente la compuerta automáticamente. Esto se -- haría en la etapa final del pesado, cuando el peso del material que se encuentra en la revoladora se aproxima al peso determinado.

En algunas plantas modernas que trabajan a altas velocidades, los ma -- teriales son pesados con tal rapidez, especialmente en las dosificado -- ras acumulativas, que es necesario considerar una tolerancia para el -- material "en suspensión" en la parte final de cada medición del peso. Véase figura 2.9.

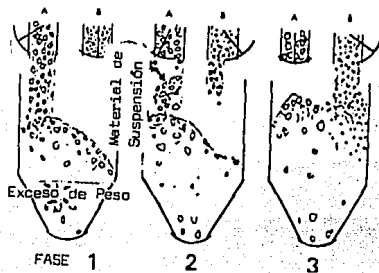


Figura 2.9 En la Fase 1, la compuerta A está abierta y la B cerrada. El agregado A está pasando a la revolvedora-pesadora. En la Fase 2, -- la compuerta A se cierra y simultáneamente se abre la compuerta B, pero parte del agregado A todavía está en "suspensión", aún no llega a la revolvedora. En la Fase 3 está cerrada la compuerta A y abierta la B. Ahora se está pesando el agregado B.

Como la compuerta de carga de un agregado se cierra automáticamente -- cuando la cantidad estipulada de material ha pasado a la revolvedora -- pesadora y simultáneamente se abre la compuerta de otro agregado, el -- segundo agregado empieza a pasar a la revolvedora -- pesadora. Sin em-- bargo, una pequeña cantidad del primer agregado que hubiera pasado a -- través de la compuerta no habría llegado aún a la revolvedora para ser incluida en el peso. Este es el material "en suspensión" y se requiere establecer una tolerancia para tomarlo en cuenta al determinar los pesos de las revolturas en las básculas.

Estas tolerancias no son necesarias si se dejan descansar las básculas después de cada incremento de peso.

Cuando se nivelan las básculas al peso requerido, deben equilibrarse -- para la carga de cada revoltura. Debe eliminarse cualquier sobrecarga-- de agregados que exceda de la tolerancia permitida. Al pasar el cemen-- to, debe tenerse cuidado de que se descargue todo el cemento para cada revoltura. Cuando se utiliza una báscula de carátula, tanto el opera-- dor como el inspector deben observarla frecuentemente para estar segu-- ros de que el indicador regresa a "cero" en cuanto se descarga la re-- volvedora. Al utilizar una báscula de balancín, también debe observar--

se a menudo para cerciorarse de que el balancín de la tara esté equilibrado después de la descarga de la revolvedora, cuando los balancines-del peso no se mueven. Si la báscula no regresa a cero este hecho puede ser indicio de que el material está adherido a la revolvedora - pesadora. A menos que las especificaciones estipulen algo diferente, el error combinado al pesar y dosificar cada material no debe exceder de los valores indicados en la tabla 2.1.

La transferencia de las revolturas a la mezcladora deben ser tan directas como sea posible. Si se utilizan bandas transportadoras debe tenerse cuidado en su diseño para evitar secciones aplanadas en los puntos de transferencia, donde pueden adherirse porciones de las revolturas.

Puede existir una de las tres condiciones siguientes de transferencia:

- 1.- Todas las mezcladoras y dosificadoras se encuentran en una planta; las dosificadoras alimentan a las mezcladoras directamente por medio de bandas transportadoras cortas, revolvedoras de retención o algunos otros medios directos.
- 2.- Las revolturas secas se transportan por camión desde la planta dosificadora hasta la mezcladora, donde se les agrega agua y aditivos.
- 3.- Las revolturas secas o las revolturas secas y el agua se depositan en camiones mezcladores.

#### Camiones para revolturas secas.

Este método se utilizaba en el pasado prácticamente en todos los trabajos de pavimentación y en varias obras estructurales y todavía se emplea con frecuencia. Una planta dosificadora se sitúa en un punto conveniente y se acarrean las revolturas hasta la mezcladora que se encuentra en el lugar de la obra. El camión se adapta con secciones ajustables para dividir la caja de volteo en varios compartimentos, conteniendo cada uno de ellos una revoltura de agregados y cemento. Véase - figuras 2.10 y 2.11.

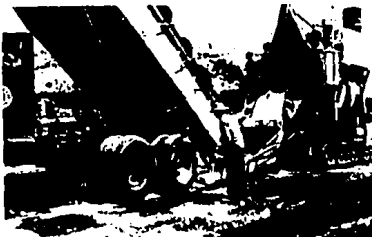
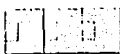


Figura 2.10 Un camión de revoltura seca descargando en la tolva de una pavimentadora. Observe los diversos niveles de la descarga a un lado del camión.

VISTA SUPERIOR

COMPARTIMENTO PARA LA REVOLTURA. CUERPO DEL CAMION O CARRO.



CORRECTO

Proporciona compartimentos separados de tamaño y altura adecuados unidos a y operando con cada compuerta para descarga de revoltura.

INCORRECTO

El cemento vertido sobre o dentro de los agregados puede ser aventado, prehidratarse parcialmente o deslizarse en otra revoltura al estar cargándolo.

Figura 2.11 El cemento a granel se acarrea más convenientemente en compartimentos separados de los agregados. USBIT Concrete Manual.

Si se utiliza cemento a granel es mejor colocarlo en un compartimento-separado del agregado. Esto elimina la hidratación parcial del cemento con la humedad del agregado, especialmente cuando se transportan a --- grandes distancias o en caso de demoras excepcionales.

Deben tomarse las precauciones necesarias al vaciar las revolturas en los camiones para evitar desperdicio de cemento o agregado o que los materiales pasen del compartimento de una revoltura al de otra. Deben revisarse los camiones para asegurarse de que su interior está limpio y cuando se encuentre material pegado deben limpiarse perfectamente. Las compuertas deben ser herméticas para evitar pérdidas de los materiales en tránsito. En tiempo de lluvias deben cubrirse las revolturas antes de que los camiones salgan de la planta. Se recomienda la utilización del compartimento separado para el cemento. Actualmente varias instituciones estipulan este método. Si no se emplean compartimentos separados, lo mejor que puede hacerse es "envolver" el cemento en la revoltura vertiendo simultáneamente éste y los agregados, y cubriendo la carga con una lona impermeable o algún material adecuado al salir de la planta.

### Mezcladoras.

Las mezcladoras pueden ser portátiles o fijas, basculante o no basculantes, de una gran diversidad de tamaños, desde modelos pequeños para laboratorio, de 3 pies cúbicos, hasta las que tienen capacidad de 15 - yardas cúbicas. La elección entre las basculantes y las no basculantes es exclusivamente cuestión de preferencia personal, ya que las dos pueden mezclar el concreto eficientemente y perfectamente. ( $3\text{ft}^3 = 0.085 \text{ m}^3$  y  $15 \text{ yd}^3 = 11.47 \text{ m}^3$ ).

El Concrete Plant Manufacturers Bureau define las distintas variedades de mezcladoras como sigue:

#### a) Mezcladora de concreto en planta.

Máquina utilizada para combinar cemento portland, agua, agregados y -- otros ingredientes para producir mezclas de concreto y operadas usualmente en un lugar fijo de la planta mientras se está mezclando el concreto.

**b) Mezcladora no basculante.**

Una mezcladora de tambor giratorio que carga, mezcla y descarga con el eje del tambor en posición horizontal.

**c) Mezcladora basculante.**

Una mezcladora de tambor giratorio que se descarga inclinando el tambor alrededor de un eje horizontal móvil o fijo en ángulo recto con respecto al eje del tambor. El eje del tambor puede ser horizontal o inclinado, horizontal mientras carga y mezcla.

**d) Mezcladora de eje vertical.**

Una mezcladora con un piso esencialmente nivelado y un compartimento de mezclado cilíndrico o anular, con uno o más ejes verticales giratorios a los cuales están adheridas cuchillas o paletas. El compartimento de mezclado puede ser fijo o girar alrededor de un eje vertical.

**e) Mezcladora de eje horizontal.**

Una mezcladora con un compartimento de mezclado cilíndrico fijo con el eje del cilindro horizontal y uno o más ejes horizontales giratorios a los cuales están adheridas placas mezcladoras.

La mezcladora no basculante tiene un tambor cilíndrico y usualmente se carga por medio de un cucharón o una revoladora colocadas en un extremo del cilindro y descarga el concreto mezclado por un canalón de descarga oscilante que se encuentra en el otro extremo. Véase figura 2.12.



Figura 2.12 Una mezcladora no basculante. La dirección de la rotación del tambor cambia para descargar la revoladora.

Las mezcladoras - pavimentadores montadas en orugas son un tipo común de mezcladoras no basculantes. Véase figura 2.10.

Tiene uno o dos tambores y en realidad esta formada por un cilindro -- grande dividido en dos compartimentos, separados por medio de una mampara y con un canalón oscilante que la atraviesa. La ventaja que tiene la pavimentadora de varios tambores es su gran productividad durante cualquier período determinado de tiempo, en comparación con una mezcladora de un solo tambor.

Las mezcladoras basculantes se encuentran en varias plantas fijas o -- permanentes. Tienen un tambor cónico o en forma de tazón y pueden cargarse ya sea por la parte delantera o por la posterior, dependiendo de su fabricación e instalación. El concreto mezclado se descarga inclinando el extremo delantero hacia abajo. Véase figura 2.13.

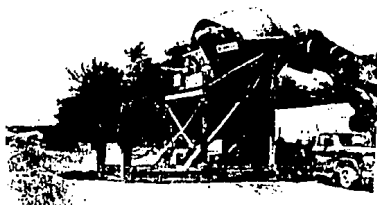


Figura 2.13 Mezcladora basculante móvil de 10 yardas cúbicas, autoerigible. ( $10 \text{ yd}^3 = 7.65 \text{ m}^3$ ).

Otro tipo de mezcladora, descrito previamente como una mezcladora de -- eje vertical y conocida algunas veces como mezcladora de turbina, consiste en una olla o tina grande en la cual unas paletas, operando en -- un eje vertical, realizan el mezclado. Véase figura 2.14.

Sus ventajas son lograr un mezclado superior en menor tiempo que las -- mezcladoras de tambor giratorio convencionales y la escasa altura libre que requiere su instalación.

La mezcladora de eje horizontal, llamada usualmente amasadora o mez-- cladora de mortero, a menudo se instala en plantas que elaboran tubos-- y otros artículos similares en los cuales se utiliza concreto rígido --

no plástico.

La mayoría de las mezcladoras toleran un 10 por ciento de sobrecarga. Es permisible cargarlas a esta capacidad si la placa del fabricante -- garantiza que la mezcladora puede manipular una revoltura de esa dimensión y si las pruebas de su comportamiento demuestran que está apropiamente mezclado el concreto.



Figura 2.14 Dos mezcladoras de eje vertical, con una olla giratoria y un interruptor (offset counter-current arrangement) de las cuchillas, durante su instalación. Birich Machines, Inc.

### Operación y control.

Una revisión general de los factores mencionados anteriormente nos conduce a considerar como elementos específicos que deben evaluarse y controlarse en cualquier trabajo, la homogeneidad y uniformidad del concreto que dependen de:

El diseño y condición del tambor, de las cuchillas y de la canaleta de descarga de la mezcladora.

El grado de mezclado por medio del método que se aplica para cargar la mezcladora.

La magnitud de la revoltura en relación con el volumen bruto del tambor de la mezcladora.

La velocidad de rotación y número de revoluciones del tambor de la mezcladora durante la carga.

El tiempo y velocidad de la adición del aditivo.



Algunas veces se forman bolas de cemento en el concreto que son resultado de una distribución pobre del cemento cuando entra en contacto -- con el agua de la mezcladora. Las causas específicas son: alimentación demasiado rápida del cemento o del agua, revoltura que excede la capacidad de la mezcladora, cuchillas inapropiadas o desgastadas, o bien -- el mantener la revoltura en la mezcladora durante varios minutos antes de que empiece a girar. Una vez que el cemento entre en contacto con -- los agregados húmedos o con el agua debe mezclarse la revoltura y utilizarse tan rápidamente como sea posible. Puede permitirse una demora -- máxima que no exceda de dos horas, pero deben consultarse las especificaciones para obtener información más exacta. En el caso de revolturas secas transportadas en camiones revolvedores o conservadas en revolvedoras de retención, debe agregarse a la revoltura una cantidad adicional de cemento si éste está en contacto con el agregado húmedo por más de dos horas.

Cuando el cemento se deposita en primer término en el tambor de la mezcladora puede pegarse a la parte interior del mismo. Este problema se resuelve vertiendo una porción de agua antes de depositar primero los agregados y poco después el cemento.

Para propiciar un mezclado perfecto dentro del tambor de la mezcladora deben diseñarse las cuchillas de tal manera que puedan mover el concreto de un extremo a otro del tambor y en varias direcciones entrecruzadas, pero no se debe permitir que el concreto caiga desde las proximidades de la parte superior del tambor. Las mezcladoras para concreto -- en masa que contenga agregado grande no requieren de tanto movimiento de las cuchillas como las revolvedoras para concreto con agregado pequeño. Un mezclado, cuchillas gastadas o inadecuadas, interior de la -- mezcladora incrustado con concreto viejo, velocidad de rotación demasiado rápida o demasiada lenta, cantidad de revoltura que exceda la -- capacidad de la mezcladora, o secuencia inapropiada de la dosificación.

Por lo general, en las especificaciones se estipula un tiempo mínimo -- de mezclado. El tiempo empieza a contar cuando todos los materiales, --

excepto la última parte del agua, se encuentran en la mezcladora y continúa durante los períodos indicados en la tabla 2.4.

TIEMPO MINIMO DE MEZCLADO SUGERIDO

Capacidad de la Mezcladora	Tiempo de mezclado
2 o más	1-1/2
3	2
4	2-1/2
5	2-3/4
6 o más	3

Tabla 2.4.

Debe evitarse un sobremezclado, porque la acción de molido produce finos objetables en la mezcla, dando como resultado un mayor requerimiento de agua. También puede haber una pérdida de aire incluido. El tiempo de calor, el sobremezclado es especialmente objetable debido al efecto del calentamiento.

La mezcladora debe estar provista de un dispositivo contador de tiempo que automáticamente empiece a funcionar en el momento especificado e impida que la mezcladora descargue hasta que haya transcurrido el período de tiempo determinado. El dispositivo debe ser ajustable y cerrado. Para verificar el tiempo de mezclado deberá indicar el intervalo seleccionado, mientras la mezcladora cargada esté operando. El tiempo principia a contar en el momento en que el cucharón llega a la parte superior del movimiento o cuando la última parte de cemento y de agregado se encuentra en la mezcladora y continúa hasta que se abre la compuerta de descarga. En el caso de mezcladoras de doble tambor será la segunda mezcla descargada la que determine el tiempo.

Algunas instituciones especifican una prueba del comportamiento de la mezcladora o de la eficiencia del mortero, porque suministra información para efectuar ajustes en el tiempo de mezclado. Esta prueba consiste en comparar muestras de concreto de dos o más partes de la revoledora con base en el peso unitario del mortero y en el porcentaje

de agregado grueso. De acuerdo con los resultados de este análisis, -- puede aumentarse o reducirse el tiempo de mezclado.

### Concreto premezclado.

El concreto premezclado es un material que se mezcla en una planta central y se lleva al sitio de la obra en unidades de transporte, ya sean camiones o revolvedoras, o bien, concreto que se dosifica en una mezcladora montada en un camión y se mezcla en tránsito a la obra, o una combinación de mezclado parcial en la planta central y terminado en -- tránsito de un camión revolvedor. Estos métodos se conocen respectivamente como mezclado central, mezclado de camión o en tránsito y mezcla do iniciado en planta fija y terminado en tránsito.

Todos los factores generales que afectan a la dosificación y al mezcla do de concreto se aplican al concreto premezclado, al igual que al con creto mezclado en obra. Además, existen determinados factores que son especialmente significativos en una operación de premezclado, entre -- los cuales, por lo general, se incluyen los siguientes:

Método y secuencia de la carga de materiales en la mezcladora.

Manejo de agua adicional agregada en tránsito o en el sitio de la obra.

Dispositivo para lavar la mezcladora.

Efecto del tiempo de acarreo sobre la calidad del concreto.

Control y seguridad de la uniformidad en la revoltura y entre revoltura y revoltura.

Embarque de cargas para ajustarse al programa de colocación sin demo-- ras.

Tiempo transcurrido entre la carga de la mezcladora, el mezclado y la descarga.

### Historia.

En la actualidad la industria del concreto premezclado absorbe al re-- dador de la mitad del cemento portland consumido en los Estados Unidos y varios miles de plantas están dedicados a esta actividad. El desarro

llo de la industria ha sido firme desde que el primer pionero se aventuró en un carruaje de caballos, en el año de 1909. Tenemos registros de un cierto número de operadores de planta mezcladoras de concreto y de unidades de acarreo al lugar de la obra de años anteriores a la Primera Guerra Mundial. En 1920 la conveniencia y las economías logradas con el empleo del concreto premezclado fueron palpables en toda la industria de la construcción. Muy pronto fue evidente que la ventaja del concreto premezclado es la conveniencia y el ahorro del contratista, - al igual que la uniformidad del producto. El almacenamiento de agregados y cemento en la obra, con la consecuente congestión del área de la construcción y desperdicio de materiales, deja de ser problema cuando se emplea concreto premezclado.

Casi todas estas operaciones previas se realizaban en planta, en donde se mezclaba el concreto y se transportaba en tambores de cualquier tipo.

Se utilizaban poco los camiones revolvedores; una unidad tipo consistía en una pequeña mezcladora fija montada en el chasis de un camión, - que condujo al desarrollo de un tambor mezclador diseñado especialmente e impulsado por el motor del camión a través de una toma de fuerza. Entre 1930 y 1940 varios fabricantes empezaron a producir mezcladoras para camión, siendo las más comunes las de 3 ó 4 yardas cúbicas de capacidad. ( $3 \text{ yd}^3 = 2.29 \text{ m}^3$  y  $4 \text{ yd}^3 = 3.06 \text{ m}^3$ ).

Fue durante este período cuando varias corporaciones se dieron cuenta de los problemas asociados con algunas de las máquinas y se emprendieron estudios y pruebas para desarrollar equipo y técnicas que mejoraran la industria. Una gran parte del crédito para estos adelantos pertenece a la National Ready Mixed Concrete Association (Asociación Nacional de Concreto Premezclado), organizada en 1930 como una asociación industrial no lucrativa de los productores de concreto premezclado. Uno de los primeros artículos técnicos relacionados con el concreto premezclado fue "Organización de una Planta Central de Mezclado" -- que se publicó en el "Journal of the American Concrete Institute" en 1925. En 1930 el ACI publicó un simposio de artículos sobre plantas --

centrales de mezclado, incluyendo uno que trataba la nueva tendencia hacia el mezclado en tránsito. En 1937 apareció la mezcladora de alta-descarga hizo se consideraran absoletas las unidades horizontales. Véase figura 2.15.



Figura 2.15 Uno de los primeros (1937) camiones revolventores de alta-descarga; es una unidad de 4 yardas cúbicas (3.06 m<sup>3</sup>).

La aceptación y utilización del concreto premezclado se extendió considerablemente durante y después de la Segunda Guerra Mundial, con el desarrollo de métodos y equipo perfeccionados. Actualmente, las unidades se diseñan para mezclar en tránsito cargas de 8 y 10 yardas cúbicas y aún mayores. Véase figura 2.16. (8 yd<sup>3</sup> = 6.12 m<sup>3</sup> y 10 yd<sup>3</sup> = 7.65 m<sup>3</sup>).



Figura 2.16 Un moderno camión revolventor de 10 yardas cúbicas con descarga de la mezcladora sobre la cabina del camión. Esto facilita en un grado importante la colocación del camión para la descarga del concreto. Oshkosh Truck Corp. (10 yd<sup>3</sup> = 7.65 m<sup>3</sup>)

### Equipo.

Existen tres tipos de unidades que se utilizan como camiones mezcladores o revolvedores: las de tipo tambor giratorio de eje horizontal; - las de tipo tambor giratorio de alta descarga, de eje inclinado; y las de paletas o cuchillas giratorias con la parte superior abierta. Las - normas para la operación de estas mezcladoras están incluidas en la -- publicación No. 73 de la NRMCA; en la Norma No. 26 - 13 de U.B.C. y en la Especificación C 94 de la ASTM.

Puede emplearse la misma máquina para mezclar en tránsito o para transportar concreto mezclado en planta. Cuando se emplea solamente para -- acarreo, la máquina se denomina revolvedora, siendo la única diferen-- cia que en este caso el tambor de la mezcladora o el eje de la paleta- gira a mucha menos velocidad que cuando se emplea como mezcladora.

Igualmente, una revolvedora puede manejar una carga mediana en la mis- ma forma que lo hacen con una carga grande que debe mezclarse. Prácti- camente todo el concreto premezclado se mezcla en tránsito en máquinas de tambor giratorio de alta descarga.

Otro tipo de unidad de acarreo consiste en una caja de volteo montada- en un camión (denominada comúnmente "tina de baño" debido al contorno- redondeado de sus esquinas).

Esta es una unidad de tipo no revolvedor en la cual la descarga se rea- liza levantando la caja del camión, deslizándose el concreto hacia --- afuera a través de una compuerta que se encuentra en la parte poste--- rior del depósito.

Cada camión mezclador debe tener adherida en lugar visible una placa - metálica en la que esté grabada su capacidad en metros cúbicos, garan- tizada por el fabricante, así como la velocidad recomendada para revol- ver y para mezclar. La mezcladora debe estar provista de un medidor de la revoltura y de un dispositivo de programación que permita evitar la descarga del concreto antes del número requerido de revoluciones del - tambor, o de un contador de revoluciones adecuado para indicar la pro- porción de mezclado. Un medidor de agua exacto, que tenga carátula in-

dicadora y un totalizador, debe instalarse entre el tanque de abastecimiento y la mezcladora.

Para que el concreto se mezcle apropiadamente en un camión mezclador, el volumen bruto del tambor de la mezcladora debe ser considerablemente mayor que la capacidad del tambor de mezclado. Esto es necesario para que haya un exceso de volumen suficiente para permitir que se carguen diversos ingredientes en la mezcladora y se mezclen perfectamente. Los fabricantes de mezcladoras tienen presente esta circunstancia cuando diseñan la capacidad de sus máquinas.

Las normas de la industria estipulan las capacidades máximas en términos de un porcentaje del volumen nominal (bruto).

El adecuado mantenimiento de la mezcladora es sumamente importante para obtener un mezclado satisfactorio en un número especificado de revoluciones. Desde luego, el mantenimiento mecánico es obvio y necesario. El interior del tambor también requiere de inspección y mantenimiento. No debe permitirse que el concreto se acumule en las paredes de la mezcladora o alrededor de las cuchillas. Estas, a su vez, deben reemplazarse cuando presenten desgaste excesivo. Los chiflones (boquillas) de entrada de agua no deben estar obstruido con mortero o concreto. El manual del usuario deberá explicar estas situaciones y la forma de corregirlas.

#### Mezclado volumétrico continuo.

El código permite el mezclado de concreto en este tipo de máquinas. En la Sección 2605 (b) dicho Código estipula que el concreto mezclado en la obra debe mezclarse en una mezcladora dosificadora, y el concreto premezclado debe ajustarse a la Norma No. 26 - 13 del U.B.C., la cual no permite el mezclado continuo. Sin embargo, ha aparecido en el mercado esta clase de equipo y en ciertos lugares ha tenido aceptación. La Norma C 685 de la ASTM da una especificación tentativa para "Concreto elaborado mediante Mezclado y Dosificación Volumétrica".

Un modelo de este tipo de planta puede montarse en un camión, en un remolque o instalarse en un lugar fijo. Este modelo está formado por de-

pósitos y tanques separados para agregados, cemento y agua, los cuales pueden cargarse en una planta central. Los materiales son medidos a -- una velocidad específica de la máquina a través de una descarga continua de cemento, aberturas ajustables del depósito de agregados y un -- dispositivo ajustable para medir el agua, que se calibran para descargar continuamente la proporción adecuada de materiales de acuerdo con aberturas preseleccionadas, teniendo en cuenta el diseño de una mezcla convencional, con base en su peso. El mezclado se realiza por medio de la rotación continua de una sinfín cuyo extremo de descarga está más -- alto que el de recepción.

Una de las principales ventajas de esta unidad es que se transporta -- sin dificultad y que se pueden mezclar y distribuir pequeñas cantida-- des de concreto y, por consiguiente, puede disponerse de los camiones-- revolvedores grandes, para utilizarlos donde se requiera mayor eficien-- cia. El control del concreto se simplifica porque éste está constante-- mente a la vista, en la cubeta (olla) mezcladora. En la figura 2.17, -- se ilustra una de estas unidades en operación.

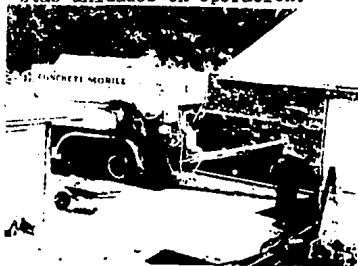


Figura 2.17 Una unidad para dosificación y mezclado volumétrico continuo que suministra pequeñas cantidades de concreto. National Concrete Machinery.

### Operación y control.

El método aplicado para dosificar e introducir el cemento y los agrega-- dos en el tambor de la mezcladora influye en gran medida en la eficien--



cia del mezclado. Si puede obtenerse un cierto grado de integración -- de los materiales antes o durante la carga de la mezcladora, puede asegurarse un mejor mezclado. Desde este punto de vista, es más conveniente el método conocido como "carga por banda", en el cual todos los materiales alimentan simultáneamente a la mezcladora. Obviamente se tropieza con ciertas dificultades de acondicionamiento en la planta que -- hacen poco práctico el sistema, pero a pesar de ello, es posible realizar en cierto grado la alimentación por banda. En una planta donde -- todos los agregados se pesan acumulativamente en una revoladora pesadora, la secuencia de carga está limitada a que ésta pueda llevarse a -- cabo con las posiciones secuenciales relativas de los agregados, el ce -- mento y el agua.

En la generalidad de las operaciones de mezclado en tránsito, la mayor parte del agua se introduce en la mezcladora en la planta dosificadora y el resto se agrega de una provisión existente en el camión o en el -- lugar de la obra. Lo ideal es que el agua preceda, acompañe y siga a -- los materiales sólidos. El extremo acampanado de la mezcladora debe ad -- mitir mayor volumen de agua que el extremo de descarga. La alimenta -- ción de agregado grueso debe preceder escasamente a la de arena y ce -- mento. El aditivo debe introducirse con el agua, de preferencia des -- pués de que la primera porción de ésta haya entrado a la mezcladora. -- La introducción de la revoltura normalmente es un proceso continuo; -- sin embargo, se presentan situaciones en las cuales esto no es así. -- Por ejemplo, en algunas plantas es necesario alimentar la mezcladora -- con más de una carga de material porque tiene mayor capacidad que la -- dosificadora. Así, una mezcladora de 8 yardas cúbicas requeriría de -- dos cargas de material proveniente de una planta dosificadora de 4 yar -- das cúbicas de capacidad. En la siguiente figura 2.18, se ilustra una -- secuencia de carga idealizada. ( $8 \text{ yd}^3 = 6.12 \text{ m}^3$  y  $4 \text{ yd}^3 = 3.06 \text{ m}^3$ )

La velocidad del tambor mezclador al estar recibiendo la carga también es importante. La mayoría de las pruebas demuestran que es aconsejable una velocidad baja.

Cuando el concreto se mezcla en planta, el camión revolador que lo --

transporta, y que actúa como agitador, debe operar a una velocidad baja de agitado durante el trayecto hasta el lugar de la obra, y precisamente antes de descargar la revoltura debe operar a velocidad de mezclado con pocas revoluciones. Algunas mezcladoras agitan y mezclan en dirección rotacional opuesta a la de descarga.

El concreto tiende a perder consistencia o a endurecerse cuando se sobremezcla, debido a la generación de calor y a la acción de molido dentro de la mezcladora y en tiempo de calor esto puede convertirse en un verdadero problema. Por esta razón, es evidente la importancia que tiene la uniformidad en el número de revoluciones del tambor o de las paletas. El código establece un límite más alto de revoluciones. El contador de revoluciones, mencionado previamente, suministra la información necesaria para ejercer el control respectivo.

El descuido y la descarga inadecuada del concreto del camión mezclador es una de las causas de la segregación. La descarga ideal se lleva a cabo abriendo totalmente la compuerta correspondiente y operando el tambor a toda velocidad e ininterrumpidamente. Sin embargo, no siempre es posible alcanzar lo ideal. Usualmente la descarga es intermitente, tanto en cucharones (cubos) o en carritos y también a velocidades restringidas. En cualquier caso, la compuerta de descarga debe estar totalmente abierta, controlando la velocidad de la descarga y modificando la de la mezcladora. El tratar de que el concreto pase a través de una abertura parcialmente abierta o restringida, es origen de segregación, especialmente de la última parte de la revoltura, ya que tiende a retener el agregado grueso y permitir que el mortero pase a través de éste. Desde luego que esto plantea problemas, especialmente cuando se trata de mezclas de alto revenimiento o de las que contienen partículas grandes de agregado grueso. Cuando la mezcladora ha estado funcionando a velocidades de agitado, poco antes de descargar debe funcionar a velocidades de mezclado durante unas cuantas revoluciones.

Agregado grueso

Arena

Cemento

Aditivo

## TIEMPO

Figura 2.16 La mejor secuencia de carga es aquella en la cual el agua preceda y siga a todos los materiales sólidos, y los agregados gruesos procedan y sigan al cemento. El aditivo siempre debe entrar en la mezcladora en el mismo punto de la secuencia.

Tiempo y velocidad de mezclado.

La especificación C 94 de la ASTM para concreto mezclado en camión, es tipula pruebas del comportamiento de la mezcladora para determinar la magnitud de mezclado necesaria para mezclar completamente el concreto en un número de revoluciones del tambor que oscila entre 70 y 100.

Cuando se obtiene un mezclado satisfactorio en una máquina, se supone que también se obtendría en otras mezcladoras de igual diseño y condiciones de las cuchillas. Las revoluciones adicionales que excedan el número requerido para el mezclado deben efectuarse a velocidad de agitado.

Para el caso de mezcladoras fijas de una planta central, el tiempo se determina mediante pruebas de comportamiento o con una escala que emplea un minuto en las de una yarda cúbica de capacidad, más 15 segundos por cada yarda cúbica adicional. ( $1 \text{ yd}^3 = 0.76 \text{ m}^3$ ).

Los camiones mezcladores deben funcionar a la velocidad recomendada por el fabricante, la que algunos casos es hasta de 18 rpm. La experiencia ha demostrado que el mejor mezclado se obtiene con velocidades del tambor comprendidas entre 12 y 18 rpm, aun cuando las menores pueden dar buenos resultados en algunas mezcladoras. Las velocidades de más de 18 rpm tienden a ser ineficaces debido a la influencia de la fuerza centrífuga. (rpm = revoluciones por minuto).

La principal influencia sobre la uniformidad del concreto, hasta donde concierne a la rotación de la mezcladora, es el número total de revoluciones a velocidad de mezclado, más que la velocidad de rotación.

La velocidad de agitado debe ser apenas lo suficiente rápida para impedir que el concreto fragüe o se estratifique en el tambor. Los fabricantes recomiendan que ésta esté comprendida entre 2 y 6 rpm, siendo usualmente la menor la más adecuada.

### Control del agua.

El volumen total de agua en la revoltura de un concreto incluye el agua libre de los agregados, la que contienen los aditivos, el hielo cuando se utiliza en tiempo de calor y la que se agrega a la revoltura. La Norma No. 26-13 del U.B.C. estipula que el agua agregada se mida con una precisión del 1% del total requerido para el mezclado, y la proveniente de todas las fuentes de la revoltura se mida con una precisión de más o menos un 3% del total especificado.

Las especificaciones de la obra pueden variar ligeramente en sus requerimientos con respecto al control del agua. La mayoría de las especificaciones se ajustan ya sea a los requerimientos de ASTM o bien a los del U.B.C., que son idénticos. Algunas especificaciones han establecido que toda el agua adicional (o sea, además de la que contienen los agregados), debe adicionarse en la planta, ya que no debe transportarse en el camión, o bien, se tome de fuentes exteriores al sitio de la estructura. Estas restricciones afortunadamente rara vez se encuentran en la actualidad, ya que ahora prácticamente todas las especificaciones aceptan los requerimientos del código sin modificación alguna.

El agua para el lavado es necesaria para limpiar ocasionalmente el tambor de la mezcladora. Los métodos de control del agua para lavado, algunas veces son fuente de controversias en la obra. Si las especificaciones permiten que se transporte en el camión mezclador, debe estar en un tanque especial o en un compartimento totalmente separado del agua para el mezclado.

Algunas veces, el agua para el lavado se retiene en el tambor de la --

mezcladora para utilizarla como parte de la de mezclado para la revoltura subsecuente. Técnicamente no hay objeción grave con respecto a -- este procedimiento y está permitido por el código, siempre y cuando -- pueda medirse el agua con precisión; no obstante, hay algunas limita-- ciones por lo que puede ser imposible efectuar la medición del agua. -- Si puede establecerse un control como función de la planta dosificadora, como lo han sugerido algunos operadores, por lo general, no se sus-- citaría problema alguno.

Un camión revolvero moderno transporta el agua necesaria para las ope-- raciones y está provisto de un dispositivo para medirla. El sistema de agua está diseñado para que ésta pueda entrar a presión en el extremo-- acampanado del tambor mezclador a través de un eje hueco, lo que permi-- te obtener una distribución óptima a través de toda la revoltura que -- se encuentra en el tambor. Es defícil distribuir el agua satisfactoria-- mente, pero no imposible, si se esparce dentro del canalón con una man-- guera.

Un procedimiento común consiste en introducir tan sólo parte del agua-- adicional total en la planta dosificadora y agregar después la necesaria cuando el camión llegue al lugar de la obra, a fin de que el con-- creto tenga el revenimiento especificado. Este procedimiento es total-- mente aceptable siempre y cuando el volumen total de agua en la revoltura no exceda de la relación agua - cemento máxima permisible y, además, que se controle y se supervise de manera adecuada. Siempre que se agregue agua adicional al concreto, la mezcladora debe operar a veloci-- dad de mezclado, por lo menos durante 20 revoluciones, después de ha-- ber introducido la cantidad total.

Ocasionalmente un capataz (sobrestante) puede solicitar que se agregue agua adicional a la revoltura, ya sea antes de descargar el concreto, -- o más a menudo, después de hacerlo, aduciendo que no puede colocarse o terminarse; esto no debe permitirse. Toda el agua que se introduzca en la mezcla después de haber salido de la planta dosificadora debe ser -- anotada por el conductor del camión en la boleta de entrega. En todo -- caso, no debe exceder de la relación agua - cemento o del revenimiento

especificado.

Boletas de carga.

Cada carga de concreto se acompañara de una boleta de carga. Véase figura 2.19.

STATE OF CALIFORNIA  
DEPARTMENT OF PUBLIC SAFETY  
DIVISION OF HIGHWAYS

Livingston • Graham

(L)

PLANT: SUN VALLEY 19040 1111  
00000 12345 452 31987

L + G CONSTR CO

11720 WICKS ST., SUN VALLEY  
713678 2350 6.0

180 126.9% S-475  
4230 P22300N 7.5  
9825  
5850  
7560  
1710

1954 Oct 28

LIVESTON & GRAHAM  
7.5

110

270  
668  
452 31487

RECEIVED BY Jack Jones

DELIVERY AND BILLING COPY

Figura 2.19 Ejemplo del tipo de boleta de carga que debe acompañar en la carga de concreto premezclado.

El código establece que se suministre dicha boleta y por lo menos se requiere de la siguiente información:

- 1.- Nombre de la planta dosificadora.
- 2.- Número de serie de la boleta.
- 3.- Fecha y número del camión.
- 4.- Nombre del contratista.

- 5.- Designación específica del trabajo (nombre y ubicación).
- 6.- Clase específica o designación del concreto estipulado en las especificaciones del trabajo.
- 7.- Cantidad de concreto (metro cúbico).
- 8.- Tiempo en que se cargaron y se mezclaron por primera vez el cemento y los agregados.

En caso de ser requerida, también debe proporcionarse la información adicional determinada y estipulada por las especificaciones del trabajo, que pueden incluir:

- 1.- Lectura del contador de revoluciones al agregar agua por primera vez.
- 2.- Firma o iniciales del representante de la planta de premezclado.
- 3.- Tipo y marca del cemento.
- 4.- Cantidad de cemento.
- 5.- Contenido total de agua según el productor (relación A/C).
- 6.- Agua agregada por el receptor del concreto y sus iniciales.
- 7.- Aditivos y cantidad de éstas.
- 8.- Tamaño máximo del agregado.
- 9.- Pesos de los agregados fino y grueso.
- 10.- Indicación de que todos los ingredientes se ajusten a lo certificado y aprobado previamente.

Es de especial importancia que las adiciones de agua a la carga se detallen convenientemente por lo que respecta a cantidad, tiempo y persona que las solicitó. Un procedimiento común consiste en elaborar la boleta por duplicado, entregando una copia al comprador y devolviendo la otra a la planta por medio del conductor del camión, después de que el sobrestante o el superintendente hayan recibido de conformidad la carga y tomado nota de la cantidad de agua adicional.

### Mezclado prolongado.

Ocasionalmente un camión mezclador puede sufrir demoras dando como resultado que la carga de concreto se retenga por mayor tiempo que el límite estipulado. Si las especificaciones son flexibles en cuanto a este límite de tiempo, puede ser posible utilizar la carga siempre y cuando el concreto no se haya dañado.

Algunas pruebas realizadas por cierto número de investigadores han podido confirmar que un mezclado prolongado, hasta por un período de varias horas, adicionando el agua necesaria para mantener el revenimiento, origina una reducción de la resistencia y de otras propiedades necesarias del concreto. Entre mayor es el tiempo de mezclado, con las consecuentes adiciones de agua para mantener el revenimiento, menor es la resistencia del concreto.

Prácticamente en todas las pruebas en las cuales el concreto fue templado y recalibrado agregando agua para mantener el revenimiento, su resistencia mostró la misma relación con respecto a la relación agua - cemento, después de cada adición de agua, ya que el concreto había sido elaborado con base en la relación agua - cemento. Véase figura 2.20.

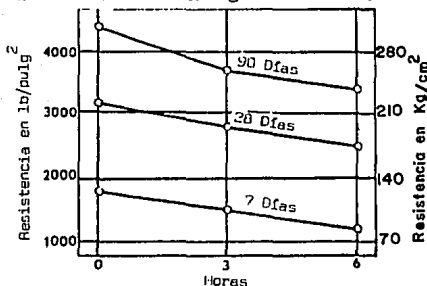


Figura 2.20 El mezclar durante mucho tiempo el concreto, agregando agua para mantener el revenimiento, origina una pérdida de resistencia y de otras propiedades.



El mezclado de larga duración, ya sea continuo o intermitente, sin adición de agua para mantener el revenimiento, origina una reducción de éste o la rigidización del concreto. A una temperatura del aire de  $60^{\circ}$  el concreto con revenimiento de 4 a 5 pulgadas perderá inmediatamente después del mezclado hasta 2 pulgadas de revenimiento; a  $80^{\circ}$  la pérdida será de 3 o más pulg. Los resultados de una serie de pruebas se indican en la figura 2.21.

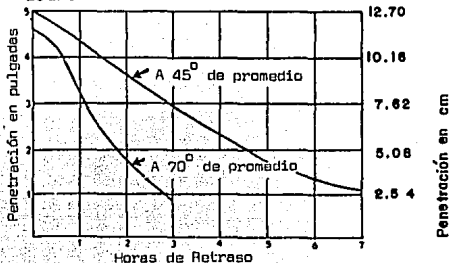


Figura 2.21 La pérdida de revenimiento es más rápida a temperaturas más altas del aire si no se agrega agua al concreto.

El mezclado de larga duración sin calibrar la mezcla con agua adicional para mantener el revenimiento, usualmente origina una resistencia a la compresión del concreto ligeramente elevada, siempre y cuando permanezca lo suficientemente trabajable para poder colocarlo en cilindros. Dependiendo de la temperatura, los materiales y las condiciones de la obra, un límite práctico puede ser alrededor de 3 horas.

El contenido de aire en el concreto con aire incluido disminuye conforme aumenta el tiempo de mezclado, como se muestra en la tabla 2.5.

El concreto se mezcló continuamente en un camión revolver y las muestras se tomaron en la forma que se indica. Después de 300 revoluciones se agregó una pequeña cantidad de agua, lo que incrementó ligeramente el revenimiento, pero el contenido de aire siguió bajando con el mezclado adicional.

Por lo general, las demoras influyen desfavorablemente sobre el concreto

EFFECTO DEL MEZCLADO DE LARGA DURACION SOBRE EL  
CONTENIDO DE AIRE

Número de Revoluciones	Revenimiento cms.	Porcentaje de Aire
60	7.87	3.2
100	8.64	3.1
200	3.05	2.7
300	2.03	2.5
Agua agregada para recuperar parcialmente el revenimiento		
320	4.6	2.1

Tabla 2.5.

to mezclado. La única posible excepción es el mezclado de larga duración ya sea continuo o intermitente, sin adición de agua. El concreto será más rígido o perderá revenimiento, pero la resistencia puede ser ligeramente más elevada. La temperatura del concreto subirá y el contenido de aire bajará.

La trabajabilidad del concreto limitará la duración tolerable de la demora. La resistencia a la flexión y la durabilidad resultan afectadas casi en la misma forma que la resistencia a la compresión.

Las prácticas de construcción adecuadas al igual que las especificaciones, siempre impondrán un límite al período de tiempo durante el cual el cemento puede estar expuesto a la humedad en una dosificación o en una mezcladora. Un período de una o una hora y media se acepta generalmente en la industria como un límite práctico, pero éste debe ser flexible, según lo permitan o lo requieran las condiciones de la obra. La temperatura, el tipo de cemento, el uso de aditivos y las condiciones de exposición influyen sobre los límites aceptados.

#### Mezclado retardado.

En ocasiones surge alguna situación en la cual, debido a la distancia del acarreo, parece ser necesario dosificar los agregados en la mezcladora, quizás con parte del agua, introduciendo posteriormente el cemento para que se deposite sobre los demás materiales. Si después de una larga demora, hasta de varias horas, el camión se conduce al sitio de la obra, el resto del agua puede agregarse antes de que parta el camión en cuyo caso la carga se mezcla en tránsito, o bien, se agrega el agua y se efectúa el mezclado al llegar a la obra. Puede requerirse de un mezclado adicional con el fin de obtener una revoltura homogénea de concreto e incluir una pequeña cantidad adicional de cemento para compensar la pérdida parcial de éste por hidratación al estar en contacto con superficies húmedas durante la demora. Cuando ésta sea de dos o tres horas, debe agregarse un 6% de cemento y otro 3% por cada hora adicional. La demora total no debe exceder de siete u ocho horas y entonces el calor debe de ser menor.

Este procedimiento es contrario a la interpretación estricta del Uniform Building Code. Sin embargo, desde el punto de vista de la calidad cuando se efectúa bajo una supervisión y un control estrictos, es posible elaborar un concreto aceptable. Cuando se propone este procedimiento, debe ser analizado, en primer lugar, a la luz de la Sección 106 -- del Uniform Building Code y de las especificaciones respectivas. A menudo se encontrará que algún otro método, menos peligroso que el propuesto, puede ser conveniente en el caso de las demoras. La aprobación de métodos o procedimientos alternativos debe prevenir del ingeniero o del arquitecto que tenga a su cargo el proyecto, al igual que del Building Official.

Se ha puesto en práctica el mezclado retardado y las pruebas han indicado que los resultados pueden ser satisfactorios si se realiza con el cuidado suficiente. No obstante, es una técnica que no debe practicarse regularmente.

#### Manejo de los desperdicios.

En cualquier tipo de operación de premezclado existe invariablemente -- el problema de eliminar el agua para lavado y el material de desperdicio que es resultado de la limpieza de los tambores de la mezcladora. En varias plantas el procedimiento seguido es introducir agua de lavado en la mezcladora, permitiendo que gire el tambor durante unas cuantas revoluciones y posteriormente descargarla en un resumidero. El agua pasa a un tanque o estanque de sedimentación y se desperdicia o bien vuelve a ser utilizada para lavar o mezclar. Los resumideros y -- los tanques deben limpiarse periódicamente y el desperdicio se tira en un vertedero.

El costo del manejo del desperdicio, la pérdida económica por concepto de material posiblemente reutilizable y las restricciones impuestas -- por la contaminación ambiental, últimamente han conducido a algunos -- operadores a idear medios para aprovechar parte de los desperdicios. -- El utilizar concreto de desperdicio para construir bloques para patios, escalones y otros adminículos similares beneficia en cierta medida, pe

ro el mercado para estos materiales es limitado y subsiste el problema del manejo de este material de desperdicio. En muchas plantas se ha resuelto este problema instalando hélices o mallas que separan la arena y la grava reutilizables, pasando el agua a un resumidero de sedimentación donde permanece varias horas o durante toda la noche y una vez sedimentada, se bombea el agua limpia a un tanque de almacenamiento de agua limpia del cual puede utilizarse nuevamente para lavar los camiones. Parece ser que hay un mercado listo para el agregado recuperable y el único desperdicio es el lodo (residuo) que debe retirarse del resumidero.

### Responsabilidades.

En toda obra donde se esté entregando concreto premezclado las responsabilidades se dividen entre el proveedor del material, el contratista, el inspector, las instituciones de ensayos y el ingeniero o arquitecto. Particularmente esta distribución de responsabilidades entre el productor del concreto y el contratista debe definirse claramente. Cuando se hace esto se facilitan las características del control de calidad, de la realización de ensayos y de la inspección. La división de las dos áreas de responsabilidades queda determinada por la transferencia del material que transporte el fabricante que lo entrega con destino al equipo del contratista que lo manejará.

La National Ready - Mixes Concrete Association (Asociación Nacional de Concreto Premezclado) y Associated General Contractors of America (Contratistas Generales Asociados de América) publicaron una declaración conjunta de las responsabilidades a este respecto, la cual se transcribe a continuación:

"El concreto que se surte para la construcción es un producto perecedero que requiere de la cooperación del productor del concreto premezclado y del contratista para asegurar un comportamiento satisfactorio. El propósito de esta declaración es delinear las funciones de estas dos partes y definir sus respectivas áreas de responsabilidad. Se supone que los requerimientos para el concreto están estipulados apropiadamen

te en las especificaciones y que no es función del contratista o del productor superar deficiencias o descuidos en el diseño de la estructura.

La construcción de concreto incluye dos fases que corresponden a las áreas de responsabilidades del productor y del contratista. La fase de la producción pertenece al operador del concreto premezclado y abarca las operaciones de obtención de materiales e ingredientes satisfactorios, combinarlos en las proporciones adecuadas, mezclarlos para formar un producto homogéneo y poner la mezcla en manos del contratista, en tales condiciones que pueda ser colocado convenientemente. La segunda fase, que es de incumbencia del contratista, incluye el movimiento del concreto a los moldes, su apropiada colocación y consolidación, las operaciones de acabado, su protección y curado adecuados para asegurar el desarrollo del potencial de calidad. La transferencia del concreto en el transporte que entrega el producto al equipo del contratista que lo manejará, establece la división entre las dos áreas de responsabilidad. Las funciones y responsabilidades específicas de ambas partes se describen a continuación".

#### Responsabilidades del productor.

El productor del concreto premezclado deberá:

- 1.- Utilizar material: agregado, cemento, agua y aditivos, si se requieren, que se ajuste a los requerimientos de las especificaciones y que pueda producir concreto de la calidad requerida.
- 2.- Contar con el personal y el equipo adecuados para asegurar la producción continua a una velocidad que se ajuste a las necesidades del trabajo. El equipo debe conformarse a/y ser operado dentro de los requerimientos de las especificaciones por lo que respecta a características tales como exactitud de la medición, velocidad, cantidad de mezclado y regulación por volumen.
- 3.- Proporcionar y dosificar todo el concreto para que se ajuste a los límites de las especificaciones. Dependiendo de la naturaleza de éstas, los límites que deben observarse con una o una combinación

de lo siguiente:

- a) Cantidad de cemento por volumen unitario del concreto.
  - b) Relación de la cantidad de agua de mezclado con la cantidad de cemento.
  - c) Consistencia, por lo general, medida como revenimiento.
  - d) Contenido de aire.
  - e) Relaciones específicas o cantidades de ingredientes.
  - f) Resistencia (Nota: La responsabilidad del productor con respecto a la resistencia se refiere solamente a mediciones llevadas a cabo de acuerdo con métodos reconocidos para evaluar la calidad del concreto entregado).
- 4.- Cooperar con los servicios de inspección haciendo convenientemente accesibles todas las instalaciones y operaciones para su examen y proporcionando muestras para la realización de ensayos.

#### Responsabilidades del contratista.

El contratista deberá:

- 1.- Proporcionar al productor con la debida anticipación toda la información necesaria para establecer mezclas y costos, incluyendo limitaciones de materiales, proporciones, resistencia y consistencia, localización y naturaleza del proyecto, cantidad requerida de concreto, velocidad y método de colocación y condiciones excepcionales previstas.
- 2.- Organizar la colocación del concreto para poder anticipar el programa de entregas y la descarga rápida después de la entrega.
- 3.- Realizar todas las operaciones de manejo, colocación, consolidación, protección y curado de conformidad con los requerimientos de las especificaciones, para asegurar la calidad adecuada del producto terminado.
- 4.- Cooperar para facilitar la inspección, cuando se requiera, contratar personal competente para muestreos y ensayos del concreto.

### Responsabilidades conjuntas.

Salvo en proyectos importantes donde debe contarse con elementos de -- inspección especializados, las operaciones de colocación del concreto, por lo general, no se encuentran bajo vigilancia constante. El productor y el contratista deben encargarse de que se mantenga un control satisfactorio.

Es particularmente importante evitar el uso excesivo de agua en el mezclado. Los elementos del contratista deben estar informados de los peligros inherentes y convenientemente disciplinados para evitar un alto revenimiento.

Al mismo tiempo, el productor debe oponerse, por escrito y recabando -- la firma correspondiente, al uso de concreto de alto revenimiento debido al requerimiento de agua adicional que exceda de la necesitada para producir el revenimiento especificado. Es indispensable la cooperación autorizada de parte del contratista para que se observe este procedimiento.

La observación de prácticas satisfactorias para controlar la cantidad de mezclado y el tiempo transcurrido entre la dosificación y la descarga, requiere de la atención tanto del contratista como del productor. No se tropieza con dificultad alguna si los programas de pedidos y entregas son compatibles con la capacidad de los medios de colocación.

Todas las partes están comprometidas a vigilar que se realicen apropiadamente los ensayos del concreto. Particularmente en el caso de la resistencia, los errores de medición pueden conducir a controversias injustas sobre la calidad, que resultan en re-ensayos costosos, demoras o recolocación. Las violaciones a las prácticas estándar de muestreo y ensayo no deben ser toleradas ni por el productor del concreto premezclado, ni por el contratista.



# CAPÍTULO 3

## DISEÑO DE MEZCLAS

### Control de calidad.

De la figura 3.13 se deduce que mientras menor sea la diferencia entre la resistencia mínima y la resistencia media de la mezcla, menor será el contenido de cemento que se requiere emplear. El factor que controla esta diferencia para concreto de determinado nivel de resistencia es el control de calidad, lo cual significa el control de la variación de las propiedades de los componentes de la mezcla, así como el control de la precisión de todas las operaciones que afectan la resistencia o consistencia del control: dosificación, mezclado, colado, curado y pruebas.

Las variaciones en la resistencia del concreto surgen también de mezclas inadecuadas, insuficiente compactación, curado irregular y variaciones en los procedimientos de prueba.

Es obvia la necesidad de controlar estos factores en la obra.

Los cambios en el contenido de humedad del agregado, también afectan seriamente la resistencia del concreto, a menos que estén cuidadosamente compensados por la cantidad de agua añadida. Para minimizar estos cambios, los apilamientos de agregado deben estar distribuidos de manera que puedan drenarse antes de emplearlos; asimismo, el operario de la mezcladora debe estar bien adiestrado para mantener una trabajabilidad constante en la mezcla.

El control de calidad se toma a veces como sinónimo de producción de concreto de alta resistencia. En realidad esto no es cierto, ya que el concreto de baja resistencia puede fabricarse bajo buen control, lo que ciertamente se practica en el caso de la construcción con concreto masivo, en la que lograr grandes cantidades de concreto de baja variabilidad da como resultado grandes ahorros. El grado de control se evalúa a partir de la variación en los resultados de las pruebas; para ello se dispone de diversas técnicas estadísticas.

El control de calidad es especialmente interesante en el caso del concreto premezclado. En Suecia éste es tan bueno que se ha propuesto no

exigir pruebas en obra de la resistencia del concreto proveniente de plantas aprobadas. Los datos sobre estas plantas se proporcionan en la tabla 3.17.

El valor permisible de las "series de valores medios" no trasladados, tabla anterior, inferior a la clase de resistencia es del 10%, pero se reduce al 5% cuando las pruebas son más frecuentes. Por lo tanto, la clase de resistencia puede considerarse como la resistencia característica del 5%.

Los valores medios de desviación estándar para diferentes resistencias características medidas en las plantas suecas de premezclado en 1975 son los siguientes:

clase de resistencia	153	255	306	408	510	612
desviación estándar, Kg/cm <sup>2</sup>	32.64	33.7	35.7	37.7	34.5	33.7

En la figura anterior se proporciona una guía de la distribución de la desviación estándar para toda clase de concreto.

Finalmente, no debe olvidarse que el control incluye la supervisión y que la falta de ésta, junto con una mano de obra inferior, pueden todos los esfuerzos del diseño y la especificación de la mezcla.

Como dijo Glenville: "La diferencia entre la mano de obra y supervisión buena y mala puede estar representada por la diferencia entre una vida (del concreto) casi indefinida y una vida de apenas unos cuantos años".

### Durabilidad.

El concreto de resistencia razonable, correctamente colado, es durable en condiciones ordinarias pero, cuando no es necesaria una resistencia elevada y las condiciones de exposición son tales que es vital una gran durabilidad, es el requisito de durabilidad el que determina la relación agua/cemento que debe emplearse. Algunos valores recomendables de relación agua/cemento máxima para diferentes condiciones de exposición se proporcionan en la tabla 3.18.

El enfoque de la norma ACI Structural Concrete for Buildings 301-72 --

(revisada en 1975) es limitar la relación agua/cemento del concreto expuesto a congelación y deshielo o a sales deshelantes a 0.53 y requiere el empleo de aire incluido. En el caso de concreto de agregado ligero, donde la cantidad de agua efectiva no es segura, se especifica una resistencia mínima de  $211 \text{ Kg/cm}^2$  junto con la inclusión de aire.

El British Code of Practice para el uso estructural del concreto CP 110:1972 proporciona el contenido mínimo de cemento para diversas condiciones de exposición. Véase tabla 3.19 así como el contenido mínimo de cemento y la relación máxima agua/cemento para diferentes concentraciones de sulfatos agresivos. En Estados Unidos, en el caso de soluciones agresivas, la relación agua/cemento máxima requerida es de 0.44 para concreto normal y la resistencia mínima es de  $281 \text{ Kg/cm}^2$  para concreto de agregado ligero.

La relación agua/cemento es el factor fundamental que controla la durabilidad, porque es éste el que determina la permeabilidad de la pasta de cemento y, por lo tanto, en gran parte la del concreto. La resistencia no es un medio adecuado para asegurar la durabilidad, porque no sólo depende de la relación agua/cemento, sino también de las propiedades del cemento.

Así pues, la resistencia, el tipo de cemento y la durabilidad determinan entre sí la relación agua/cemento requerida, la cual es una de las cantidades esenciales en el proporcionamiento de la mezcla. Lo que es importante es que dicha relación agua/cemento se establezca antes de iniciar el diseño estructural: cuando esta relación es inferior a la exigida por consideraciones estructurales, puede aprovecharse el empleo de concreto de grado más elevado en los cálculos de diseño.

#### **Trabajabilidad.**

Hasta aquí hemos considerado los requisitos para que el concreto sea satisfactorio en su estado duro, pero, como se señaló anteriormente, -

al manejarlo y colarlo, sus propiedades son igualmente importantes. Un factor esencial en esta etapa es una trabajabilidad satisfactoria.

La trabajabilidad que se considera conveniente depende de dos factores. El primero es el tamaño de la sección que va a colarse y la cantidad y espaciamiento del acero de refuerzo; el segundo es el método de compactación por emplear.

Es obvio que cuando la sección es angosta y complicada o cuando tiene numerosas esquinas o partes inaccesibles, el concreto debe tener una elevada trabajabilidad para poder lograr una plena compactación con una cantidad razonable de esfuerzo. Lo mismo se aplica a elementos con secciones o aditamentos de acero empotrados o a casos en que la cantidad y el espaciamiento del acero de refuerzo hacen difícil el colado y la compactación. Puesto que las características de la estructura se determinan durante el diseño, el ingeniero que diseña la mezcla se enfrenta a requisitos fijos y tiene pocas posibilidades de elección. Por otra parte, cuando no se tiene dichas limitaciones, la trabajabilidad puede elegirse dentro de límites bastante amplios, pero los medios de compactación deben decidirse de acuerdo con lo anterior; es importante que el método de compactación prescrito se emplee durante todo el desarrollo de la construcción. Véase tabla 3.20 en donde se proporciona la trabajabilidad en diferentes tipos de construcción. La tabla 3.21a también es importante.

Una propiedad estrechamente relacionada con la trabajabilidad es la cohesión. Esta depende en gran medida de la proporción de partículas finas en la mezcla y, especialmente en las mezclas pobres, debe prestarse atención a la granulometría del agregado localizado en el lado fino de la escala. Generalmente es necesario hacer algunas mezclas de prueba con diferentes proporciones de agregados de fino a grueso para encontrar una mezcla con la cohesión adecuada.

Aunque todas las mezclas deben ser cohesivas para poder obtener un concreto uniforme y bien compactado, la importancia exacta de la cohesión varía. Por ejemplo, cuando el concreto tiene que ser acarreado a tra--

vés de una distancia larga, se maneja en una canaleta o tiene que pasar por entre el acero de refuerzo hasta llegar posiblemente a una esquina casi inaccesible, es esencialmente que la mezcla tenga verdadera cohesión.

En los casos en que las condiciones que conducen a la segregación son menos probables la cohesión es de menor importancia, pero nunca debe emplearse una mezcla que se segrega fácilmente.

#### Tamaño máximo del agregado.

En concreto reforzado, el tamaño máximo de agregado que puede emplearse está regido por el ancho de la sección y el espaciamiento del acero de refuerzo. Con esta estipulación, generalmente se ha considerado conveniente emplear el mayor tamaño posible de agregado. No obstante, ahora parece que la mejora de las propiedades del concreto con el incremento en el tamaño del agregado, no supera los 40 mm, de manera que el empleo de tamaños mayores puede no ser ventajoso.

Además, el empleo de un tamaño máximo mayor significa que debe mantenerse mayor número de apilamientos y que las operaciones de dosificación se vuelven, por consiguiente, más complicadas. Esto puede ser antieconómico en obras pequeñas, pero cuando van a colarse grandes cantidades de concreto el costo adicional del manejo puede compararse mediante la reducción del contenido de cemento de la mezcla.

La elección del tamaño máximo también puede regirse por la disponibilidad del material y por su costo. Por ejemplo, cuando se criban diversos tamaños de un banco de agregados, por lo general se prefiere no rechazar los tamaños más grandes, siempre que esto sea aceptable en términos técnicos.

#### Granulometría y tipo de agregado.

A veces, es más económico emplear el material disponible en la localidad, aun cuando se requiera una mezcla más rica (siempre que produzca un concreto libre de segregación), en vez de tener que traer de lejos un agregado mejor graduado.

Faltan ciertos elementos para lograr una buena curva de granulometría, no existe ninguna granulometría ideal y puede hacerse un concreto excelente con una amplia gama de granulometría de agregado.

La granulometría influye en las proporciones de la mezcla para lograr una trabajabilidad y relación agua/cemento determinadas; mientras más grueso sea el agregado, más pobre será la mezcla que puede emplearse, pero esto es cierto dentro de ciertos límites, ya que una mezcla muy pobre no tendrá cohesión si no tiene suficiente cantidad de material fino.

Sin embargo, es posible invertir la dirección de la elección: cuando se ha establecido la relación agua/cemento (por ejemplo, una mezcla pobre puede ser esencial en la construcción con concreto masivo) debe elegirse una granulometría que permita hacer un concreto de proporciones agua/cemento agregado dadas y de trabajabilidad satisfactoria. Obviamente, existen límites fuera de los cuales no es posible obtener buen concreto.

La influencia del tipo de agregado también debe tomarse en consideración porque la textura de la superficie, la forma y las propiedades asociadas afectan significativamente la relación agregado/cemento para lograr la trabajabilidad deseada y relación agua/cemento estipulada. Para diseñar una mezcla es esencial, por lo tanto, conocer desde el principio el tipo de agregado disponible.

Una característica importante de un agregado satisfactorio es la uniformidad de su granulometría. En el caso del agregado grueso esto se logra de manera relativamente fácil mediante apilamientos separados para cada fracción de tamaño. Sin embargo, se requiere mucho cuidado para mantener la uniformidad de la granulometría del agregado fino, lo cual es especialmente cuando el contenido de agua de la mezcla está controlado por el operario de la mezcladora con base en una trabajabilidad constante: un cambio súbito hacia una granulometría más fina requiere más agua para preservar la trabajabilidad y esto significa menor resistencia del lote. Asimismo, un exceso de agregado fino puede -

hacer imposible la compactación total, causando de esta manera una reducción en la resistencia.

Así pues, aunque los estrechos límites de la especificación para la -- granulometría del agregado pueden ser indebidamente restrictivos, es esencial que la granulometría del agregado varíe de un lote a otro sólo dentro de los límites prescritos.

### Relación agregado/cemento.

Todos los factores considerados hasta ahora, incluyendo la relación -- agua/cemento, determinan estre sí la relación agregado/cemento de la -- mezcla.

Para obtener una imagen clara de las diversas influencias, debe consul-- tarse de nuevo la figura 3.1.

La elección de la relación agregado/cemento se hace ya sea con base en la experiencia personal del diseñador de mezclas o bien por medio de -- gráficas y tablas preparadas a partir de pruebas extensas en el labora-- torio. Este último método es el que se sigue cuando, por ejemplo, se -- emplean las tablas de la Road Note No. 4. Este es un documento tradi-- cional, pero es muy útil como guía cuando no se dispone de experien-- cias anteriores.

Las relaciones que proporciona la Road note No. 4 se reproducen en la-- tabla 3.23 para agregado de 38.1 mm (1 1/2") de tamaño máximo y en la-- tabla 3.24 para agregado de 19.05 mm (3/4"). Los datos para el agrega-- do de 9.52 mm (3/8") de tamaño máximo fueron obtenidos por McIbtosh y-- Erntroy. El agregado de este tamaño se emplea principalmente en concre-- to prefabricado. No obstante, estos datos se basaron en el empleo de -- agua total añadida a agregado secado al aire, lo cual no constituye -- una base conveniente para el diseño de mezclas.

Debe subrayarse que estas tablas no son más que guías para las propor-- ciones de mezclas deseadas, ya que se aplican totalmente sólo a los -- agregados reales empleados en su derivación. Dichas tablas reconocen -- cuatro tipos de granulometría. Véase figuras 3.16, 3.17 y 3.18 y tres-



formas de agregado, pero en la práctica muchos agregados pueden tener propiedades intermedias que, además, no siempre se evalúan fácilmente. La interpolación es posible, por supuesto, sin olvidar que la influencia del agregado fino es mayor que la del agregado grueso. Esto se aplica a la forma (por ejemplo, cuando se emplea arena natural con agregado grueso triturado) y también a la granulometría; una desviación desde la curva de granulometría tipo hacia el rango más fino de tamaño afecta más la trabajabilidad que la desviación en el extremo grueso de la escala. La Road Note No. 4 recomienda que, cuando hay un exceso de partículas menores que la malla de 600  $\mu$ m (No. 30 ASTM), la cantidad de material que pasa a través de la malla de 4.76 mm (3/16") debe reducirse hasta en un 10% del agregado total. Por otra parte, cuando hay exceso de partículas en el rango de mallas de 1.20 mm a 4.76 mm (No. 16 ASTM - 3/16"), la cantidad de agregado fino debe incrementarse. Sin embargo, el agregado fino con exceso significativo de partículas entre las mallas de 1.20 mm (No. 16 ASTM) y 4.76 mm (3/16") produce una mezcla áspera y puede requerir un contenido de cemento más elevado para obtener una trabajabilidad satisfactoria.

Los datos de las tablas 3.23 y 3.24 están basados en el agua libre o efectiva, es decir, el agua que excede de la absorbida por el agregado. Por esta razón, cuando se aplican los datos tabulados a mezclas de laboratorio, puede ser necesario hacer la corrección apropiada para la absorción.

Cabe señalar también que la conexión entre la relación agregado/cemento (por peso) y la trabajabilidad, indicada en las tablas 3.23 y 3.24, se aplica a los agregados con densidad relativa dada,  $\rho$  únicamente (indica al final de cada tabla). La relación depende, de hecho, del volumen bruto aparente de las partículas sólidas. Por lo tanto, cuando el agregado empleado tiene una densidad relativa  $\rho$ , la relación agregado/cemento de las tablas debe multiplicarse por  $\rho/\rho_c$ . Puede hacerse caso omiso de cualquier variación en la densidad relativa del cemento.

### Técnicas estadísticas.

La forma de la curva típica de distribución de la frecuencia (fig 1a), depende de la variabilidad de los resultados de prueba. Al aumentar la variabilidad, la curva se abate y se alarga. Cuando la variabilidad es pequeña la curva es alta y angosta.

La desviación estándar,  $\sigma$ , es una medida de la variabilidad de los datos. Cuando la distribución de frecuencias es larga y abatida, el valor de  $\sigma$  es grande y cuando es alta y angosta el valor de  $\sigma$  es pequeño.

La desviación estándar se define como la raíz cuadrada del promedio de la desviación al cuadrado de los resultados de prueba y se calcula con la fórmula siguiente:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{(n - 1)}} \quad \dots 1$$

donde:

$X_1, X_2, X_n$  Son valores individuales de las pruebas de resistencia.

$\bar{X}$  Es la resistencia promedio.

$n$  Es el número de pruebas.

### Variaciones de los ensayos.

Las variaciones en la resistencia del concreto, dentro de una mezcla, se encuentran determinando las variaciones de un grupo de cilindros fabricados de esa misma mezcla.

Es conveniente suponer que una muestra de concreto es uniforme y, que por lo tanto, cualquier variación entre especímenes compañeros fabricados de dicha muestra se debe a discrepancias en la fabricación, en el curado o en el ensayo. Los especímenes compañeros fabricados de muestras tomadas de diversas partes de la revoltura pueden usarse, por lo tanto, para diferenciar entre la eficiencia de la mezcladora y la eficiencia de la mezcladora y la eficiencia del ensayo.

$$\sigma_1 = \frac{1}{d_2} \bar{R}$$

$$v_1 = \frac{\sigma_1}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

$\sigma_1$  = Desviación estándar en los ensayos.

$1/d_2$  = Constante que depende del número de cilindros de cada grupo.

$\bar{R}$  = Intervalo promedio de los grupos de cilindros compañeros.

$v_1$  = Coeficiente de variación en los ensayos.

$\bar{X}$  = Resistencia promedio.

### Factores para calcular la desviación estándar en los ensayos.

Número de especímenes	$d_2$	$1/d_2$
2	1.128	0.8865
3	1.693	0.5907
4	2.059	0.4857
5	2.326	0.4299
6	2.534	0.3946
7	2.704	0.3698
8	2.847	0.3512
9	2.970	0.3367
10	3.078	0.3249

### Método para calcular la desviación estándar.

Los cálculos de la ecuación (1) se simplifican si los valores de la desviación  $(X_1 - \bar{X}) + (X_2 - \bar{X}) + \dots + (X_n - \bar{X})$  se agrupan en intervalos. En la figura la todas las pruebas se representan en intervalos de 14 Kg/cm<sup>2</sup>. Por ejemplo, todas las pruebas que quedan entre los 231 y 245 Kg/cm<sup>2</sup> aparecen registradas como de 238 Kg/cm<sup>2</sup>, el cual es el punto medio y promedio supuesto de ese intervalo. Los primeros intervalos de la figura la situados a cada lado de  $\bar{X}$ , tiene una desviación de  $(X_1 - \bar{X})$  de 7 Kg/cm<sup>2</sup> y hay 16 pruebas con esta misma desviación. La cantidad de ---

$(X_1 - \bar{X})$  es la desviación del promedio, tanto por encima como por debajo del promedio (7 menores y 9 mayores).

La solución de la ecuación (1) puede simplificarse todavía más, dividiendo las desviaciones entre 7. En los primeros intervalos (uno mayor y otro menor que  $\bar{X}$ ), la desviación se convierte en 1. El segundo conjunto de intervalos tiene una desviación respecto a  $\bar{X}$  de 3, y así sucesivamente. Con estos ajustes, la ecuación (1) de las pruebas que aparecen en la figura 1A queda como:

$$\begin{aligned} \sqrt{S} &= \sqrt{\frac{16(1)^2 + 10(3)^2 + 12(5)^2 + 4(7)^2 + 3(9)^2 + 1(11)^2}{46 - 1}} \\ &= \sqrt{\frac{966}{45}} \\ &= 32.43 \end{aligned}$$

16 (Es la suma de las pruebas (0) de la primera columna de cada extremo de  $\bar{X}$ ).

10 (Es la suma de las pruebas (0) de la segunda columna de cada extremo de  $\bar{X}$ ).

12 (Es la suma de las pruebas (0) de la tercera columna de cada extremo de  $\bar{X}$ ).

4 (Es la suma de las pruebas (0) de la cuarta columna de cada extremo de  $\bar{X}$ ).

3 (Es la suma de las pruebas (0) de la quinta columna de cada extremo de  $\bar{X}$ ).

1 (Es la suma de las pruebas (0) de la sexta columna de cada extremo de  $\bar{X}$ ).

$$(1)^2 \text{ La desviación entre } \bar{X} \text{ y } 238 = 7 \quad \therefore 7/7 = 1$$

La desviación entre  $\bar{X}$  y 252 = 7

$$(3)^2 \text{ La desviación entre } \bar{X} \text{ y } 224 = 21 \quad \therefore 21/7 = 3$$

La desviación entre  $\bar{X}$  y 266 = 21

$$(5)^2 \text{ La desviación entre } \bar{X} \text{ y } 210 = 35 \quad \therefore 35/7 = 5$$

La desviación entre  $\bar{X}$  y 280 = 35

$$(7)^2 \text{ La desviación entre } \bar{X} \text{ y } 196 = 49 \quad \therefore 49/7 = 7$$

La desviación entre  $\bar{X}$  y 294 = 49

$$(9)^2 = \text{La desviación entre } \bar{X} \text{ y } 182 = 63 \quad \therefore 63/7 = 9$$

$$\text{La desviación entre } \bar{X} \text{ y } 308 = 63$$

$$(11)^2 = \text{La desviación entre } \bar{X} \text{ y } 168 = 77 \quad \therefore 77/7 = 11$$

$$\text{La desviación entre } \bar{X} \text{ y } 322 = 77$$

Pasos para calcular  $\sigma$ .

- 1.- Calcular la resistencia promedio,  $\bar{X}$ , y redondear el resultado con una aproximación de 1 Kg/cm<sup>2</sup>.

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

- 2.- Trácese el número de pruebas de resistencia en intervalos de 14 -- Kg/cm<sup>2</sup>, situando los puntos medios (promedios) de los intervalos -- múltiples iguales a 14 Kg/cm<sup>2</sup> de desviación a partir de  $\bar{X}$ , como se indica en la figura 1b.
- 3.- Las desviaciones de los intervalos respecto al promedio se dan en múltiplos de 14. Dividir estas desviaciones entre 7, lo que convierte las desviaciones en múltiplos de 2.
- 4.- Multiplicar el número de pruebas en los intervalos de igual desviación (superiores e inferiores a partir del promedio) por la desviación al cuadrado.
- 5.- Determinar la suma de los productos del paso 4 y el número total de pruebas.

Ejemplo: La figura 1a modificada, como se muestra en la figura 1b, satisface estas recomendaciones.

$$8 \times 0^2 = 0$$

$$13 \times 2^2 = 52$$

$$11 \times 4^2 = 176$$

$$8 \times 6^2 = 288$$

$$4 \times 8^2 = 256$$

$$2 \times 10^2 = 200$$

$$\text{Suma } 46 \qquad 972$$

- 6.- Sustituir en la ecuación (1) las sumas encontradas en el paso 5 y multiplicar por 7, para convertir de nuevo las unidades de la desviación estándar a  $\text{Kg/cm}^2$ .

$$S = 7 \sqrt{\frac{972}{45}} = 32.5$$

- 8 (Es la suma de las pruebas (0) de la primera columna sobre el eje  $\bar{X}$ ).
- 13 (Es la suma de las pruebas (0) de la segunda columna de cada extremo de  $\bar{X}$ ).
- 11 (Es la suma de las pruebas (0) de la tercera columna de cada extremo de  $\bar{X}$ ).
- 8 (Es la suma de las pruebas (0) de la cuarta columna de cada extremo de  $\bar{X}$ ).
- 4 (Es la suma de las pruebas (0) de la quinta columna de cada extremo de  $\bar{X}$ ).
- 2 (Es la suma de las pruebas (0) de la sexta columna de cada extremo de  $\bar{X}$ ).
- (0)<sup>2</sup> La desviación de la primera columna no hay intervalos  $\therefore = 0$ .
- (2)<sup>2</sup> La desviación entre la primera columna de pruebas ( $\bar{X}$ ) y la segunda de cada extremo de  $\bar{X}$ , existen 2 intervalos.
- (4)<sup>2</sup> La desviación entre la primera columna de pruebas ( $\bar{X}$ ) y la tercera de cada extremo de  $\bar{X}$ , existen 4 intervalos.
- (6)<sup>2</sup> La desviación entre la primera columna de pruebas ( $\bar{X}$ ) y la cuarta de cada extremo de  $\bar{X}$ , existen 6 intervalos.
- (8)<sup>2</sup> La desviación entre la primera columna de pruebas ( $\bar{X}$ ) y la quinta de cada extremo de  $\bar{X}$ , existen 8 intervalos.
- (10)<sup>2</sup> La desviación entre la primera columna de pruebas ( $\bar{X}$ ) y la sexta del extremo derecho de  $\bar{X}$ , existen 10 intervalos.

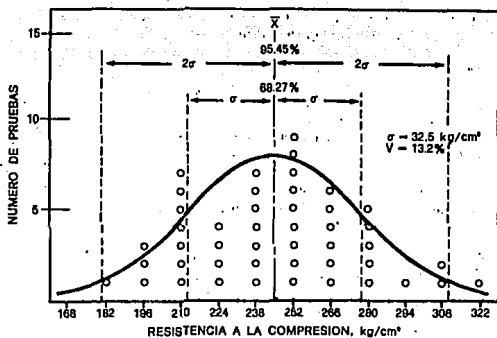


Fig. 1a. Distribución de frecuencia normal de los resultados de pruebas.

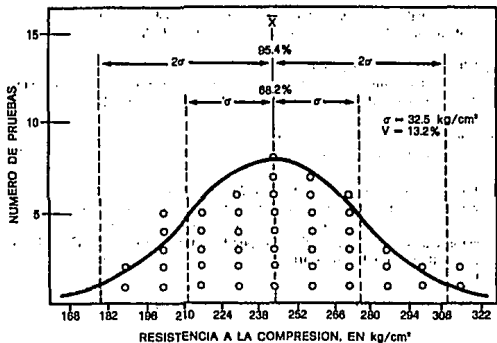


Fig. 1b. Distribución de frecuencia normal de los resultados de pruebas.

EJEMPLO DE EVALUACION DE LA UNIFORMIDAD DE LA PRODUCCION Y VARIACION -  
DE LA PRODUCCION Y VARIACION DE ENSAYES.

Número de muestras	Resistencia a los 28 días Kg/cm <sup>2</sup>		Promedio Kg/cm <sup>2</sup>	Intervalo Kg/cm <sup>2</sup>
	Cilindro 1	Cilindro 2		
1	252	223	237	29
2	249	248	248	1
3	239	257	248	18
4	204	231	217	27
5	233	223	228	10
6	262	238	250	24
7	262	274	278	8
8	267	248	267	39
9	258	256	257	2
10	198	218	208	20
11	206	242	224	36
12	213	224	218	11
13	225	203	214	22
14	267	223	245	44
15	276	261	268	15
16	220	207	213	13
17	205	189	197	16
18	253	225	239	28
19	311	280	295	31
20	271	264	267	7
21	307	252	280	55
22	249	265	257	16
23	213	238	226	25
24	239	245	242	6
25	195	227	211	32
26	216	231	223	15
27	225	232	228	7
28	244	231	233	13
29	202	213	208	11
30	267	245	256	22
31	263	266	267	2
32	321	306	314	15
33	252	259	256	7
34	246	228	237	18
35	234	269	252	35
36	211	244	228	33



37	220	206	213	14
38	176	197	186	21
39	236	252	244	16
40	295	270	282	25
41	266	224	245	42
42	210	214	212	4
43	247	234	240	13
44	276	228	252	48
45	251	241	246	10
46	274	263	268	11
TOTAL			11 129	917

$$n = 46$$

$$\Sigma \bar{X} = 11,129$$

$$\bar{X} = \Sigma \bar{X} / n = 11,129 / 46 = 242$$

$$\Sigma \bar{X}^2 = 123 854,640$$

$$\frac{\Sigma \bar{X}^2}{n} = 123 854,640 / 46 = 2 692,492.2$$

$$\bar{X}^2 = 58,564$$

$$\Sigma \text{intervalo} = 917$$

$$\bar{R} = \Sigma \text{intervalo} / n = 917 / 46 = 20.0$$

$$\sigma_1 = 1/d_2 \bar{R} = 0.8865 \times 20.0 = 17.73$$

$$v_1 = \sigma_1 / \bar{X} \times 100 = 17.73 / 242 = 7.3\%$$

$$\sigma = 27.47$$

$$\sigma^2 = 754.60$$

$$v = \sigma / \bar{X} \times 100 = 27.47 / 242 \times 100 = 11.35\%$$

CONSIDERACIONES BASICAS.

Costo.

El costo de la fabricación y el colado del concreto, igual que en cualquier otro tipo de construcción, está constituido por el costo de los materiales, el de la planta y el de la mano de obra. La variación en el costo de los materiales se debe a que el cemento es varias veces más costoso que el agregado, por lo cual es natural en el diseño de mezclas tratar de obtener una mezcla lo más pobre posible. El empleo de mezclas relativamente pobres confiere también considerables ventajas técnicas, no sólo en el caso de concreto masivo, en el que la generación de excesivo calor de hidratación puede causar agrietamiento, sino también en concreto estructural en el que una mezcla rica puede propiciar gran contracción y agrietamiento. Por lo tanto, es obvio que no es conveniente preferir las mezclas ricas, aun cuando el costo no tenga importancia.

Al estimar el costo del concreto es esencial considerar también la variabilidad de su resistencia, ya que es la resistencia "mínima" la que especifica el diseñador de la estructura y es, de hecho, el criterio de aceptación del concreto en tanto que el costo real del concreto está relacionado con los materiales que producen cierta resistencia media.

Esto se relaciona mucho con el problema del control de calidad, pero no hay duda respecto a que el control de calidad representa gastos, tanto en supervisión como en equipo de mezclado; y hay ocasiones en que puede no justificarse un diseño de mezcla cuidadoso y el control de calidad. La decisión respecto a la extensión del control de calidad es con frecuencia un problema económico y depende, por lo tanto, del tamaño y tipo de la obra. Es de suma importancia que el agregado de control se estime al iniciar los cálculos de diseño de mezcla para reconocer la diferencia entre las resistencias media y mínima o característica.

La trabajabilidad de la mezcla influye significativamente en el costo-

de la mano de obra: una trabajabilidad inadecuada para los medios de compactación disponibles da como resultado un elevado costo de mano de obra (o un concreto insuficientemente compactado). Aun con equipo mecánico eficaz, por ejemplo en la construcción de caminos, el costo de colado de mezclas extremadamente secas es muy elevado. El costo exacto de la mano de obra depende de los detalles de organización de la obra y del tipo de equipo empujando, pero estos factores no se toman en cuenta en este análisis del diseño de mezcla.

Especificaciones.

En el pasado, la especificación para concreto prescribía las proporciones de cemento y agregados fino y grueso. De esta manera se producían ciertas mezclas tradicionales, pero debido a la variación de los componentes de la mezcla, los concretos con proporciones fijas de cemento/agregado y una trabajabilidad dada variaban ampliamente en cuanto a su resistencia. Por esta razón, en muchas especificaciones se incluyó, posteriormente, la resistencia mínima a la compresión. Esto hace la especificación indebidamente restrictiva cuando se dispone de materiales de buena calidad, pero en otros casos puede ser imposible lograr una resistencia adecuada empleando las proporciones prescritas para la mezcla.

Por esta razón, algunas veces se agregan a los demás requisitos ciertas cláusulas que establecen la granulometría del agregado y la forma de las partículas. No obstante, la distribución de los agregados naturales en muchos países es tal, que con frecuencia estas restricciones son antieconómicas. Además, al cumplir con los requisitos de resistencia, dosificación de la mezcla, granulometría y forma de agregado, no se puede economizar en el diseño de la mezcla y se hace imposible progresar en la producción de mezclas baratas y satisfactorias con base en el estudio de las propiedades del concreto.

No es sorprendente, por lo tanto, que la tendencia moderna sea restringir menos las especificaciones. Estas estipulan los valores limitantes pero a menudo también proporcionan como guía las proporciones de mez-

cia tradicionales para beneficio de aquellos contratistas que no deseen ejercer un alto grado de control. Los valores límite pueden cubrir una amplia gama de propiedades; las más usuales son las siguientes:

- 1.- Resistencia "mínima" a la compresión necesaria por consideraciones estructurales.
- 2.- Relación máxima agua/cemento y de contenido máximo de cemento y, en ciertas condiciones de exposición, un contenido mínimo de aire incluido para proporcionar la durabilidad adecuada.
- 3.- Contenido máximo de cemento para evitar el agrietamiento debido a ciclos de temperatura en concreto masivo.
- 4.- Contenido máximo de cemento para evitar el agrietamiento por contracción en condiciones de exposición de muy poca humedad.
- 5.- Densidad mínima para presas de gravedad y estructuras similares.

Los requisitos mencionados deben, entonces, satisfacerse en los cálculos de diseño de mezcla y forman, de hecho, la base para la selección y dosificación de los componentes de la mezcla.

El British Code of Practice for the Structural use of Concrete CP 110-1972, ha superado a sus predecesores en este enfoque, es decir, en el empleo de mezclas diseñadas. Virtualmente, es la norma actual. Por otra parte, las mezclas estándar (prescritas en el reglamento por cantidades de componentes secos por metro cúbico y por revenimiento) pueden emplearse sólo en obras muy pequeñas, cuando la resistencia del concreto a los 28 días no excede de  $309 \text{ Kg/cm}^2$ , y cuando no se emplean aditivos ni aire incluido los cementos empleados en estas mezclas estándar o prescritas son los cementos Portland normal, de fraguado rápido, así como los cementos Portland blancos y el cemento Portland de alto horno; para una resistencia de  $204 \text{ Kg/cm}^2$  o más; también puede emplearse cemento Portland sulfato-resistente. No son necesarias las pruebas de control, si se confía en el peso de los componentes.

Las proporciones prescritas para la mezcla están estipuladas en la 53-

5328: 1976 y se reproducen en las siguientes tablas 3.1 y 3.2.

La BS 5328: 1976 (que no es aplicable a concreto prefabricado) especifica mezclas diseñadas, es decir, aquéllas en las que el comportamiento lo especifica el usuario, pero las proporciones de la mezcla las -- determina el productor del concreto, con excepción de un contenido mínimo de cemento que puede especificarse. La resistencia característica específica a 28 días, conocida como grado del concreto, debe ser una -- de las siguientes ( en  $\text{Kg/cm}^2$ ): 71, 102, 153, 204, 255, 306, 408, 510 y 612.

Cuando se emplea la resistencia a la flexión, los valores son: 31, 41 y 51  $\text{Kg/cm}^2$ , y para resistencia a la tensión indirecta: 20, 26 y 31 --  $\text{Kg/cm}^2$ .

El Reglamento Británico CP 110: 1972 establece las resistencias mínimas siguientes para diversos usos:

70  $\text{Kg/cm}^2$  para concreto sencillo.

155  $\text{Kg/cm}^2$  para concreto reforzado con agregado ligero.

204  $\text{Kg/cm}^2$  para concreto reforzado con agregado normal.

309  $\text{Kg/cm}^2$  para concreto postensado.

408  $\text{Kg/cm}^2$  para concreto pretensado.

Grado del concreto*	Peso de agregado (kg) para tamaño máximo de agregado (mm)							
	40	20	14	10				
Revenimiento (mm)								
	50-100	80-170	25-75	65-135	5-55	50-100	0-45	15-65
71	1080	920	900	780				
102	900	800	770	690				
153	790	690	680	580				
204	660	600	600	530	560	470	510	420
255	560	510	510	460	490	410	450	370
306	510	460	460	400	410	360	380	320

\* Resistencia característica de cubos a los 28 días,  $\text{kg/cm}^2$

Tabla 3.1 Peso de agregado seco por 100  $\text{Kg}$  de cemento según la BS 5328 1976.

Resistencia característica de cubos a los 28 días,  $\text{Kg/cm}^2$ .

Tabla 3.2 Porcentaje por peso de agregado fino respecto al agregado -- total según la BS 5328: 1976.

Grado del concreto*	Zona granulométrica**	Porcentaje de agregado fino para tamaño máximo de agregado (mm)							
		40		20		14		10	
<b>Trabajabilidad</b>									
		Media	Alta	Media	Alta	Media	Alta	Media	Alta
71	}	30-40†		35-40†		-	-	-	-
102		30-40†		35-40†		-	-	-	-
153		30-40†		35-40†		-	-	-	-
204	1	35	40	40	45	45	50	50	55
255	2	30	35	35	40	40	45	45	50
306	3	30	30	30	35	35	40	40	45
	4	25	25	25	30	30	35	35	40

† Con arenas cuya granulometría, es decir, que tienen exceso de partículas finas y gruesas, puede requerirse un ajuste en el porcentaje del agregado fino.

\* Resistencia característica de cubos a los 28 días,  $\text{kg/cm}^2$ .

\*\* Según la BS 882: parte 2: 1973.

† El valor mínimo del porcentaje de agregado fino se aplica a material más fino como la arena de la zona 4 y el valor más elevado, a arena más gruesa como la de la zona 1 de la BS 882: parte 2: 1973.

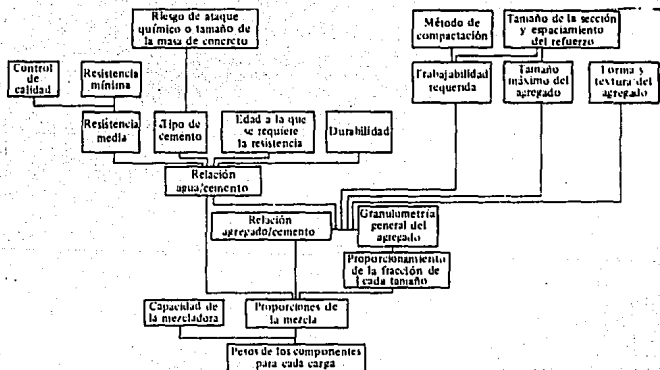


Figura 3.1 Factores básicos en el proceso de diseño de una mezcla.

**FALTA PAGINA**

**No.**

*84*



### Códigos y especificaciones.

Las mezclas deben dosificarse para utilizar en la mejor forma posible los materiales disponibles y para producir un concreto que tenga la --manejabilidad adecuada del concreto fresco, el cual, una vez fraguado,-- desarrollará el grado requerido de resistencia, durabilidad y otras --propiedades. Las propiedades de los agregados y del cemento tienen un efecto significativo sobre la manejabilidad y la calidad del concreto --fraguado, de aquí que cualquier método estándar de dosificación de mez--clas debe estar usado necesariamente en condiciones promedio y, ade--más, debe ser ajustable para hacer que se adapte a condiciones y mate--riales específicos.

Casi todas las especificaciones para el concreto estipulan una resis--tencia que usualmente requiere que la resistencia promedio sea un de--terminado porcentaje o un valor mayor que la resistencia de diseño ---"f". Los requerimientos de especificaciones posteriores pueden incluir un contenido mínimo de cemento, una relación máxima agua-cemento, un --rango de revenimiento y un rango de aire incluido.

### Requerimiento del C.C.U.

La sección 2604 del Código para la Construcción Uniforme, establece --los requerimientos generales para la calidad de concreto que debe ob--tenerse en la obra. Específicamente estipula que el concreto debe ajus--tarse a ciertos requerimientos con respecto a la consistencia apropiada para permitir que el concreto pueda trabajarse fácilmente en los --moldes y alrededor del esfuerzo en las condiciones de vaciado que se --emplearán, sin segregación o sangrado excesivo; y "debe tener resisten--cia al congelamiento y al descongelamiento u otras acciones nocivas, --donde se requiera".

Sin considerar los métodos utilizados para seleccionar las dosificacio--nes de la mezcla, hay algunos otros requerimientos que deben satisfa--cerse.

- 1.- Si el concreto maduro va a estar expuesto al congelamiento y al -- descongelamiento estando húmedo debe contener las cantidades de -- aire incluido que se indican en la tabla 3.3. También se limita la relación agua-cemento a 0.53.
- 2.- El concreto impermeable debe tener una relación agua-cemento que -- no exceda de 0.48 para exposición al agua dulce, o de 0.44 si va a estar expuesto al agua salada.
- 3.- El concreto que va a estar expuesto al suelo o al agua que contenga sulfatos, al agua de mar o a cualquier otra solución nociva, -- debe ajustarse a los requerimientos que se indican en la tabla 3.4.

CONTENIDOS DE AGUA, ARENA Y AIRE.

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO CM.	Concreto sin aire incluido			Concreto con aire incluido		
	Vol. de arena		% del con- tenido de aire.	Vol. de arena		% contenido de aire *
	Lt. agua por lt./m <sup>3</sup> .	% del agreg. total.		Lt. agua por m.	% del agreg. gado total.	
0.95	222	61	3.0	202	59	6 a 10
1.27	211	53	2.5	190	50	5 a 9
1.90	202	45	2.0	178	42	4 a 8
2.54	193	41	1.5	169	37	3.5 a 6.5
3.81	178	36	1.0	160	33	3 a 6
5.07	166	33	0.5	149	30	2.5 a 5.5
7.62	149	31	0.3	140	28	1.5 a 4.5

Las cantidades arriba mencionadas se basan en lo siguiente:

Revenimiento: de 7.5 a 10 cm  
 Arena F.M. aproximadamente 2,75  
 Agregados naturales.

\* Contenidos de aire indicados en la Tabla No. 26-B del Código de Construcción Uniforme requeridos para aplicaciones de concreto sujetas a congelamiento mientras todavía está húmedo.

Tabla 3.3.

## EXPOSICION A CONDICIONES SEVERAS.

PARTE (a)		
Exposición	Tipo de cemento	Relación agua-cemento
Suelo que contiene más del 0.2 por ciento de sulfatos, Agua que contiene más de 1000 ppm de sulfatos; agua de mar, otras soluciones nocivas.	Tipo V	0.44 máxmo en agua de mar; 0.48 máximo en agua dulce.
Suelo que contiene de 0.1 a 0.2 por ciento de sulfatos; agua que contiene 150 ppm a 1000 ppm de sulfatos.	Tipo II ó Tipo V	Los mismos que los arriba citados.

## Parte b:

El concreto sujeto al congelamiento y al descongelamiento cuando todavía está húmedo debe tener aire incluido en las cantidades que se indican en la Tabla 3.5 y la relación agua-cemento no debe ser mayor de 0.53.

El concreto que se ha proyectado como impermeable debe tener una relación máxima Agua-Cemento de 0.45 para exposiciones al agua dulce y de 0.44 cuando se trate de agua salada.

La relación agua-cemento que se utilizará en la obra debe ser la más baja de la determinada con base en la resistencia o la basada en las limitaciones enlistadas en la tabla anterior.

## Tabla 3.4.

El código permite métodos alternados para llegar a las dosificaciones de mezclas para cualquier trabajo propuesto, todos ellos descritos en la Sección 2604 del código. Los métodos normales están basados ya sea en la experimentación en el terreno con los materiales que van a emplearse en el proyecto, o en los resultados de pruebas de laboratorio. En casos especiales, si no es factible la experimentación en el terreno o efectuar las pruebas de laboratorio, puede otorgarse la autorización necesaria para hacer uso de la tabla de valores agua-cemento y de las resistencias a la compresión correspondiente. Estos métodos pueden describirse como sigue, aplicando el párrafo apropiado del código para

su identificación, ya que todos están considerados en la Sección 2604- del mismo.

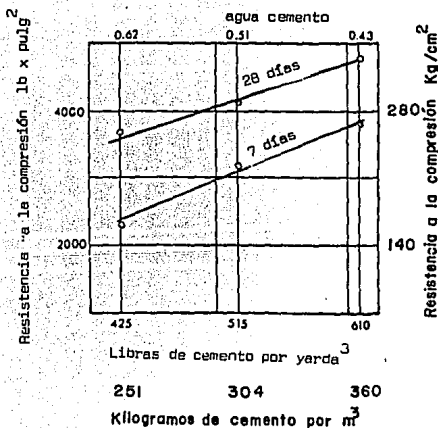


Figura 3.2 Curvas de resistencia características elaboradas con datos de mezclas de prueba para una resistencia requerida a los 28 días de 4000 libras por pulgada cuadrada ó 281.24 kg/cm<sup>2</sup>.

### Propiedades de los materiales.

Cualquier método para la dosificación de mezclas requiere que se conozcan ciertas propiedades de los materiales.

#### **Peso específico o densidad.**

La densidad de un material se define como la relación entre el peso de un volumen dado de material saturado y superficialmente seco (SSS) (arena o grava) y el peso del mismo volumen de agua destilada a 4°C de temperatura.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen desalojado}} = \frac{A}{B}$$

A: Peso del material usado para la prueba.

B: Volumen total de agua desalojada, expresado en Kg. (1 lt = 1 Kg).

#### **Peso volumétrico.**

Es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en Kg/m<sup>3</sup>.

Se reconocen dos tipos de pesos volumétricos: El suelto y el compactado.

$$P.V. = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen}}$$

#### **Módulo de finura.**

El módulo de finura (M.F.) de una arena es el valor numérico que nos indica si la arena es más gruesa o más fina. Se obtiene mediante la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las cinco mallas usadas, -- desde la número 8, 16, 30, 50 y 100 inclusive, dividida entre 100.

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\text{Suma de \% acumulado sin incluir charola}}{100}$$

#### **Absorción.**

La cantidad de agua retenida por un material (arena o grava), después de estar sumergido en ella durante 24 horas se expresa como porcentaje del peso seco del material.

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

s: Peso de la muestra saturada (Peso seco superficialmente).

A: Peso de la muestra seca.

#### Humedad.

La humedad en un agregado está compuesta por dos valores: humedad de absorción más humedad superficial.

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{P - p}{p} \times 100$$

P: Peso original de la muestra.

p: Peso seco.

Módulo de finura (K.F.)	Calificación
2.0	Muy fina
2.0 - 2.3	Fina
2.3 - 2.6	Medio fina
2.6 - 2.9	Media
2.9 - 3.2	Medio gruesa
3.2 - 3.5	Gruesa
3.5	Muy gruesa

RELACIONES AGUA-CEMENTO MÁXIMAS PERMISIBLES  
PARA EL CONCRETO.

(Cuando no se puede disponer de datos de la resistencia obtenidos de mezclas de prueba o de la experimentación en el lugar de la obra).

Resistencia a la Compresión Especificada $f_c'$ (kg/cm <sup>2</sup> ).	Relación agua-cemento máxima permisible			
	Concreto sin aire incluido		Concreto con aire incluido	
	Relación Absoluta por Peso	Lts. por 42.676 kg. Costal de cemento.	Relación Absoluta por Peso	Lts. por 42.638 kg. Costal de cemento
140.62	0.66	28.39073	0.62	26.49801
175.775	0.65	27.63364	0.54	23.09112
210.93	0.58	24.9384	0.46	19.68424
246.085	0.51	21.95549	0.40	17.0344
281.24	0.44	18.92715	0.35	15.14172
316.395	0.38	16.27735	0.30	12.87046
351.55-	0.31	13.24901	2	2

1. Resistencias a los 28 días para cementos que satisfagan los límites de resistencia establecidos por la Norma No. 26-1 del U.B.C., Tipos I, IA, II, o IIA y resistencias a los siete días para los de Tipo III o IIIA; con la mayoría de los materiales, las relaciones agua-cemento que se indican proporcionarán resistencias promedio mayores que las requeridas que se indican en la Sección 2604 (c)2.
2. Para resistencias mayores de 316.395 kg/cm<sup>2</sup>. de concreto con aire incluido deben seleccionarse las dosificaciones por los métodos descritos en la Sección 2604 (c)2.

Tabla 3.5.

Para el control en el terreno es más sencillo emplear el peso específico basado en una condición seca de la superficie saturada. Los agregados casi siempre se mezclan en condiciones secas o húmedas y el empleo del peso específico en seco de la superficie saturada elimina la necesidad de considerar la absorción del agregado al hacer ajustes a una mezcla en condiciones de operación.

### Peso unitario.

Cuando se vacían agregados en un recipiente, éste contiene partículas de agregado además de grandes vacíos entre éstas. El peso unitario del agregado es el peso de  $0.028317 \text{ m}^3$  de partículas de agregado.

El peso unitario del cemento es el peso de  $0.028317 \text{ m}^3$  de cemento seco, que es de 42.676 Kg. por cada  $0.028317 \text{ m}^3$ , Véase la figura 3.3.

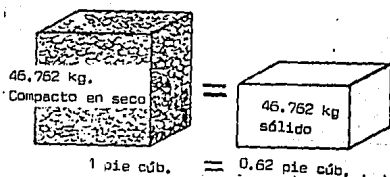


Figura 3.3 Cuando se coloca el agregado en un recipiente, quedan espacios vacíos entre las partículas. Si pudiera comprimirse de manera que ya no hubiera espacios vacíos,  $0.028317 \text{ m}^3$  de agregado suelto ocuparía entonces tan solo  $0.01756 \text{ m}^3$ , pero no se alteraría su peso.

se muestra que un Pie cúbico de agregado consiste (por ejemplo) de --- 46.762 de partículas de agregado con vacíos y espacios de aire entre dichas partículas. Si tuviéramos que comprimir el agregado, hasta formar un pedaza sólido de piedra, seguiríamos teniendo 46.752 Kg de piedra, pero su volumen sería tan solo de  $0.01756 \text{ m}^3$ . Este es el volumen sólido de la piedra, denominado algunas veces volumen absoluto. De manera similar, vemos que un saco de cemento contiene muchos pequeños --- vacíos entre sus partículas y el volumen sólido del saco de cemento en realidad es de  $0.01359 \text{ m}^3$ . Véase figura 3.4.



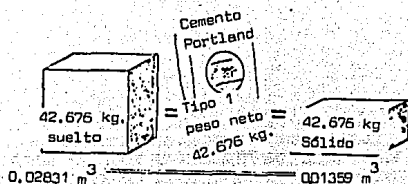


Figura 3.4 Un saco de 42.676 Kg de cemento tiene un volumen suelto de  $0.028317 \text{ m}^3$ , pero cuando se comprime hasta formar un sólido exento de vacíos, de 42.676 Kg ocupa solamente  $0.01359 \text{ m}^3$ .

Las densidades de los materiales empleados normalmente en la elaboración del concreto se ilustran en la figura 3.5.

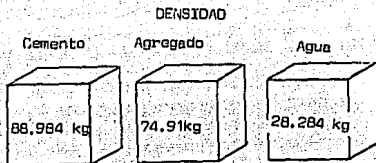


Figura 3.5 Densidades promedio de pesos por  $0.028317 \text{ m}^3$  de material-sólido.

La del agregado corresponde a un valor promedio.

#### Selección de las características de la mezcla,

Cuando no se dispone de información basada en pruebas o de una historia de su uso, se hace necesario llevar a cabo estimaciones de las dosificaciones de la mezcla siguiendo una serie lógica de pasos, por medio de los cuales pueden establecerse dosificaciones para una mezcla de prueba.

Este método se utilizaría para establecer una mezcla inicial de acuerdo con el Método C.

En resumen, los pasos son los siguientes:

- 1.- Seleccionar el tamaño máximo de agregado según las especificaciones o con base en las condiciones de la obra.
- 2.- Determinar la relación agua - cemento con base en los límites especificados, los requerimientos de resistencia o las condiciones de exposición.
- 3.- Seleccionar el revenimiento de los límites especificados o con base en las condiciones de la construcción.
- 4.- Estimar el requerimiento total de agua por  $\text{m}^3$ .

- 5.- Estimar el contenido de aire.
- 6.- Calcular el contenido de cemento.
- 7.- Calcular el contenido de agregado.
- 8.- Calcular las dosificaciones de la mezcla de prueba con base en los pasos 1 al 7, modificandolos para considerar la absorción del agregado y el contenido de humedad.
- 9.- Ajustar las dosificaciones de la mezcla a las condiciones en el -- lugar de la obra.

Algunos requerimientos para el concreto serán proporcionados por las especificaciones de la obra o por el código. Entre los puntos que deben especificarse están: la resistencia a la compresión, la relación agua - cemento, el revenimiento, el contenido de cemento y el tamaño máximo del agregado.

Las especificaciones mencionarán si pueden utilizarse aditivos, agentes inclusores de aire, etc. Pueden obtenerse alguna otra información de pruebas realizadas con los agregados. Entre los puntos de esta categoría están: pesos específicos de masa, absorciones, contenido de humedad, análisis de malla de los agregados finos y gruesos y peso unitario del agregado grueso. Otra información que se requiere para dosificar la mezcla incluye marcas y tipos de cemento.

La secuencia en la determinación de varias propiedades de concreto, -- cuando no estén especificadas, dependen del método aplicado para dosificarlo.

#### Tamaño máximo del agregado.

Normalmente se especifica el tamaño máximo del agregado grueso (TMA) - de lo contrario, puede determinarse con base en el tamaño del elemento estructural y en la cantidad de acero de refuerzo. El TMA no debe exceder de una tercera parte del espesor de una losa, tres cuartas partes del espaciamiento mínimo entre las varillas de refuerzo o entre -- éstas y los moldes, ni de una quinta parte de la dimensión menor en--

tre los lados de los moldes, dependiendo de la que se adapte mejor a la estructura considerada. Véase figura 3.1

Como medida práctica, normalmente se utiliza en toda la obra un solo TMA, basado en las dimensiones que proporcionarán el menor TMA, especialmente en las obras pequeñas.

Los metrajes considerables de diferentes concretos algunas veces justifican diferentes tamaños de agregados para distintas partes de la estructura.

Una práctica común es utilizar agregado de 1.9 cm. o de 2.54 cm. como tamaño máximo, prácticamente en todo el concreto estructural. El concreto de menor resistencia para cimentaciones macizas o porciones similares de la estructura, puede elaborarse con TMA de 3.8 cm. y 7.6 cm. En concretos de alta resistencia, normalmente pueden obtenerse mejores resultados con el menor TMA. Aún cuando las mezclas de agregado fino requieren de mayor cantidad de agua por  $0.764559 \text{ m}^3$ . Véase figura 3.6.

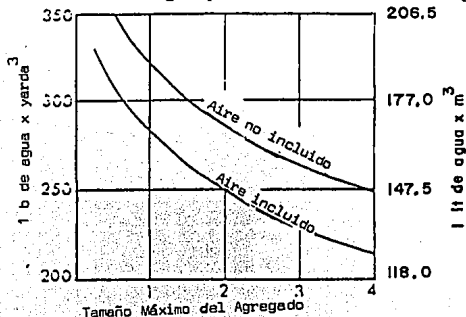


Figura 3.6 El requerimiento total de agua por yarda cúbica de concreto es mayor para el concreto con menor Tamaño Máximo de Agregado. Sin embargo, la resistencia del concreto con menor Tamaño de Agregado es elevada, debido a que el contenido de cemento también es alto y la relación Agua-Cemento no es excesiva.

Siempre se elaboran con contenidos de cemento relativamente altos y, - consecuentemente, la relación agua - cemento es menor, lo que da como resultado una mayor resistencia.

### Relación agua - cemento.

Debido a que la mayor parte de las propiedades deseadas en el concreto dependen de la calidad de la pasta de cemento, la selección de la relación agua - cemento correcta es un paso importante.

Generalmente se establece en las especificaciones una relación agua - cemento límite y la tarea de dosificar la mezcla se convierte en una de las que sirven para seleccionar las demás características de la mezcla para que se conserve la relación agua - cemento por debajo del límite especificado.

Si dicha relación agua - cemento no está especificada, entonces hay -- dos condiciones que la controlan: la resistencia y la durabilidad. En la tabla 3.6,

RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y LA RELACION AGUA-CEMENTO.

Resistencia a la Com presión kg/cm <sup>2</sup> .	Relación Agua-Cemento por Peso	
	Concreto sin Aire Incluido.	Concreto con Aire Incluido
140.62	0.80	0.74
210.93	0.69	0.60
281.24	0.57	0.50
351.55	0.47	0.40
421.86	0.40	

Tabla 3.6.

se indican los valores de la resistencia que son resultado de pruebas realizadas con varios agregados, utilizando cemento tipo I.

Los valores de esta tabla son conservadores y aproximados y pueden --- aplicarse cuando no se dispone de resultados reales de pruebas reali---

zadas con los materiales propuestos. Esta tabla está basada en pruebas de resistencia a los 28 días en curados estándar de cilindros de prueba 15.24 x 30.48 cm. Cuando se emplea la resistencia para determinar la relación agua - cemento de esta manera, la resistencia seleccionada debe considerarse como un valor promedio y debe exceder a la resistencia del proyecto en por lo menos  $84 \text{ Kg/cm}^2$ . (Código de Construcción -- Uniforme Sección 2604 (c) 2B). Las resistencias que se indican en dicha tabla son valores promedio para concretos elaborados con TMA de -- 1.9 cm. o de 2.54 cm. conteniendo aire incluido en cantidades no mayores que las indicadas en la tabla 3.3.

En la mayoría de las condiciones, la resistencia es el factor de control.

Sin embargo, también cuentan las condiciones de la exposición, en las cuales se requiere una relación agua - cemento límite para obtener la durabilidad necesaria. La tabla 3.4, muestra limitaciones en la relación agua - cemento basadas en la exposición. Cuando deban considerarse las condiciones de ésta, se utilizará la relación agua - cemento menor, basada ya sea en la resistencia o en la exposición; de lo contrario el factor de control será solamente la resistencia.

#### Revenimiento.

Normalmente las especificaciones establecen el revenimiento máximo, o el rango de éste, para el concreto colado en diversas partes de la estructura. Si los revenimientos no se han especificado, puede utilizarse como guía la tabla 3.7.

El revenimiento es una medida de la consistencia del concreto y debe ser el mínimo que permita colar eficientemente el concreto. Los valores que aparecen en la tabla corresponden a concretos consolidados por vibración.

Revenimiento en cm.	Descripción	Utilizado en
0 a 5	Muy bajo	Unidades precoladas en planta - bajo vibración pesada. Pavimentos de calles, carreteras y aeropuertos. Secciones macizas grandes.
2.5 a 7.6	Bajo	Pavimentos y losas para construcciones, cimentaciones, estribos, cajones para cimentación, muros de subestructuras. Secciones reforzadas grandes.
5 a 10	Medio	Columnas reforzadas normales, - trabes, muros, concreto para bombeo, losas estructurales.
10 a 18	Alto	Solamente para secciones especialmente difíciles y congestionadas, en las cuales no puede emplearse la vibración. Concreto para tolvas sub-acuáticas.
Más de 18	Nota No. 2	No se recomienda para uso alguno

## NOTAS:

- 1) Los límites antes mencionados son para concreto consolidado por vibración a alta frecuencia. Los límites pueden incrementarse en 1.3 para compactación manual.
- 2) Para compactación manual. No exceder el revenimiento indicado.

## Tabla 3.7.

Contenido de agua.

La cantidad total de agua necesaria para el mezclado por  $0.764 \text{ m}^3$  de concreto para obtener el revenimiento requerido, depende del tamaño máximo y de la granulometría del agregado, al igual que de la forma y la textura de sus partículas. No se ve afectado significativamente por el contenido de cemento, pero sí por la temperatura, como se indica en la figura 3.7.

El empleo de aire incluido y de aditivos para reducir el agua pueden tener un efecto importante sobre el requerimiento de agua.

Los contenidos de agua indicados en la tabla 3.3, están basados en ---

agregados sub-angulares o más o menos redondeados, de granulometría media, con arena natural con un módulo de finura de aproximadamente 2.75, en mezclas con una relación agua-cemento de aproximadamente 0.55. Los ajustes para otras condiciones pueden efectuarse de acuerdo con los que se indican en la tabla. Esta también muestra porcentajes recomendados de contenidos de aire y arena.

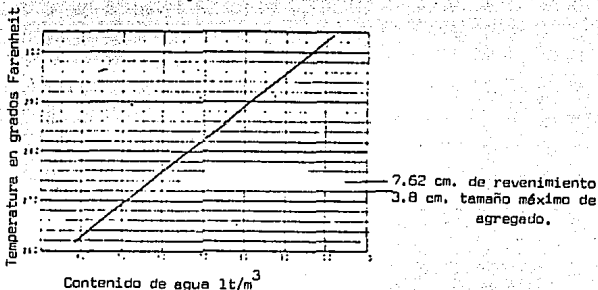


Figura 3.7 Una diferencia de temperatura de 12°C puede afectar el revenimiento en casi 2.5 cm hecho que debe considerarse al dosificar la mezcla.

#### Contenidos de aire.

El concreto normal sin aire incluido contiene una pequeña cantidad de aire retenido, que debe considerarse en los cálculos. El aire retenido en el concreto que no contiene aire incluido y el total de aire en el concreto con aire incluido pueden estimarse a partir de la tabla 3.1.

#### Contenido de cemento.

El contenido inicial de cemento se determina por medio de la relación agua-cemento seleccionada y del contenido de agua:

$$\text{Peso del cemento por m}^3 = \frac{\text{Peso del agua por m}^3}{\text{Relación agua-cemento}}$$

Si se especifica un contenido mínimo de cemento, entonces el contenido inicial de éste debe ser mayor que el especificado o del calculado en la forma indicada anteriormente.



Ahora se calculan los volúmenes totales de agua, cemento y aire. El volumen sólido de cualquier material es su peso dividido entre su densidad, siendo ésta la gravedad específica del material multiplicada por 1000, que es el peso por metro cúbico (densidad del agua). Este cálculo puede simplificarse utilizando la tabla 3.8

RELACIONES DE DENSIDADES

Peso Específico (S)	Densidad (D)	$\frac{1}{\text{Densidad}}$
2.45	2450	0.000408
2.46	2460	0.000406
2.47	2470	0.000404
2.48	2480	0.000403
2.49	2490	0.000402
2.50	2500	0.000400
2.51	2510	0.000398
2.52	2520	0.000397
2.53	2530	0.000395
2.54	2540	0.000394
2.55	2550	0.000392
2.56	2560	0.000391
2.57	2570	0.000389
2.58	2580	0.000387
2.59	2590	0.000386
2.60	2600	0.000385
2.61	2610	0.000383
2.62	2620	0.000382
2.63	2630	0.000380
2.64	2640	0.000379
2.65	2650	0.000377
2.66	2660	0.000376
2.67	2670	0.000374
2.68	2680	0.000373
2.69	2690	0.000372
2.70	2700	0.000370
2.71	2710	0.000369
2.72	2720	0.000368
2.73	2730	0.000366
2.74	2740	0.000365
2.75	2750	0.000364
3.10	3100	0.000323
3.15	3150	0.000317
3.20	3200	0.000313

Tabla 3.8.

VOLUMEN DE AGREGADOS GRUESOS POR UNIDAD DE -  
VOLUMEN DE CONCRETO.

102

(de la Tabla 526 de ACI 211.1-70)

Tamaño máximo del agregado (cm)	Volumen de agregado grueso * comprimido en seco, por volumen unitario de concreto, para diferentes módulos de finura de la arena.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
0.95	0.38	0.37	0.35	0.34
1.27	0.45	0.44	0.42	0.40
1.91	0.50	0.49	0.47	0.46
2.54	0.54	0.53	0.51	0.50
3.81	0.57	0.56	0.54	0.53
5.08	0.59	0.58	0.57	0.55
7.62	0.63	0.61	0.60	0.58
15.24	0.66	0.65	0.63	0.62

\* Los volúmenes están basados en agregados comprimidos en seco, como se describe en la C-29 ASTM referente al Peso Unitario del Agregado.

Estos volúmenes se seleccionaron de varias relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad apropiado para construcciones reforzadas comunes.

Para un concreto con menos trabajabilidad como el requerido para la construcción de pavimentos, pueden incrementarse aproximadamente un 10%. Para un concreto con mayor trabajabilidad, como el que se requiere en ocasiones cuando va a colarse por bombeo, pueden reducirse hasta un 10%.

Tabla 3.11.

PRIMERA ESTIMACION DEL PESO DEL CONCRETO FRESCO  
(Adaptada de la Tabla 5.2.7.1 de ACI 211.1 - 70)

Tamaño máximo del agregado en cm.	Primera estimación del peso del concreto Kg/m <sup>3</sup> .	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire-- incluido.
0.95	1344	1291
1.27	1362	1316
1.91	1386	1344
2.54	1404	1365
3.81	1425	1386
5.08	1442	1400
7.62	1456	1414
15.24	1481	1442

Valores calculados para un concreto de calidad media (325 Kg/m<sup>3</sup> de cemento) y revenimiento medio con gravedad específica agregado de 2.7. Los requerimientos de agua están basados en valores correspondientes a un revenimiento de 7.62 a 10.16 cm. Si se desea, el peso estimado puede precisarse como sigue, si se dispone de la información necesaria: para cada diferencia de 4.54 Kg. en los valores del agua para el mezclado, para obtener revenimientos de 7.62 a 10.16 cm. se debe modificar el peso por 0.7645 m<sup>3</sup>. en 6.8 Kg. en dirección opuesta, para cada diferencia de 45 Kg. en el contenido de cemento desde 250 Kg. se debe modificar el peso por 0.7645 m<sup>3</sup>. en 6.8 Kg. en la misma dirección, por cada 0.1 de desvío de la gravedad específica del agregado de 2.7, se debe corregir el peso del concreto en 45 Kg. en la misma dirección.

Tabla 3.12.

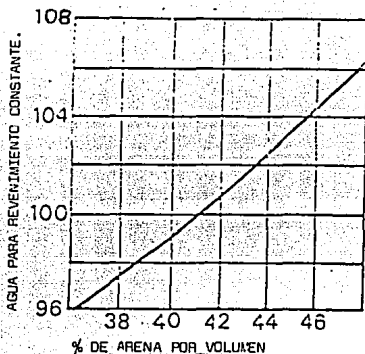


Figura 3.8 Cada incremento de dos puntos en el porcentaje del volumen de arena aumenta el requerimiento de agua en casi un 2% si el revenimiento es constante.

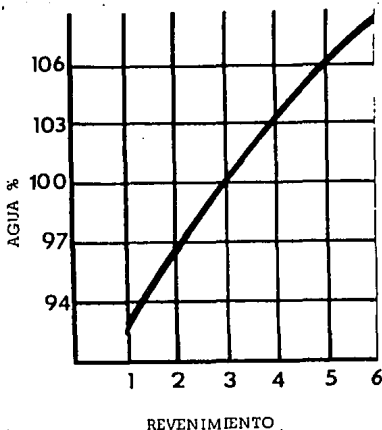


Figura 3.9 Como promedio, un cambio del 3% del agua total de la mezcla produce una variación de aproximadamente 2.54 cm en el revenimiento. Si se supone que el volumen de agua para un revenimiento de 7.62 cm es del 100%, entonces al incrementarse el agua en un 3% se aumentará el revenimiento en aproximadamente 2.54 cm.

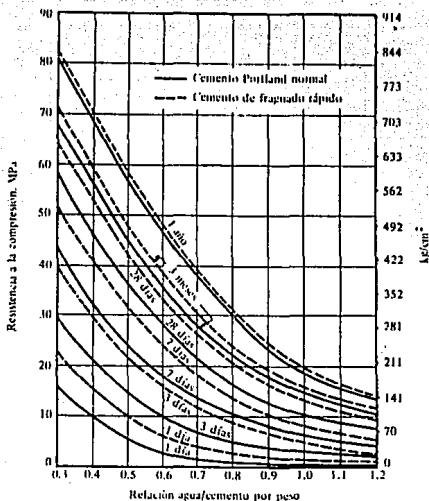


Figura 3.10 Relación entre la resistencia a la compresión y la relación agua/cemento para cubos de 102 mm de concreto bien compactado para mezclas de distintas proporciones empleando cementos de los años cincuenta.

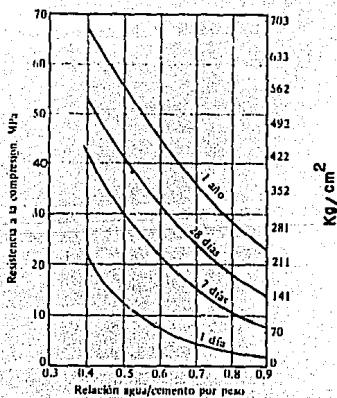


Figura 3.11 Relación entre la resistencia a la compresión y la relación agua/cemento para cubos de 102 mm de concreto totalmente compactado, para mezclas de diversas proporciones hechas con cementos Portland normales británicos tipo de fines de los años setenta. Los valores empleados son estimaciones conservadoras.

1.00	15.9
1.50	6.7
1.96	2.5
2.33	1.0
2.50	0.6
3.09	0.1

Tabla 3.13 Porcentaje de especímenes que tienen una resistencia menor a (la media - k x la desviación estándar).

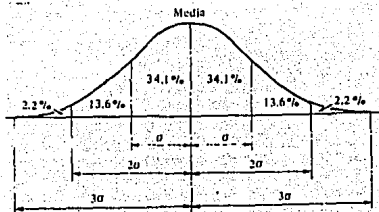


Figura 3.12 Curva de distribución normal; se muestra el porcentaje de especímenes en intervalos de una desviación estándar.

	$\bar{F}$		$\sigma$	
	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	MPa	kg/cm <sup>2</sup>
A	26.2	267	2.4	25
B	29.6	302	3.9	39
C	35.2	359	6.2	63

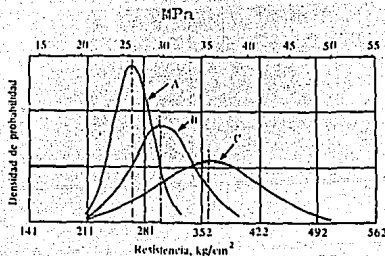


Figura 3.13 Curvas de distribución normal para concretos con una resistencia mínima de 211 kg/cm<sup>2</sup> (20.0 MPa) (excedida por el 99% de los resultados).

Grado de control	Condiciones	Resistencia mínima como porcentaje de la resistencia media	Coeficiente de variación para la probabilidad de que la resistencia de un cubo esté por abajo de	
			una en 100	una en 200
Muy bueno	Dosificación por peso; empleo de agregados graduados, determinación de humedad de los agregados, etc. Supervisión constante	75	10.7	9.7
Regular	Dosificación por peso; empleo de dos tamaños de agregado únicamente; contenido de agua a criterio del operador de la mezcladora. Supervisión ocasional	60	17.2	15.5
Deficiente	Dosificación por volumen poco exacta de los agregados. Sin supervisión	40	25.8	23.3

Tabla 3.14 Relación calculada entre la resistencia mínima y media a la compresión de cubos en la obra (según la Road Note No. 4) con datos adicionales sobre el coeficiente de variación.

Norma de control	Desviación estándar esperada, $\text{kg/cm}^2$ (MPa)			
	Construcción general		Mezclas de prueba en laboratorio	
Excelente	< 30.6	(< 3)	< 15.3	(< 1.5)
Muy bueno	30.6 - 35.7	(3 - 3.5)	15.3	(1.5)
Bueno	35.7 - 40.8	(3.5 - 4)	15.3 - 20.4	(1.5 - 2)
Regular	40.8 - 51.0	(4 - 5)	20.4 - 25.5	(2 - 2.5)
Deficiente	> 51.0	(> 5)	> 25.5	(> 2.5)

Tabla 3.15 Clasificación de la norma de control según la norma AGI --- 214-77.



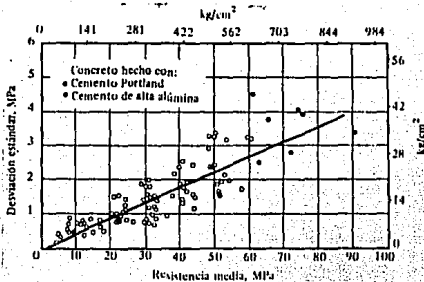


Figura 3.14 Relación entre la desviación estándar y la resistencia para cubos de prueba de laboratorio; se muestra la línea de regresión.

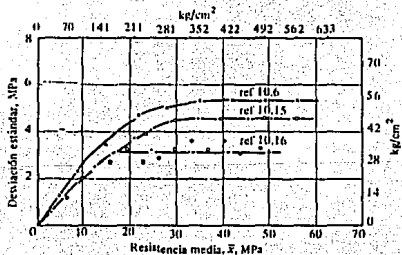


Figura 3.15 Relación entre la desviación estándar y la resistencia media de especímenes de prueba, obtenida por revisión de datos en la obra.

Grado de control	Coefficiente de variación; porcentaje
Probablemente sólo se obtenga en pruebas de laboratorio bien controladas	5
Excelente, cercano a la Precisión del laboratorio	10
Excelente	12
Buena	15
Regular	18
Deficiente	20
Mala	25

Tabla 3.16 Valores sugeridos por Stanton Walker para el coeficiente de variación de diferentes grados de control.

### Proporciones de la mezcla y pesos por lote.

Conociendo las relaciones agua/cemento y agregado/cemento, no tendremos ahora ninguna dificultad para determinar las proporciones de cemento, agua y agregado. En la práctica, el agregado se suministra por lo menos de dos apilamientos y las cantidades de agregado de cada tamaño, se añaden por separado. Esto no presenta dificultad alguna, ya que para encontrar la granulometría adecuada hemos tenido que calcular ya las proporciones de las diferentes fracciones de tamaño del agregado. Los detalles del cálculo se proporcionan en el ejemplo, en combinación de los agregados para obtener una granulometría tipo.

Para fines prácticos, las cantidades de la mezcla se proporcionan en kilogramos por lote. Cuando el cemento se suministra a granel, se eligen las cantidades del lote de manera que su suma sea igual a la capacidad de la mezcladora. Cuando el cemento se suministra en sacos, y no hay elementos para pesarlo, es preferible elegir las cantidades del lote de manera que el peso del cemento por lote, corresponde a un saco o a uno de sus múltiplos. Entonces el peso del cemento se conoce con precisión. En casos excepcionales puede emplearse medio saco, pero otras fracciones son imposibles de determinarse con precisión y nunca deben emplearse. Un saco estándar en Inglaterra y en muchos otros países contiene 50 Kg de cemento; el saco en E.U. tiene 43 Kg, el de Canadá tiene 40 Kg y en otros países se manejan otros sacos, pero los de 40 y 50 Kg son los más comunes.

En algunos casos, la mezcladora puede utilizarse sólo a una fracción de su capacidad, lo cual debe evitarse siempre que sea posible, ya sea empleando una mezcladora de otro tamaño, u otras proporciones de mezcla. Sin embargo, la mayoría de las mezcladoras son de un tamaño que permite operarlas casi a toda su capacidad empleando sacos enteros, cuando se emplean las relaciones agregado/cemento más comunes ("tradicionales").

### Método de cálculo por volumen absoluto.

El volumen del concreto se obtiene mediante un cálculo sencillo, empleando el llamado método de volumen absoluto, que presupone que el vo

	<i>Tipo de resistencia, kg/cm<sup>2</sup></i>							
	153	204	255	306	357	408	510	612
Valor medio especificado	184	245	306	367	418	469	571	673
Valor medio real	245	296	347	408	459	510	622	694
Porcentaje de "valores medios de serie" inferiores al tipo de resistencia	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1

Tabla 3.17 Datos de plantas productoras de concreto promezclado de primera clase en Suecia, en 1976.

<i>Exposición</i>	<i>Relación máxima agua libre/cemento</i>
Totamente protegido de la intemperie o de condiciones agresivas, excepto durante un corto período de exposición a condiciones normales del clima durante la construcción.	0.70
Protegido de las fuertes lluvias y de la congelación mientras está saturado de agua. Concreto soterrado y concreto continuamente bajo agua.	0.60
Expuesto al agua de mar, al agua estancada en zonas desérticas, a las lluvias torrenciales, al humedecimiento y secado alternados y a la congelación mientras está húmedo. Sujeto a una condensación pesada o a emanaciones corrosivas.	0.50
Sujeto a sales deshelantes.	0.55, pero se recomienda el empleo de aire incluido

Tabla 3.18 Relación máxima agua libre/cemento que se requiere en concreto simple para condiciones específicas de exposición, prescritas por el British Code of Practice para un uso estructural del concreto.

<i>Condiciones de exposición</i>	<i>Contenido mínimo de cemento para</i>		
	<i>Concreto simple</i> kg/m <sup>3</sup>	<i>Concreto reforzado</i> kg/m <sup>3</sup>	<i>Concreto preforzado</i> kg/m <sup>3</sup>
No corrosivas	220	250	300
Enterrado o protegido de la lluvia y la congelación	250	290	300
Expuesto alternadamente a humedecimiento y secado, o a congelación mientras está húmedo, o al agua de mar	310	360	360
Sometido a sales descongelantes (usar concreto con aire incluido)	280	290	300

Tabla 3.19 Contenido mínimo de cemento en concretos con agregados de 20 mm (3/4") de tamaño máximo, en diferentes condiciones de exposición prescrito por el British Code of Practice para el uso estructural del concreto, CP 110:1972.

<i>Grado de trabajabilidad</i>	<i>Factor de compactación</i>			<i>Uso adecuado del concreto</i>
	<i>Revenimiento mm</i>	<i>Aparato pequeño</i>	<i>Aparato grande*</i>	
Muy bajo	0-25	0.78	0.80	Caminos vibrados con compactadoras mecánicas. En el extremo más trabajable de este grupo, el concreto podrá compactarse en ciertos casos con máquinas operadas manualmente.
Bajo	25-50	0.85	0.87	Caminos vibrados con máquinas manuales. En el extremo más trabajable de este grupo, el concreto podrá compactarse manualmente en caminos que empleen agregado de forma redonda o irregular. Cementaciones de concreto masivo sin vibrado o secciones ligeramente reforzadas con vibrado.
Mediano	50-100	0.92	0.935	En el extremo menos trabajable de este grupo, se encuentran losas planas compactadas manualmente, usando agregados triturados. Concreto con refuerzo normal, compactado manualmente y secciones muy reforzadas con vibrado.
Alto	100-175	0.95	0.96	Para secciones de altas concentraciones de refuerzo. No suele ser adecuado para vibrado.

\* Normalmente no se usa.

Tabla 3.20 Trabajabilidad, revenimiento y factor de compactación de concretos con tamaño de agregado de 19 ó 38 mm.

Descripción	Consistencia				
	Reventimiento mm	pulgadas	Vebe s	Factor de com- pactación	Contenido relativo de agua, por- centaje
Extremadamente seco	-	-	32-18	-	78
Muy rígido	-	-	18-10	0.70	83
Rígido	0-30	0-1	10-5	0.75	88
Rígido plástico	30-80	1-3	5-3	0.85	92
Plástico (referencia)	80-130	3-5	3-0	0.91	100
Fluido	130-180	5-7	-	0.95	106

Tabla 3.21a Requerimientos relativos de agua de mezclado para lograr diferentes consistencias del concreto.

Tamaño máximo de agregado		Contenido de agua sin aire incluido	Contenido de aire atrapado	Contenido de agua con aire incluido*
mm	pulgadas	kg/m <sup>3</sup>	porcentaje	kg/m <sup>3</sup>
10	3/8	225	3	200
12.5	1/2	215	2.5	190
20	3/4	200	2	180
25	1	195	2.5	175
40	1 1/2	175	1	160
50*	2	170	0.5	155
70*	3	160	0.3	150
150*	6	140	0.2	135

\* Para mezclas con reventimientos inferiores a 30 mm se proporcionan los contenidos de agua de concreto con tamaño de agregado mayor de 40 mm. 10<sup>-3</sup>

Tabla 3.21b Contenido aproximado de agua de mezclado para la mezcla-- (plástica) de referencia de la tabla 3.21a, para diferentes tamaños -- máximos de agregado.

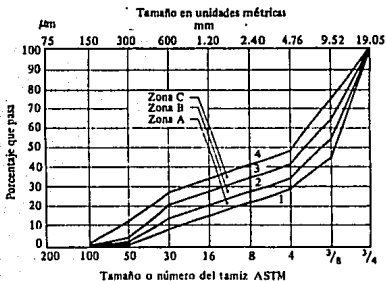


Figura 3.16 Curvas granulométricas de la Road Note No. 4 para agregado de 19.05 mm (3/4")

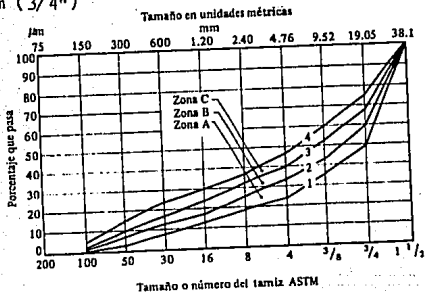


Figura 3.17 Curvas granulométricas de la Road Note No. 4 para agregado de 38.1 mm (1 1/2").

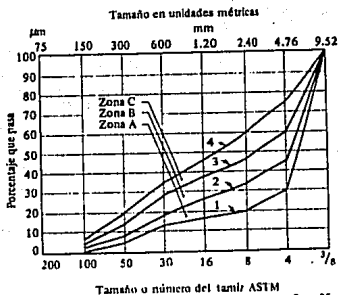


Figura 3.18 Curvas granulométricas del tipo de McIntosh y Entroy para agregado de 9.52 mm (3/8").

lumen del concreto compactado es igual a la suma de los volúmenes de todos los componentes.

Es común calcular las cantidades de los componentes para producir 1 metro cúbico de concreto. Entonces, si  $W$ ,  $C$ ,  $A_1$  y  $A_2$  son los pesos requeridos de agua, cemento, agregado fino y agregado grueso respectivamente; para un metro cúbico tenemos:

$$\frac{W}{1000} + \frac{C}{1000 \rho_c} + \frac{A_1}{1000 \rho_1} + \frac{A_2}{1000 \rho_2} = 1$$

donde  $\rho$  con el sufijo apropiado representa la densidad relativa de cada material. Puesto que la densidad del agua (1000) se expresa en kilogramos por metro cúbico, el volumen total tiene que expresarse en metros cúbicos.

Los cálculos de diseño de mezcla proporcionan los valores de  $W/C$ ,  $C/(A_1 + A_2)$  y  $A_1 / A_2$ , de donde pueden deducirse los valores de  $W$ ,  $C$ ,  $A_1$  y  $A_2$ .

Quando se encuentra presente algún componente adicional, como una puzo lana, o cuando el agregado grueso o fino se encuentra en más de un aplamamiento, se añaden a la ecuación términos adicionales de forma similar. Quando hay aire incluido presente, en un porcentaje de  $a\%$  del volumen del concreto, la parte de la derecha de la ecuación del metro cúbico sería:

$$1 \times \left[ 1 - \frac{a}{100} \right]$$

$C$  representa el contenido de cemento en kilogramos por metro cúbico del concreto y  $W$  representa el contenido de agua en las mismas unidades; esto último no debe confundirse con la relación agua/cemento.

Al comparar diversas mezclas, a veces es conveniente convertir rápidamente la relación agregado/cemento a contenido de cemento, o viceversa: la figura 3.19 facilita dicha conversión.

Quando el agregado contiene humedad libre cuyo peso es un porcentaje  $w$  del peso del agregado seco, entonces los pesos del agua agregada,  $w$ ,



y del agregado (mojado) deben ajustarse.

El peso del agua libre en A' Kg de agregado es x, de manera que,

$$\frac{m}{100} = \frac{x}{A' - x}$$

y el peso del agregado grueso es  $A = A' - x$ . Donde,

$$x = \frac{Am}{100}$$

Este peso se añade a A para obtener el peso del agregado mojado por lo te,  $A(1 + m/100)$ , y se resta de W para obtener el peso del agua agregada,  $W - A_m/100$ .

Generalmente cada fracción de tamaño de agregado tiene diferente contenido de humedad y la corrección debe aplicarse a  $A_1$ ,  $A_2$ , etc., con un valor apropiado.

En la fabricación de concreto de baja o mediana resistencia la determinación del contenido de humedad del agregado puede pasarse por alto -- cuando la granulometría del agregado es relativamente constante y se emplea dosificación por peso. En tales circunstancias, un cambio en la trabajabilidad causado por variación del contenido de humedad del agregado puede evitarse gracias a la experiencia del operador de la mezcladora, quien puede ajustar la cantidad de agua agregada de manera que la trabajabilidad, juzgada a simple vista, permanezca constante.

En el caso de dosificación por volumen no es necesario hacer corrección alguna del contenido de humedad en el caso del agregado grueso, pero debe darse tolerancia para el abundamiento del agregado fino. La cantidad de agua agregada debe ajustarla el operador de la mezcladora, como en el caso de la dosificación por peso.

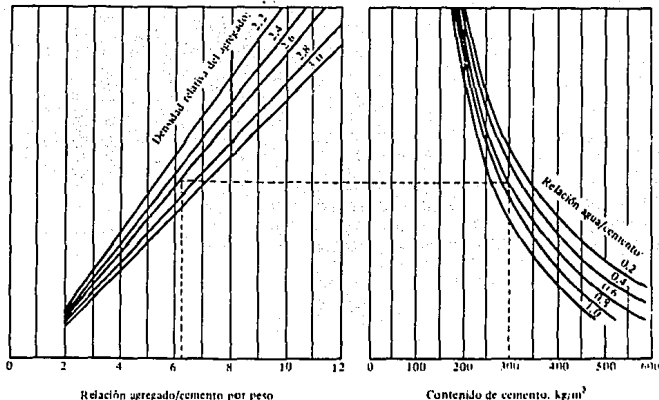


Figura 3.19 Gráfica de conversión para relación agregado/cemento y -- contenido de cemento.

**Combinación de agregados para obtener una granulometría tipo.**

Aunque no existen granulometrías ideales es conveniente dosificar los materiales disponibles, de manera que la granulometría del agregado -- combinado sea similar a una de las curvas tipo de las figuras 3.16, -- 3.17 y 3.18.

Esto puede hacerse mediante cálculos o gráficamente, por medio del método de la Road Note No. 4. Ambos procedimientos se ilustran mejor mediante ejemplos.

Supongamos que las granulometrías del agregado fino y de las dos fracciones de tamaño del agregado grueso son las que aparecen en la tabla 3.22.

Y que vamos a combinar los materiales para aproximarlos a la granulometría más gruesa de la figura 3.17.

En esta curva, el 24% del total pasa por la malla de 4.75 mm ( $3/16''$ ) y el 50% pasa por la de 19.0 mm ( $3/4''$ ).

Dejemos que  $x$ ,  $y$ ,  $z$  sean las proporciones de agregados finos de: 19.0 - 4.75 mm ( $3/4'' - 3/16''$ ) y 38.1 - 19.0 mm ( $1/2'' - 3/4''$ ). Entonces, para satisfacer la condición de que el 50% del agregado combinado

Tamaño del tamiz B.S.		Porcentaje acumulado que pasa por:							Granulometría del agregado combinado
		Agregado fino	19.0 - 4.75 mm ( $\frac{3}{4}$ " - $\frac{3}{16}$ " )	38.1 - 19.0 mm (1 $\frac{1}{2}$ " - $\frac{3}{4}$ " )	(1) x 1	(2) x 0.94	(3) x 2.59	(4) + (5) + (6)	(7): 4.53
mm	pulgada	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
ó	ó								
$\mu$ m	No.								
38.1	1 $\frac{1}{2}$	100	100	100	100	94	259	453	100
19.0	$\frac{3}{4}$	100	99	13	100	93	34	227	50
9.50	$\frac{3}{8}$	100	33	8	100	31	21	152	34
4.75	$\frac{3}{16}$	99	5	2	99	5	5	104	24
2.36	8	76	0	0	76	0	0	76	17
1.18	16	58			58			58	13
600	30	40			40			40	9
300	50	12			12			12	3
150	100	2			2			2	0.5

Tabla 3.22 Ejemplo de la combinación de agregados para obtener una -- granulometría tipo.

pase por la criba de 19.0 mm (3/4") tenemos:

$$1.0 + 0.99y + 0.3z = 0.5(x + y + z)$$

La condición de que el 24% del agregado combinado pase por la criba de 4.75 mm (3/16") puede expresarse como:

$$0.99x + 0.05y + 0.02z = 0.24(x + y + z)$$

De estas dos ecuaciones se deduce:

$$X : Y : Z = 1 : 0.94 : 2.59$$

es decir, los tres agregados se combinan en proporciones de:

$$1 : 0.94 : 2.59$$

Para encontrar la granulometría del agregado combinado se multiplican las columnas (1), (2) y (3) de la tabla anterior, por 1, 0.94 y 2.59 - respectivamente; los productos se muestran en las columnas (4), (5) y (6). Ahora, sumamos estas tres columnas (columna 7) y dividimos la suma por  $1 + 0.94 + 2.59 = 4.53$ . El resultado, que aparece en la columna (8), es la granulometría del agregado combinado. Se da la granulometría al porcentaje más cercano, ya que debido a la variabilidad de los materiales cualquier precisión aparente más elevada no tiene significado alguno.

La figura 3.20 muestra la granulometría del agregado combinado, junto con la curva tipo de la Road Note No. 4. Las desviaciones son aparentes y ciertamente inevitable, ya que la concordancia con la curva tipo generalmente sólo es posible en puntos especificados. La granulometría de nuestro agregado es ligeramente más fina que la del agregado tipo, por lo que, para cualquier trabajabilidad deseada, puede emplearse una mezcla ligeramente más rica que la indicada en la tabla 3.23.

El método gráfico se muestra en la figura 3.21.

Primero se combinan los dos agregados empleando como criterio el porcentaje que pasa por la criba de 19.0 mm (3/4").

El porcentaje que pasa se marca a lo largo de tres lados de un cuadrado. Los valores para los dos agregados gruesos se sitúan en dos lados opuestos y los puntos correspondientes al mismo tamaño de criba se unen con líneas rectas. Después se traza una línea vertical a través -

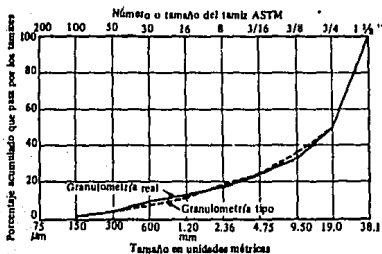


Figura 3.20 Granulometría del agregado para el ejemplo de la tabla 3.22.

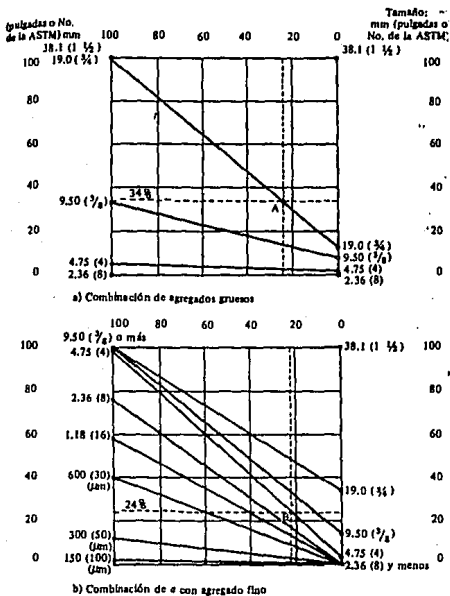


Figura 3.21 Método gráfico para combinar agregados (ejemplo de la tabla 3.22).

del punto en que la línea que une los valores de 19.0 mm (3/4") intersectan la línea horizontal que representa el porcentaje correcto de -- agregado menor de 19.0 mm (3/4"). En nuestro caso,  $(50 - 24) = 26$  partes de agregado más grueso que 9.50 mm (3/4") deben pasar por la criba de 19.0 mm (3/4"), en tanto que 50 partes serán retenidas. La relación es, por lo tanto, de 26 : (50 + 26), o sea el 34% de todo el agregado-grueso. Por lo tanto, se traza una línea horizontal a través del punto del 34% hasta intersectar la línea de 19.0 mm (3/4") en el punto A. Una vertical a través de A indica la cantidad de material de 19.0 - - 4.75 mm (3/4" - 3/16") como porcentaje del agregado grueso total. En la figura anterior este valor es del 24%.

La línea vertical también indica la granulometría del agregado grueso-combinado, que a su vez se combina con el agregado fino de manera similar a la ya descrita (figura 3.22b). Observamos que 22 partes de agregado fino han de combinarse con 78 partes de agregado grueso, más grueso que la criba de 4.75 mm (3/16"). Por lo tanto, el agregado se proporcióna como  $22 : (24/100) \times 78 : (76/100) \times 78$ , o como 1:0.85:1.69. La línea vertical a través de B (figura 3.21b) indica la granulometría combinada del agregado, obtenida al proporcionar los tres agregados en relación de 1 : 0.85 : 2.69.

Esto concuerda con el agregado obtenido antes por cálculo, pero ambos-métodos son aproximaciones basadas en cantidades que pasan por dos tamaños de malla especificados.

### Ejemplo sencillo de diseño tradicional de mezclas.

Se requiere una mezcla con resistencia mínima a la compresión de  $295 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días, para emplearse en una losa de carretera. La compactación mediante vibrado, y se espera un buen control.

Se emplearán cemento Portland normal y agregado irregular con una granulometría como la del ejemplo de la sección anterior. (Combinación de agregados para obtener una granulometría tipo).

Puesto que no se dispone de datos, experimentales respecto a la diferencia entre las resistencias mínima y media, la relación de ambas se toma de la tabla 3.14, como 0.75.

Por lo tanto, la resistencia media es de  $295/0.75 = 393 \text{ Kg/cm}^2$ .

Puesto que normalmente no es posible determinar las propiedades de resistencia del cemento que va a emplearse, debe recurrirse a la figura 3.10, en la cual se observa que la relación agua/cemento es de 0.48.

Esta relación agua/cemento es adecuada desde el punto de vista de la durabilidad.

La tabla 3.20 indica que tal vez se requiera una mezcla de muy baja -- trabajabilidad. Para esta trabajabilidad y una relación agua/cemento -- de 0.48, la tabla 3.23 indica una relación agregado/cemento de aproximadamente 7.2.

En la sección combinación de agregados para obtener una granulometría tipo se observa que los agregados finos de  $3/4"$  -  $3/16"$  y de  $1 \ 1/2"$  --  $3/4"$  están en proporción de 1 : 0.94 : 2.59.

Puesto que la relación agregado/cemento es de 7.2, las proporciones de la mezcla se convierten en: una parte de cemento para  $(1:0.94:2.59) \times 7.2/4.53$  para los tres agregados respectivamente, es decir, una mezcla 1 : 1.59 : 1.50 : 4.11 con relación agua/cemento de 0.48.

Suponiendo que la densidad del cemento sea de 3.15, la del agregado -- grueso de 2.50 y la del agregado fino de 2.60, podemos encontrar el -- contenido de cemento C en Kg por metro cúbico a partir de la expresión siguiente:

Grado de trabajabilidad	Muy bajo				Bajo				Medio				Alto					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Número de curva granulométrica en la figura 3.17																		
Relación agua/cemento por peso	0.35	4.0	3.9	3.5	3.2	3.4	3.3	3.2	2.9	2.9	2.8	2.6	2.5	2.7	2.5	2.3	2.3	
	0.40	5.3	5.3	4.7	4.3	4.5	4.5	4.2	3.8	3.8	3.8	3.7	3.4	3.5	3.5	3.3	3.1	
	0.45	6.5	6.5	5.9	5.3	5.6	5.6	5.3	4.8	4.6	4.7	4.6	4.3	4.1	4.4	4.3	4.0	
	0.50	7.7	7.7	7.1	6.3	6.7	6.6	6.3	5.7	5.4	5.7	5.5	5.1	4.8	5.2	5.1	4.8	
	0.55	-	-	8.1	7.3	7.6	7.6	7.2	6.6	6.2	6.5	6.3	5.8	X	5.9	6.0	5.5	
	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	7.4	7.0	7.3	7.1	6.6	X	X	6.7	6.2
	0.65	-	-	-	-	-	-	-	-	8.1	7.8	8.1	7.8	7.2	X	X	7.3	6.9
	0.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.9	X	X	-	7.4
	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	8.0
0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	

(Derechos de autor reservados a la Corona Británica.)

- Indica que la mezcla estuvo fuera del rango de las pruebas.

X Indica que la mezcla tendría segregación.

Estas proporciones se basan en densidades de aproximadamente 2.5 para el agregado grueso y de 2.6 para el agregado fino.

Tabla 3.23 Relación agregado/cemento (por peso) requerida para dar 4- grados de trabajabilidad con diferentes granulometrías de agregado irregular de 38.1 mm (1 1/2") (véase figura 3.17).

Tabla 3.24 Relación agregado/cemento (por peso) requerida para dar 4- grados de trabajabilidad con diferentes granulometrías y formas de agregados de 19.05 mm (3/4") (véase figura 3.16).

(a) Agregado redondeado.

Grado de trabajabilidad	Muy bajo				Bajo				Medio				Alto					
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
Número de curva granulométrica en la figura 3.16																		
Relación agua/cemento por peso	0.35	4.5	4.5	3.5	3.2	3.8	3.6	3.2	3.1	3.1	3.0	2.8	2.7	2.8	2.8	2.6	2.5	
	0.40	6.6	6.3	5.3	4.5	5.3	5.1	4.5	4.1	4.2	4.2	3.9	3.7	3.6	3.7	3.5	3.3	
	0.45	8.0	7.7	6.7	5.8	6.9	6.6	5.9	5.1	5.3	5.3	5.0	4.5	4.6	4.8	4.5	4.1	
	0.50	-	-	8.0	7.0	8.2	8.0	7.0	6.0	6.3	6.3	5.9	5.4	5.3	5.7	5.3	4.6	
	0.55	-	-	-	8.1	-	-	8.2	6.9	7.3	7.3	7.4	6.4	6.3	6.5	6.1	5.5	
	0.60	-	-	-	-	-	-	-	7.7	-	-	-	8.0	7.2	X	7.2	6.8	6.1
	0.65	-	-	-	-	-	-	-	8.5	-	-	-	-	7.8	X	7.7	7.4	6.6
	0.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	7.9	7.2
	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	7.6
0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	
0.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	
0.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	-	-	

(Derechos de autor reservados a la Corona Británica.)

- Indica que la mezcla estuvo fuera del rango de las pruebas.

X Indica que la mezcla tendría segregación.

Estas proporciones se basan en densidades de aproximadamente 2.5 para el agregado grueso y de 2.6 para el agregado fino.



Grado de trabajabilidad	Muy bajo				Bajo				Medio				Alto			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Número de curva granulométrica en la figura 3.16																
Relación agua/cemento por peso	0.35	3.7	3.7	3.5	3.0	3.0	3.0	3.0	2.7	2.6	2.7	2.4	2.4	2.5	2.5	2.2
	0.40	4.8	4.7	4.7	4.0	3.9	3.9	3.8	3.5	3.3	3.4	3.5	3.2	3.1	3.2	2.9
	0.45	6.0	5.8	5.7	5.0	4.8	4.8	4.6	4.3	4.0	4.1	4.2	3.9	X	3.9	3.5
	0.50	7.2	6.8	6.5	5.9	5.5	5.5	5.4	5.0	4.6	4.8	4.8	4.5	X	4.4	4.1
	0.55	8.3	7.8	7.3	6.7	6.2	6.2	6.0	5.7	X	5.4	5.4	5.1	X	4.8	4.7
	0.60	9.4	8.6	8.0	7.4	6.8	6.9	6.7	6.2	X	6.0	6.0	5.6	X	X	5.4
	0.65	-	-	-	8.0	7.4	7.5	7.3	6.8	X	X	6.4	6.1	X	X	5.8
	0.70	-	-	-	-	8.0	8.0	7.7	7.4	X	X	6.8	6.6	X	X	6.2
	0.75	-	-	-	-	-	-	-	7.9	X	X	7.2	7.0	X	X	6.6
	0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	7.5	7.4	X	X	7.0
	0.85	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	7.8	7.8	X	X	7.4
0.90	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	8.1	X	X	7.7	
0.95	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	X	X	8.0	
1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	

- Indica que la mezcla estuvo fuera del rango de las pruebas.

X Indica que la mezcla tendría segregación.

Estas proporciones se basan en densidades de aproximadamente 2.5 para el agregado grueso y de 2.6 para el agregado fino.

Tabla 3.24 (Continuación).

Tabla 3.24 (Continuación).

(c) Agregado anguloso

Grado de trabajabilidad	Muy bajo				Bajo				Medio				Alto			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Número de curva granulométrica en la figura 3.16																
Relación agua/cemento por peso	0.35	3.2	3.0	2.9	2.7	2.7	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.3	2.1	2.1
	0.40	4.5	4.2	3.7	3.5	3.5	3.5	3.2	3.0	3.1	3.1	2.9	2.7	2.9	2.8	2.6
	0.45	5.5	5.0	4.6	4.3	4.3	4.2	3.9	3.7	3.7	3.7	3.4	3.3	3.5	3.5	3.2
	0.50	6.5	5.8	5.4	5.0	5.0	4.9	4.5	4.3	4.2	4.2	3.9	3.8	X	3.9	3.8
	0.55	7.2	6.6	6.0	5.6	5.7	5.4	5.0	4.8	4.7	4.7	4.5	4.3	X	X	4.3
	0.60	7.8	7.2	6.6	6.3	6.3	6.0	5.6	5.3	X	5.2	4.9	4.8	X	X	4.7
	0.65	8.3	7.8	7.2	6.9	6.9	6.5	6.1	5.8	X	5.7	5.4	5.2	X	X	5.1
	0.70	8.7	8.3	7.7	7.5	7.4	7.0	6.5	6.3	X	6.2	5.8	5.7	X	X	5.5
	0.75	-	-	8.2	8.0	7.9	7.5	7.0	6.8	X	X	6.2	6.1	X	X	5.8
	0.80	-	-	-	-	-	7.4	7.2	X	X	6.6	6.5	X	X	6.1	6.0
	0.85	-	-	-	-	-	-	7.8	7.6	X	X	7.1	6.9	X	X	6.4
0.90	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	7.5	7.3	X	X	6.7	
0.95	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	8.0	7.6	X	X	7.0	
1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	X	X	7.3	

- Indica que la mezcla estuvo fuera del rango de las pruebas.

X Indica que la mezcla tendría segregación.

Estas proporciones están basadas en densidades de aproximadamente 2.7 para los agregados grueso y fino.

$$\frac{0.48C}{1000} + \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{1.59C}{2.60 \times 1000} + \frac{(1.50 + 4.11)C}{2.50 \times 1000} = 1$$

$$0.00048C + 0.0003174C + 0.0006115C + 0.002244C = 1$$

$$0.0036529C = 1$$

$$C = 273.75 \text{ Kg/m}^3.$$

$$C = 274.0 \text{ Kg/m}^3.$$

En donde  $C = 274 \text{ Kg/m}^3$  y los pesos de los componentes por metro cúbico de concreto son:

Cemento	$274.0 \text{ Kg/m}^3 \times 1 \text{ m}^3$	274.0 Kg.
Agua	$0.48 \times 274 \text{ Kg/m}^3 \times 1 \text{ m}^3$	131.5 Kg.
Agregado fino	$1.59 \times 274 \text{ Kg/m}^3 \times 1 \text{ m}^3$	435.7 Kg.
Agregado de 3/4" - 3/16"	$1.50 \times 274 \text{ Kg/m}^3 \times 1 \text{ m}^3$	411.0 Kg.
Agregado de 1 1/2" - 3/4"	$4.11 \times 274 \text{ Kg/m}^3 \times 1 \text{ m}^3$	<u>1126.1 Kg.</u>
Total		2378.3 Kg.

Por lo que el peso volumétrico del concreto es de:  
 $2378.3 = 2378 \text{ Kg/m}^3$ .

Ahora debe hacerse una mezcla de prueba, ajustando las proporciones -- según sea necesario. Es importante recordar que si va a modificarse la trabajabilidad sin afectar la resistencia, la relación agua/cemento de be permanecer sin alteración. Puede hacerse cambios en la relación -- agregado/cemento o, cuando se dispone de agregados adecuados.

Por el contrario, los cambios en la resistencia, pero no en trabajabilidad, se logran modificando la relación agua/cemento sin alterar el -- contenido de agua de la mezcla. Esto significa que un cambio en la relación agua/cemento debe ir acompañado de un cambio en la relación -- agregado/cemento, de manera que la relación de peso:

agua  
 agua+cemento+agregado  
 sea aproximadamente constante.

Se recordará que los valores de las tablas 3.23 y 3.24 se refieren a --

mezclas en las que el agregado grueso y fino son de la misma forma. En muchos casos se emplea arena natural con agregado grueso triturado, por lo que es necesaria la interpolación entre los valores de las tablas importantes. Supongamos que en el ejemplo anterior se emplea arena bien redondeada con agregado grueso irregular. Tendríamos que interpolar entre la relación agregado/cemento de 7.2 para agregado fino y grueso irregulares y la relación agregado/cemento de x para agregados fino y grueso redondeados.

No existe tabla alguna que dé el valor de x, pero éste puede obtenerse por interpolación adicional; a partir de las tablas 3.23 y 3.24 tenemos los siguientes datos:

Tamaño máximo de agregado.	Forma del agregado	Relación agregado/cemento para una relación agua/cemento de 0.48
3/4"	redondeado	8.7 aproximadamente
3/4"	irregular	6.7 "
1 1/2"	redondeado	x
1 1/2"	irregular	7.2 "

Por lo tanto,  $6.7/7.2 = 8.7/x$ ;  $x = 9.3$

La interpolación entre x y 7.2 rendiría un valor aproximado de 8.4, -- puesto que la influencia de la forma de la arena es mayor que la de la forma de agregado grueso. Es obvio que el valor de 8.4 no es más que -- una guía para una mezcla de prueba.

#### Diseño de mezclas de alta resistencia.

Estamos considerando, por supuesto, concreto cuya alta resistencia se logra mediante dosificaciones adecuadas y no mediante curado con vapor o aplicación de presión.

La principal diferencia reside en el hecho de que la trabajabilidad de la mezcla y el tipo y tamaño máximo del agregado (que, supuestamente, --

tiene un tope elevado de resistencia), así como el requisito de resistencia influyen en la selección de la relación agua/cemento.

Por consiguiente, además del tipo de agregado grueso, debe conocerse ya sea la relación agregado/cemento o la trabajabilidad, a fin de elegir la relación agua/cemento adecuada para la resistencia requerida. Por esto, Brntroy y Shacklock han realizado gráficas empíricas que relacionan la resistencia a la compresión con un "número de referencia" arbitrario, para concretos hechos con agregados gruesos de grava irregular y de granito triturado. Las gráficas para los dos agregados, respectivamente, se reproducen en las figuras 3.22 y 3.23 para mezclas con cemento Portland normal, y en las figuras 3.24 y 3.25 para mezclas de cemento Portland de fraguado rápido.

Una vez obtenido el número de referencia para la resistencia deseada, la relación agua/cemento para dar la trabajabilidad requerida se encuentra con la ayuda de las figuras 3.26 y 3.27 para agregados con tamaño máximo de 19.05 mm (3/4") y de 9.52 mm (3/8"), respectivamente.

Los diversos grados de trabajabilidad, en términos generales, son como los define la tabla 3.20 pero también se ha agregado una trabajabilidad "extremadamente baja", empleada con frecuencia en la fabricación de concreto presforzado.

La relación agregado/cemento puede ahora encontrarse a partir de las tablas 3.25 y 3.26.

Los valores indicados en dichas tablas se obtuvieron con agregados que contenían un 30% de material que pasaba por la malla de 4.76 mm (3/16") por lo que debieron hacerse ajustes adecuados para otras granulometrías.

Debido a la variación en las propiedades de los agregados gruesos, deben prepararse mezclas de prueba en las etapas preliminares del diseño de mezclas.

Nota de advertencia: en elementos grandes deben observarse las consecuencias del intenso calor de hidratación que surge por el elevado con

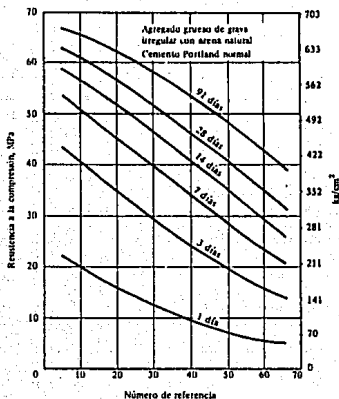
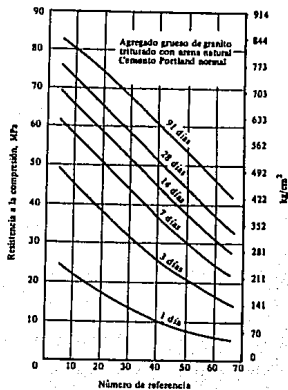


Figura 3.22. Relación entre la resistencia a la compresión de cubos de 102 mm y el "número de referencia" para mezclas que contienen agregado grueso de grava irregular, arena natural y cemento Portland normal.

Figura 3.23. Relación entre la resistencia a la compresión y el "número de referencia" para mezclas que contienen agregado grueso de granito triturado, arena natural y cemento Portland normal.



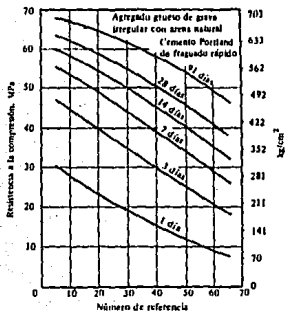
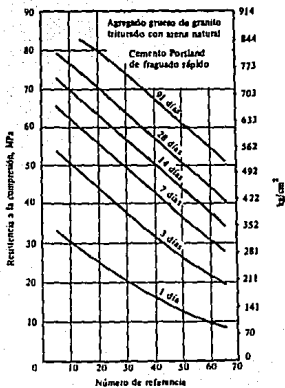


Figura 3.24 Relación entre la resistencia a la compresión y el "número de referencia" para mezclas que contienen agregado grueso de grava irregular, arena natural y cemento Portland de fraguado rápido.

Figura 3.25 Relación entre la resistencia a la compresión y el "número de referencia" para mezclas que contienen agregado grueso de granito triturado, arena natural y cemento Portland de fraguado rápido.

Tipo de agregado grueso	Número de referencia	Relación agua/cemento	Relación agregado/cemento	Contenido de cemento kg/m <sup>3</sup>
Grava irregular	21	0.35	3.2	526
Granito triturado	37	0.43	5.1	370



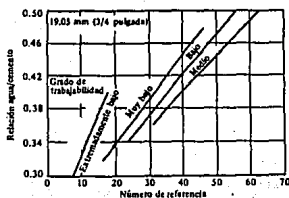
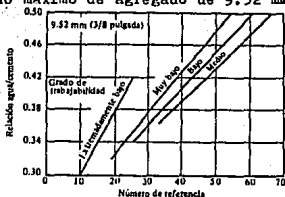


Figura 3.26 Relación entre la relación agua/cemento y el "número de referencia" para tamaño máximo de agregado de 19.05 mm (3/4").

Figura 3.27 Relación entre la relación agua/cemento y el "número de referencia" para tamaño máximo de agregado de 9.52 mm (3/8").



Tipo de agregado grueso*	Grava Irregular				Granito triturado												
Tamaño máximo del agregado	19.05 mm (¾")				9.52 mm (⅜")				19.05 mm (¾")				9.52 mm (⅜")				
Grado de trabajabilidad†	EB	MB	B	M	EB	MB	B	M	EB	MB	B	M	EB	MB	B	M	
Relación agua/cemento por peso	0.30	3.0	-	-	2.4	-	-	-	3.3	-	-	-	2.9	-	-	-	
	0.32	3.8	2.5	-	3.2	-	-	-	4.0	2.6	-	-	3.6	2.3	-	-	
	0.34	4.5	3.0	2.5	-	3.9	2.6	-	4.6	3.2	2.6	-	4.2	3.8	2.3	-	
	0.36	5.2	3.5	3.0	2.5	4.6	3.1	2.6	-	5.2	3.6	3.1	2.6	4.7	3.2	2.7	2.3
	0.38	-	4.0	3.4	2.9	5.2	3.5	3.0	2.5	-	4.1	3.5	2.9	5.2	3.6	3.0	2.6
	0.40	-	4.4	3.8	3.2	-	3.9	3.3	2.7	-	4.5	3.8	3.2	-	4.0	3.3	2.9
	0.42	-	4.9	4.1	3.5	-	4.3	3.6	3.0	-	4.9	4.2	3.5	-	4.4	3.6	3.1
	0.44	-	5.3	4.5	3.8	-	4.7	3.9	3.3	-	5.3	4.5	3.7	-	4.8	3.9	3.3
	0.46	-	-	4.8	4.1	-	5.1	4.2	3.6	-	-	4.8	4.0	-	5.1	4.2	3.6
0.48	-	-	5.2	4.4	-	5.4	4.5	3.8	-	-	5.1	4.2	-	5.5	4.5	3.8	
0.50	-	-	5.5	4.7	-	-	4.8	4.1	-	-	5.4	4.5	-	-	4.7	4.0	

\* Arena natural empleada en combinación con los dos tipos de agregado grueso.

† EB = Extremadamente bajo

MB = Muy bajo

B = Bajo

M = Medio

Véase la tabla 3.20

Tabla 3.25 Relación agregado/cemento (por peso) requerida para proporcionar cuatro grados de trabajabilidad con diferentes relaciones agua/cemento empleando cemento Portland normal.

Tabla 3.26 Relación agregado/cemento (por peso) requerida para proporcionar cuatro grados de trabajabilidad con diferentes relaciones agua/cemento, empleando cemento Portland de fraguado rápido.

Tipo de agregado grueso*	Grava Irregular				Granito triturado												
Tamaño máximo del agregado	19.05 mm (¾")				9.52 mm (⅜")				19.05 mm (¾")				9.52 mm (⅜")				
Grado de trabajabilidad†	EB	MB	B	M	EB	MB	B	M	EB	MB	B	M	EB	MB	B	M	
Relación agua/cemento por peso	0.32	2.6	-	-	-	-	-	-	2.9	-	-	-	2.5	-	-	-	
	0.34	3.4	2.2	-	2.8	-	-	-	3.6	2.4	-	-	3.2	-	-	-	
	0.36	4.1	2.7	2.3	-	3.5	2.4	-	4.3	2.9	2.4	-	3.9	2.5	-	-	
	0.38	4.8	3.2	2.8	2.3	4.2	2.9	2.4	-	4.9	3.4	2.9	2.4	4.5	3.0	2.5	-
	0.40	5.5	3.7	3.2	2.7	4.9	3.3	2.8	2.3	5.5	3.9	3.3	2.7	5.0	3.4	2.9	2.4
	0.42	-	4.2	3.6	3.0	-	3.7	3.1	2.6	-	4.2	3.6	3.0	5.5	3.8	3.2	2.7
	0.44	-	4.6	4.0	3.4	-	4.1	3.5	2.9	-	4.7	4.0	3.3	-	4.2	3.5	3.0
	0.46	-	5.0	4.3	3.7	-	4.5	3.8	3.2	-	5.1	4.3	3.6	-	4.6	3.8	3.2
	0.48	-	5.5	4.7	4.0	-	4.9	4.1	3.5	-	5.5	4.6	3.9	-	5.0	4.1	3.4
0.50	-	-	5.0	4.3	-	5.2	4.4	3.7	-	-	4.9	4.1	-	5.3	4.4	3.7	

\* Arena natural empleada en combinación con los dos tipos de agregado grueso.

† EB = Extremadamente bajo

MB = Muy bajo

B = Bajo

M = Medio

Véase la tabla 3.20



tenido de cemento. El aumento de temperatura puede afectar el fraguado. Asimismo, la contracción puede ser excesiva.

### Ejemplo

Se requiere una mezcla de muy baja trabajabilidad con resistencia a la compresión a los 28 días de  $598 \text{ Kg/cm}^2$ , utilizando cemento Portland normal y agregado de  $19.05 \text{ mm}$  ( $3/4''$ ), ya sea de grava irregular o de granito triturado.

La tabla 3.25 indica la relación agregado/cemento para cada mezcla. Dadas las relaciones agua/cemento y agregado/cemento, así como las densidades relativas de los materiales (digamos 2.6 para todos los agregados), el contenido de cemento de la mezcla puede calcularse aplicando la fórmula de la sección Método de cálculo por volumen absoluto.

El empleo de granito triturado produce una mezcla más pobre, pero la elección del agregado dependería, naturalmente, de su disponibilidad y costo. Ahora deben hacerse las mezclas de prueba, seguidas de ajustes de granulometría y dosificación de mezcla, según se requiera.

### Concreto de resistencia muy elevada.

El concreto de resistencia muy elevada, bastante mayor que las consideradas hasta ahora, puede obtenerse empleando técnicas especializadas, pero no existen procedimientos de diseño de mezclas de este tipo.

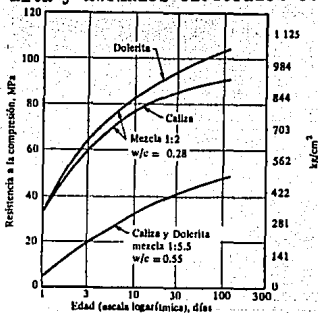
Son posibles las resistencias hasta de  $1406 \text{ Kg/cm}^2$ , empleando técnicas comerciales de combinación de presión y vibración.

El empleo de agregado aglutinante también eleva la resistencia del concreto, proporcionando una mejor resistencia de adherencia entre la pasta de cemento y el agregado, pero su costo es, naturalmente, bastante elevado.

Pueden obtenerse más fácilmente resistencias hasta de  $984 \text{ Kg/cm}^2$ . El mezclado de la lechada a alta velocidad es uno de los medios disponibles; el costo adicional es moderado. Los vibradores electromagnéticos operados a frecuencias hasta de  $5000 \text{ Hz}$  pueden compactar el cemento, no sólo el agregado, a una densidad mayor. Pero aun las técnicas y materiales convencionales pueden producir dichas resistencias: Parrott -

empleó una mezcla 1:2 con un 90% de agregado de 9.52 a 4.76 mm (de 3/8 a 3/16"), 10% de agregado fino, cemento Portland de fraguado rápido y relación agua/cemento de 0.28 Véase figura 3.28.

Figura 3.28 Relación entre la edad y la resistencia para concretos --- de resistencia muy alta y normales elaborados con dos agregados.



Cabe señalar que la gran influencia entre la resistencia de esta mezcla y una convencional se puede observar después de un día; la adquisición posterior de resistencia no es mucho mayor. La resistencia a la tensión de dichas mezclas también es mayor pero parece que existe un tope de aproximadamente  $63 \text{ Kg/cm}^2$ .

Parenchio y Klieger hicieron concretos con resistencia hasta de  $816 \text{ Kg/cm}^2$ , medida en cilindros estándar a los 28 días, empleando relación agua/cemento de 0.3, contenido de cemento tipo III de casi  $600 \text{ Kg/m}^3$  y tamaño máximo de agregado de  $4.75 \text{ mm}$  ( $3/16''$ ), que rinde un contenido de pasta de cemento del 36% por volumen.

El empleo de concreto de muy elevada resistencia requiere cuidado en el diseño estructural, ya que las deformaciones implicadas son grandes. Asimismo, la relación entre el módulo de elasticidad y la resistencia no es la misma en lo que se refiere a que el incremento en la resistencia no va acompañado por el incremento en el módulo. Véase figura 3.29.

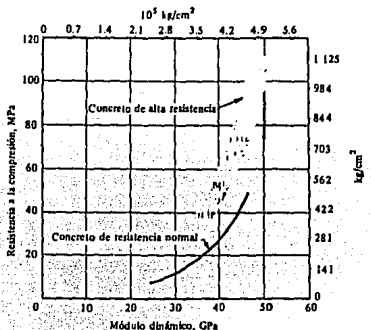


Figura 3.29 Relación entre la resistencia y el módulo dinámico de elasticidad para concreto de resistencia muy alta.

Así pues, una relación esfuerzo/resistencia dada produciría una deformación mayor en elementos de concreto de muy elevada resistencia que cuando se emplean mezclas convencionales.

Pueden alcanzarse resistencias mucho más elevadas con el curado con vapor a alta presión; se han obtenido  $1,737 \text{ Kg/cm}^2$  empleando cemento Portland de fraguado rápido, cuarzo triturado, agregado silíceo (8 mm de tamaño máximo) y superfluidificante; la relación agua/cemento era de 0.35 y la relación agregado/cemento era de 2.5.

Después de 10 horas el concreto se curó con vapor a baja presión a  $60^\circ\text{C}$ , durante 5 u 8 horas y, posteriormente, se curó con vapor a alta presión, de 180 a  $200^\circ\text{C}$ , durante 15 horas. En tanto que el concreto resultante tuvo una deformación por falla de no menos de  $4000 \times 10^{-6}$ , la curva esfuerzo - deformación fue casi lineal y la falla fue frágil.

### Diseño para resistencia a la flexión.

En las secciones anteriores hemos considerado la resistencia a la compresión del concreto, que es de hecho el criterio más usual de resistencia. No obstante, en algunos tipos de construcción, como carreteras y pistas de aterrizaje, a menudo se prefiere el diseño de mezclas con base en la resistencia a la flexión. El procedimiento es básicamente el mismo, excepto que la forma de las partículas del agregado grueso afecta la conexión entre la relación agua/cemento y la resistencia a la flexión, tanto en mezclas de baja resistencia como en las de resistencia elevada.

Puesto que con una relación agua/cemento dada el agregado angular produce una resistencia a la flexión más elevada que el agregado redondeado o irregular, se deduce que al diseñar una mezcla para una resistencia a la flexión especificada debe emplearse una relación agua/cemento menor con agregado redondeado o irregular, que la empleada con agregado angular. El empleo de una relación agua/cemento más baja significa que debe emplearse una relación agregado/cemento menor, es decir, se requiere una mezcla más rica. En otras palabras, para una misma resistencia a la flexión, el agregado redondeado requiere un contenido de cemento más elevado. Esto ocurre a pesar de que para una relación agua/cemento dada, para producir la misma trabajabilidad el agregado angular requiere una mezcla más rica que cuando se emplea agregado redon-

iendo. Este último efecto es dominante cuando la resistencia a la compresión constituye el criterio a seguir, ya que la forma del agregado por sí misma no influye en la resistencia a la compresión (excepto con resistencias elevadas) y sólo los efectos del requerimiento de agua -- son evidentes.

Estos efectos se muestran claramente en un ejemplo numérico basado en datos de Wright. Supongamos que se requiere un concreto con módulo mínimo de ruptura de  $35 \text{ Kg/cm}^2$  a los 28 días. La trabajabilidad va a ser "muy baja" y el agregado es de  $19.0 \text{ mm}$  ( $3/4''$ ) de tamaño máximo. Se puede emplear agregado irregular de grava o angular de roca triturada; la relación entre el módulo de ruptura y la relación agua/cemento para -- concretos hechos con estos dos agregados se muestra en la figura 3.30,

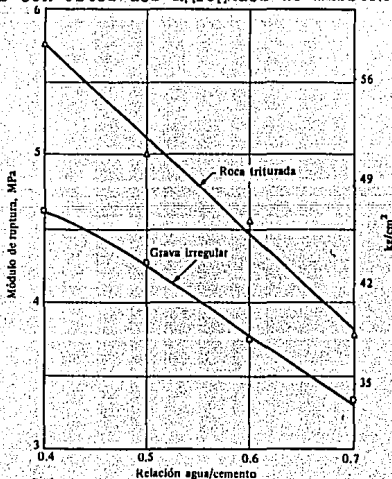


Figura 3.30 Relación entre el módulo de ruptura a los 28 días y la relación agua/cemento.

basada en los resultados obtenidos por Wright, cuyo enfoque fue perfeccionado en un trabajo posterior.

Cuando el control de calidad de las operaciones es muy bueno, la resistencia mínima requerida se indica en la tabla 3.14, como el 75% de la-

resistencia media. Por lo tanto, la resistencia media requerida es de  $35/0.75 = 46.7 \text{ Kg/cm}^2$ .

La anterior figura muestra que esta resistencia puede alcanzarse con valores de relación agua/cemento de 0.41 para agregado irregular y de 0.58 para agregado angular.

Para encontrar la relación agregado/cemento que produzca muy baja trabajabilidad para los valores de relación agua/cemento dados y los tipos relevantes de agregado consultamos la tabla 3.24.

Supongamos que la granulometría del agregado corresponde a la curva - No. 1 de la figura 3.25.

Las relaciones agregado/cemento requeridas son 5.0 para agregado irregular con relación agua/cemento de 0.41, y 7.6 para agregado angular - con relación agua/cemento de 0.58. Es obvio que el empleo de agregado- angular conduce a una mezcla más pobre.

Como contraste, calculemos brevemente las proporciones con base en una resistencia a la compresión mínima de  $288 \text{ Kg/cm}^2$ , sin alterar los demás factores. La resistencia media es de  $288/0.75 = 384 \text{ Kg/cm}^2$  a los - 28 días y, empleando cemento Portland de fraguado rápido, esto corresponde a una relación agua/cemento de 0.55 para cualquier tipo de agregado, ya que la resistencia a la compresión es sensiblemente independiente de la forma de las partículas del agregado. La tabla anterior - indica la relación agregado/cemento de 6.5 para agregado irregular, y de 7.2 para agregado angular, por lo que desde el punto de vista de resistencia a la compresión, esta última requiere una mezcla más rica.

#### Diseño de mezclas con aire incluido.

Cuando el concreto deba tener aire incluido, el procedimiento descrito anteriormente requiere modificaciones para dar lugar al efecto del aire incluido sobre la resistencia y la trabajabilidad.

Cuando la resistencia del concreto con aire incluido deba ser la misma que la de la mezcla sin aire incluido, es necesario basar el diseño -- inicial de mezcla en una resistencia más elevada que la deseada realmente. La pérdida de resistencia de compresión debida a las cavidades -- es de alrededor del 5.5% por cada porcentaje de aire incluido, pero, - puesto que la inclusión de aire permite reducir el contenido de agua, -- no es necesario dar margen a la pérdida total de resistencia correspondiente al volumen de aire incluido. El valor real del exceso de resistencia que debe agregarse varía según la riqueza de la mezcla, pero -- por lo general es del 10%. La relación agua/cemento correspondiente a la resistencia incrementada se encuentra, entonces, de la manera habi-

tual, al igual que las proporciones de los otros componentes.

Estas proporciones de mezcla se convierten a volúmenes absolutos y el volumen ocupado por cada componente se expresa como el porcentaje del volumen total del concreto; en esta etapa se ignora el volumen de aire. Sin embargo, puesto que el aire incluido ocupa parte del volumen total del concreto, el volumen del agregado puede reducirse por el volumen de aire incluido. Wright, quien sugirió este método de diseño de mezcla, recomienda que se reste alrededor del 1% del porcentaje total del volumen de aire del volumen del agregado grueso y, la parte restante, del volumen del agregado fino, ya que el aire se comporta como las partículas finas del agregado.

No obstante, la adición de aire incluido también afecta los requerimientos de agua de la mezcla; la corrección necesaria puede hacerse de acuerdo con la figura 3.31.

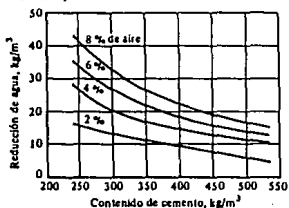


Figura 3.31 Reducción del agua de mezclado necesaria, debida a la inclusión de aire.

o bien reduciendo una cantidad  $W$  por cada porcentaje de aire el porcentaje del volumen de agua.

Los valores experimentales de  $W$ , determinados por Wright, se indican en la tabla 3.27.

Tabla 3.27 Valores  $W$  de Wright para agregado de tamaño máximo de 19.05 mm (3/4")

Relación agregado/ cemento	$W$ , porcentaje		
	Grava redondeada	Grava irregular	Roca triturada
6	0.325	0.375	0.425
7.5	0.40	0.45	0.50
9	0.45	0.50	0.55



Sin embargo, puesto que el volumen total del concreto debe mantenerse constante, la reducción del volumen de agua debe compensarse por un incremento correspondiente en el volumen del agregado. Esto es mejor --- hacerlo de manera que la relación de agregado fino y grueso se mantenga constante.

Los volúmenes ajustados de los componentes de la mezcla se vuelven a --- convertir ahora a peso y se expresan como relaciones de la manera ---- usual.

#### Método estadounidense para el diseño de mezclas.

En la práctica, el método de diseño de mezclas empleado más ampliamente es el del American Concrete Institute, espuesto en las normas: 211.1 - 77 y 211.3 - 75 del ACI. El método del ACI se funda en el hecho de que para un tamaño máximo dado de agregado, el contenido de --- agua en kilogramos por metro cúbico determina la trabajabilidad de la mezcla, independientemente de las proporciones de la mezcla. El contenido relativo de agua para diversas trabajabilidades se indica en las tablas 3.21a y 3.21b indica el contenido real para una consistencia -- (plástica) de referencia. De esta manera es posible iniciar el diseño de la mezcla, seleccionando el contenido de agua a partir de estas dos tablas. Los valores indicados son para agregados gruesos angulares --- bien formados y, en la práctica, hay algunas variaciones debidas a diferencias en la forma y textura del agregado. Debemos agregar también que en mezclas con un exceso en el contenido de cemento de 360 ó 390 - Kg/m<sup>3</sup> el requerimiento de agua es mayor.

Se supone, además, que la relación óptima del volumen bruto del agregado grueso con el volumen total del concreto depende sólo del tamaño máximo de agregado y de la granulometría del agregado fino.

La forma de las partículas de agregado grueso no entra directamente en la relación, puesto que, por ejemplo, un agregado triturado tiene mayor volumen bruto, conservando el mismo peso (es decir, menor peso volumétrico) que un agregado redondeado. Por lo tanto, el factor de forma se toma en cuenta automáticamente en la determinación del peso volu

métrico. La tabla 3.28,

Tamaño máximo de agregado		Volumen de agregado grueso compactado con varilla, por volumen unitario de concreto para módulo de finura de la arena de:			
mm	pulgadas	2.40	2.60	2.80	3.00
10	$\frac{3}{8}$	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	$\frac{1}{2}$	0.59	0.57	0.55	0.53
20	$\frac{3}{4}$	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 $\frac{1}{2}$	0.75	0.73	0.71	0.69
50	2	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3	0.82	0.80	0.78	0.76
150	6	0.87	0.85	0.83	0.81

Los valores dados producirán una mezcla con una trabajabilidad adecuada para concreto reforzado. Para concreto menos trabajable, tal como el usado en la construcción de pavimentos de concreto, los valores pueden ser incrementados en un 10%. Para concretos más trabajables tales como los requeridos para colocarse mediante bombeo, los valores pueden reducirse en un 10%.

Tabla 3.28 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

indica valores del volumen óptimo de agregado grueso cuando se emplean agregados finos de diferentes módulos de finura para la consistencia (plástica) de referencia. Para otras consistencias, los valores de la tabla anterior deben multiplicarse por uno de los factores indicados en la tabla 3.29

Consistencia	Factor para tamaño máximo de agregado de:				
	10 mm ( $\frac{3}{8}$ " )	12.5 mm ( $\frac{1}{2}$ " )	20 mm ( $\frac{3}{4}$ " )	25 mm (1" )	40 mm (1 $\frac{1}{2}$ " )
Extremadamente seco	1.90	1.70	1.45	1.40	1.30
Muy rígido	1.60	1.45	1.30	1.25	1.25
Rígido	1.35	1.30	1.15	1.15	1.20
Rígido plástico	1.08	1.06	1.04	1.06	1.09
Plástico (referencia)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fluido	0.97	0.98	1.00	1.00	1.00

Tabla 3.29 Factores aplicables al volumen de agregado grueso, calculados con base en la tabla 3.28, para mezclas de consistencia que no sea plástica.

Así pues, una vez elegido el tamaño máximo y el tipo de agregado, para poder obtener concreto de cierta trabajabilidad, consideramos el contenido de agua de las tablas 3.21a y 3.21b y el peso volumétrico del agregado grueso de la tabla 3.28. Dada la densidad relativa del agre-

gado grueso, se determina su volumen absoluto. Se elige ahora la relación agua/cemento de la manera habitual para satisfacer los requisitos tanto de resistencia como de durabilidad y se calcula el contenido de cemento dividiendo el contenido de agua por la relación agua/cemento. Tenemos, entonces, los volúmenes absolutos de agua, agregado grueso y cemento y, restando la suma de éstos del volumen total de concreto, encontramos el volumen absoluto del agregado fino que hay que agregar a la mezcla. Si se multiplica este volumen por la densidad relativa del agregado fino y por el peso unitario del agua, se obtiene el peso de la arena. Opcionalmente, el peso del agregado fino puede obtenerse directamente, restando el peso total de otros componentes del peso de un volumen unitario de concreto, cuando éste puede estimarse por experiencia. Este enfoque es ligeramente menos preciso que el método de volumen absoluto.

Cuando se emplea aire incluido, debe dejarse lugar para su volumen antes de calcular el volumen del agregado fino.

El método de diseño de mezclas del ACI (Instituto Americano del Concreto) puede programarse fácilmente para hacer uso de una computadora.

#### Ejemplo:

Se requiere concreto para una sección de una estructura, las consideraciones estructurales exigen que tenga una resistencia promedio a la compresión a los 28 días de  $250 \text{ Kg/cm}^2$ , se determina que las condiciones en que se hará el colado, implican un revenimiento de 8 a 10 cm. y que el agregado grueso de  $1\frac{1}{2}''$  ó 40 mm. es el adecuado. Se estima que el peso de varillado en seco del agregado grueso es de  $1,600 \text{ Kg/m}^3$ .

#### Datos:

$$f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2.$$

Revenimiento = 8 a 10 cm.

$$TMA = 1\frac{1}{2}''.$$

Propiedades físicas de los agregados:

Material	M.F.	Peso Volumétrico	Peso Específico o densidad	Absorción	Humedad Total
Cemento		1,515	3.15		
Agua		1,000	1.00		
Grava 1 1/2"		1,600	2.68	0.5%	2%
Arena	2.8	1,180	2.64	0.7%	6%

**Cálculo:****Primero:**

Obtención del revestimiento por medio de la tabla(a).

En este caso especial, nos dan el revestimiento como dato y es igual - 8 a 10 cm.

**Segundo:**

Tamaño máximo del agregado grueso = 1 1/2" ó 40 mm.

**Tercero:**

Obtener el contenido de agua por M<sup>3</sup> de concreto por medio de la tabla - (b).

$$175 \text{ Kg/m}^3 \text{ y contiene } 1\% \text{ de aire.}$$

**Cuarto:**

Obtener la relación agua/cemento por medio de la tabla(c).

$$\text{Relación agua/cemento} = 0.62$$

**Quinto:**

Obtener el contenido de cemento en función del paso tercero y cuarto, - esto es:

$$175/0.62 = 282 \text{ Kg/m}^3.$$

**Sexto:**

Obtener el contenido de agregado grueso por medio de la tabla(d).

$$\text{Volumen de agregado grueso} = 0.71$$

∴ El peso de agregado grueso =  $0.71 \times 1600 = 1,136 \text{ Kg.}$

**Séptimo:**

Establecidas las cantidades de agua, cemento y agregado grueso, puede obtenerse el material restante que consiste en arena y aire para completar un metro cúbico de concreto. La arena puede determinarse con base en el peso o en volumen.

Con base en el peso.

Por medio de la tabla(e) se estima que el peso de un metro cúbico de concreto sin aire incluido, hecho con agregado de tamaño máximo de:  $1\frac{1}{2}$ " ó 40 mm, es de  $2,420 \text{ Kg/m}^3$ .

Los pesos ya conocidos son:

Agua(mezclado neto)	175 Kg.
Cemento	282 Kg.
Agregado grueso	<u>1,136 Kg.</u>
Total	1,593 Kg.

∴ El peso de la arena es:

$$2,420 \text{ Kg/m}^3 - 1,593 \text{ Kg/m}^3 = 827 \text{ Kg.}$$

Con base en el volumen absoluto.

Una vez establecidas las cantidades de cemento, agua y agregado grueso y tomando de la tabla(b) el contenido aproximado de aire atrapado, el contenido de arena puede calcularse de la siguiente manera:

Volumen de agua	= $175/1000$	= $0.175 \text{ m}^3$
Volumen sólido de cemento	= $282/3.15 \times 1000$	= $0.089 \text{ m}^3$
Volumen sólido de agregado grueso	= $1136/2.68 \times 1000$	= $0.42 \text{ m}^3$
Volumen de aire incluido	= $0.01 \times 1$	= <u><math>0.01</math></u>
Volumen sólido total de los componentes, exceptuando la arena		= $0.698 \text{ m}^3$

∴ Volumen sólido requerido de arena =  $1 - 0.698 = 0.302 \text{ m}^3$

Peso requerido de arena seca =  $0.302 \times 2.64 \times 1000 = 797 \text{ Kg.}$

Comparando ambos procedimientos.  
(para un metro cúbico de concreto)

	Por peso Kg.	Por volumen Kg.
Agua	175	175
Cemento	282	282
Grava(seca)	1,136	1,136
arena(seca)	827	797

#### Octavo:

Pesos ajustados del agregado.

Agregado grueso(mojado) =  $1,136 \times 1.02 = 1,159$  Kg.

Agregado fino (mojado) =  $827 \times 1.06 = 877$  Kg.

El agua absorbida no forma parte del agua de mezclado y debe quedar --  
excluida del ajuste de agua adicional. ∴ el agua superficial proporcio-  
nada por el agregado grueso será  $2 - 0.5\% = 1.5\%$  y del agregado fino, -  
 $6 - 0.7\% = 5.3\%$  ∴ el requerimiento estimado de adición de agua será:

$$175 - 1,136(0.015) - 827(0.053) = 114 \text{ Kg.}$$

∴ los pesos estimados de mezclas para un metro cúbico de concreto son:

Agua (por añadir)	114 Kg.
Cemento	282 Kg.
Agregado grueso(mojado)	1,159 Kg.
Agregado fino (mojado)	877 Kg.

#### Noveno:

Para la mezcla de prueba de laboratorio, se consideró reducir los pe-  
sos para producir  $0.023 \text{ m}^3$  de concreto.

La cantidad calculada de agua por añadir es 2.62, pero la cantidad que  
se empleó en realidad para obtener 8 ó 10 cm. de revenimiento fue de -  
3.17 Kg. ∴ La mezcla se compone de:

#### Nota:

Las cantidades obtenidas de agua, cemento, agregados grueso y fino del  
octavo paso(anterior) se multiplican por  $0.023 \text{ m}^3$  de concreto.

Agua(añadida)	3.17 Kg.
Cemento	6.49 Kg.
Agregado grueso(mojado)	26.66 Kg.
Agregado fino (mojado)	<u>20.17 Kg.</u>
	56.49 Kg.

El concreto tiene un revenimiento medido de 5 cm y un peso unitario de  $2,390 \text{ Kg/m}^3$ .

Para proporcionar la fluencia apropiada y otras características para mezclas futuras, se hacen los siguientes ajustes.

La fluencia de la mezcla de prueba es:

$$56.49/2,390 = 0.0236 \text{ m}^3.$$

y el contenido de agua añadida es =  $3.17 \text{ Kg.} + (26.66/1.02 \times 0.015)$  en el agregado grueso +  $(20.17/1.06 \times 0.053)$  del agregado fino.

$$\therefore 3.17 + 0.39 + 1.0 = 4.57 \text{ Kg.}$$

$\therefore$  el agua de mezclado requerida para un metro cúbico es:

$$4.57/0.0236 = 194 \text{ Kg.}$$

Como el revenimiento es menor debemos incrementar 2 kg., para elevar el revenimiento de los 5 cm medidos, a los 8 ó 10 cm. deseados.  $\therefore$  el agua neta será:

$$194 + 2 = 196 \text{ Kg.}$$

Por consiguiente con el incremento del agua de mezclado, se requerirá cemento adicional para obtener la relación agua/cemento de 0.62. Entonces, el nuevo contenido de cemento será:

$$196/0.62 = 316 \text{ Kg.}$$

La cantidad de agregado grueso por metro cúbico será:

$$26.66/0.0236 = 1,130 \text{ Kg. (mojado)}$$

$$1,130/1.02 = 1,108 \text{ Kg. (seco)}$$

y

$$1,108(1.005) = 1,113 \quad (\text{SSS})$$

∴ la cantidad de arena requerida será:

$$2,390 - (196 + 316 + 1,113) = 765 \text{ Kg. (SSS)}$$

$$\text{ó } 765/1.007 = 760 \text{ Kg. (suco)}$$

Los pesos básicos ajustados, por metro cúbico de concreto, son:

Agua (mezclado neto) 196 Kg.

Cemento 316 Kg.

Agregado grueso (seco) 1,108 Kg.

Agregado fino (seco) 760 Kg.



Tipo de construcción	Revenimiento, cm	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas reforzadas	8	2
Zapatas, campanas y muros de subestructura sencillos	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas para edificios	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo	5	2

\* Pueden incrementarse en 2.5 cm cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado.

Tabla (a) Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.

Tabla (b) Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado.

Revenimiento, cm	Agua, Kg/m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado, mm.							
	10*	12.5*	20*	25*	40*	50†*	70††	150†††
Concreto sin aire incluido								
de 3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
de 8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
de 15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin inclusión de aire, expresado como un porcentaje								
	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
de 3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
de 8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
de 15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	—
Promedio recomendado** del contenido total de aire, porcentaje de acuerdo con el nivel de exposición:								
Exposición ligera	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5***††	1.0***††
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0	3.5***†††	3.0***†††	—
Exposición severa †† ††	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5***†††	4.0***†††

\* Estas cantidades de agua de mezclado se emplean para calcular factores de cemento en mezclas de prueba. Son cantidades máximas de agregados gruesos angulares, razonablemente bien formados y con granulometría dentro de los límites de especificaciones aceptadas.

† Los valores de revenimiento para concreto con agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de revenimiento después de la remoción de las partículas mayores de 40 mm, mediante tamizado húmedo.

Resistencia a la compresión a los 28 días, kg/cm <sup>2</sup> *	Relación agua/cemento por peso	
	Concreto sin aire incluido <sup>4</sup>	Concreto con aire incluido
420	0.41	—
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

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

La resistencia se basa en cilindros de 15 x 30 cm, curados con humedad a los 28 días, a 23 ± 1.7°C, de acuerdo con la sección 9 (b) de la norma ASTM C31.

La relación supone un tamaño máximo de agregado de 3/4 a 1"; para para un banco dado, la resistencia producida por una relación agua/cemento dada se incrementará conforme se reduce el tamaño máximo de agregado. Consultense las secciones 3.4 y 5.3.2.

Correspondencia entre la relación agua/cemento y la resistencia a la correspondencia del concreto.

Tabla (c) Relaciones agua/cemento máximas permisibles para concreto -- sujeto a exposiciones severas.

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente mojada y expuesta a congelación y deshielo †	Estructura expuesta al agua del mar o a sulfatos
Secciones esbeltas (barandales, garriones, umbrales, ménsulas, trabajos ornamentales) y secciones con menos de 3 cm de recubrimiento sobre el acero de refuerzo	0.45	0.40 ++
Todas las demás estructuras	0.50	0.45 ++

\* Basado en el Informe del Comité ACI 201, "Durability of Concrete in Service", previamente citado.

† El concreto también debe tener aire incluido.

++ Si se emplea cemento resistente a los sulfatos (Tipo II y Tipo V de la norma ASTM C150), la relación agua/cemento permisible puede incrementarse en 0.05.

Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso* varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10 (3/8")	0.50	0.48	0.48	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
20 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
40 (1 1/2")	0.77	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
70 (3")	0.87	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

\* Los volúmenes están basados en agregados en condiciones de varillado en seco, como se describe en la norma ASTM C29. Estos volúmenes se han seleccionado a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado a la construcción reforzada común. Para concretos menos trabajables, como los requeridos en la construcción de pavimentos de concreto, pueden incrementarse en un 10% aproximadamente. Para concretos más trabajables, véase la sección 5.3.8.1.

Tabla (d) Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

Tabla (e) Cálculo tentativo del peso del concreto fresco.

Tamaño máximo de agregado, mm	Cálculo tentativo del peso del concreto, kg/m <sup>3</sup>	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
10 (3/8")	2 285	2 190
12.5 (1/2")	2 315	2 235
20 (3/4")	2 355	2 280
25 (1")	2 375	2 315
40 (1 1/2")	2 420	2 355
50 (2")	2 445	2 375
70 (3")	2 465	2 400
150 (6")	2 505	2 435

\* Valores calculados por medio de la ecuación 5.1 para concreto de riqueza mediana (330 kg de cemento por m<sup>3</sup>) y revenimiento medio con agregado de peso específico de 2.7. Los requerimientos de agua se basan en valores de la tabla 5.3.3, para revenimiento de 8 a 10 cm. Si no desea, el peso estimado puede ajustarse como sigue, cuando se disponga de la información necesaria: por cada 5 kg de diferencia en los valores de agua de mezclado de la tabla 5.3.3 para revenimiento de 8 a 10 cm, corregir el peso por m<sup>3</sup> en 8 kg en dirección contraria; por cada 20 kg de diferencia en contenido de cemento de 330 kg, corregir el peso por m<sup>3</sup> en kg en la misma dirección; por cada 0.1 que el peso específico del agregado se desvíe de 2.7, debe corregirse el peso del concreto en 70 kg en la misma dirección.

Tabla 3.30(a) Comparación entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión de concreto, según la norma AGI 211.3 - 75.

<i>Resistencia a la compresión a 28 días*</i>		<i>Relación agua/cemento (por peso)</i>	
<i>kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>MPa</i>	<i>Concreto sin aire incluido</i>	<i>Concreto con aire incluido</i>
492	48	0.33	--
422	41	0.41	0.32
352	34	0.48	0.40
281	28	0.57	0.48
211	21	0.68	0.59
141	14	0.82	0.74

\* Medida en cilindros estándar. Los valores indicados son para tamaños máximos de agregado de 20 a 25 mm (de ¾" a 1").

Tabla 3.30(b) Relaciones máximas permisibles agua/cemento para diferentes tipos de estructuras bajo exposición severa, según la norma: AGI 211.1 - 77.

<i>Tipo de estructura</i>	<i>Condición de exposición</i>	
	<i>Estructura constantemente mojada y expuesta a congelación o deshielo*</i>	<i>Estructura expuesta a agua de mar o a sulfatos</i>
<b>Secciones delgadas tales como barandales, guarniciones, alfézares, cornisas, trabajos ornamentales y secciones con menos de 25 mm de recubrimiento en el acero de refuerzo</b>	0.45	0.40*
<b>Todas las demás estructuras</b>	0.50	0.45*

\* Se deberá emplear concreto con aire incluido en todas las condiciones que impliquen exposición severa.

\* Cuando se emplee cemento Tipo II o Tipo V, se puede incrementar la relación máxima agua/cemento en un 0.05.

Agregado	Tipo	Contenido de agua, kg/m <sup>3</sup> para:				
		Revenimiento, mm (pulgadas)	0-10 (0- $\frac{1}{2}$ )	10-30 ( $\frac{1}{2}$ -1)	30-60 (1-2)	60-180 (2 $\frac{1}{2}$ -7)
Tamaño máximo de agregado mm		Vebe, s	>12	6-12	3-6	0-3
10 ( $\frac{3}{8}$ )	No triturado		150	180	205	225
	Triturado		180	205	230	250
20 ( $\frac{3}{4}$ )	No triturado		135	160	180	195
	Triturado		170	190	210	225
40 (1 $\frac{1}{2}$ )	No triturado		115	140	160	175
	Triturado		155	175	190	205

Tabla 3.31 Contenido aproximado de agua libre requerida para proporciónar diversos niveles de trabajabilidad, de acuerdo con el 1975 British Method.

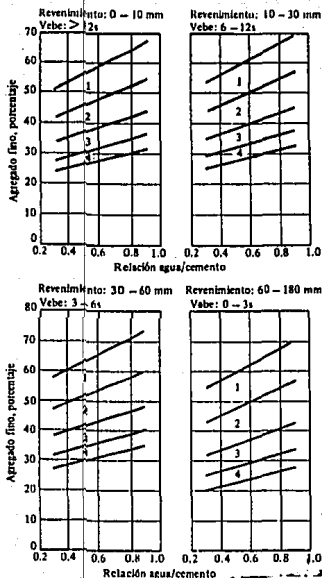
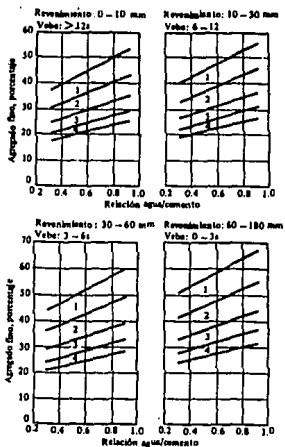


Figura 3.32 Peso de agregado fino recomendable ( expresado como porcentaje del agregado total) como función de la relación agua libre/cemento para diversas trabajabilidades y tamaños máximos. (Los números se refieren a las zonas granulométricas de la BS 382: parte: 2 1973).

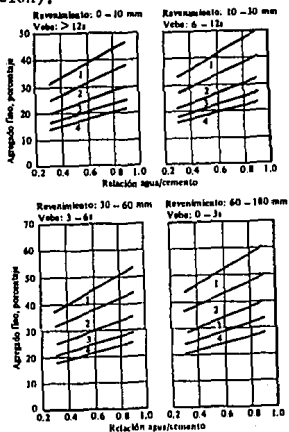
a) Tamaño máximo de agregado = 10 mm.



b) Tamaño máximo de agregado = 20 mm.

Figura 3.32 (Continuación).

Figura 3.32 (Continuación).



Tipo de cemento	Tipo de agregado grueso	Resistencia a la compresión* kg/cm <sup>2</sup> (MPa) a la edad de (en días):			
		3	7	28	91
Portland normal (Tipo I)	No triturado	183 (18)	274 (27)	408 (40)	492 (48)
	Triturado	232 (23)	337 (33)	478 (47)	562 (55)
Portland resistente a los sulfatos (Tipo V)	Triturado	232 (23)	337 (33)	478 (47)	562 (55)
Portland de fraguado rápido (Tipo III)	No triturado	253 (25)	345 (34)	471 (46)	541 (53)
	Triturado	309 (30)	492 (40)	541 (53)	612 (60)

Tabla 3.32 Resistencias a la compresión aproximadas de mezclas de concreto hechas con una relación agua libre/cemento, de 0.5, de acuerdo con el 1975 British Method.

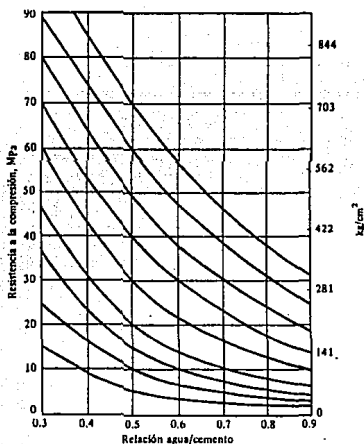


Figura 3.33 Relación entre la resistencia a la compresión y la relación agua libre/cemento para emplearse en el método británico de diseño de mezclas (véase la tabla 3.32).

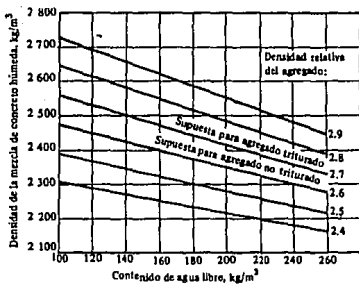


Figura 3.34 Densidade úmida estimada para concreto completamente compactado (se indica a densidade relativa para agregado saturado e superficialmente seco).



## PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS POR MEDIO DE LAS CURVAS DE ABRAHMS.

En el año de 1954, el ACI publicó un método de dosificación de mezclas de concreto que hasta la fecha se ha empleado mucho. En 1969 se publicó su actualización y la ampliación con un nuevo criterio de dosificación y de corrección de las mezclas tentativas. Este es aplicable para los concretos normales colados en el lugar. Pretende servir como guía-proporcionando mezclas tentativas que deberán verificarse en el laboratorio o en el campo, ajustándolas si es necesario, para producir las características deseadas en el concreto.

### Proporcionamiento.

Puesto que el cemento es el ingrediente más costoso del concreto, y el contenido de agua es función inversa a las características positivas del concreto; estos materiales deben llevarse al mínimo.

Cuando las mezclas son pobres o bajas en contenido de cemento; los agregados alcanzan más del 75% del volumen total del concreto contra un volumen absoluto del 7% de cemento y 16% de agua.

Cuando las mezclas son ricas o altas en contenido de cemento; los agregados intervienen con aproximadamente el 60% del volumen total del concreto contra 15% del cemento y 21% de agua.

Al efectuar un diseño conviene utilizar el tamaño más grande de grava que sea compatible con las dimensiones de la estructura y la separación del acero de refuerzo, dar a la mezcla la consistencia más seca posible que permita colocarla y acomodarla en las condiciones de la obra y considerar que el concreto una vez endurecido alcance las propiedades que permita a la estructura cumplir la función para la que fué construida.

### Datos previos.

Hasta donde sea posible, la dosificación de las mezclas deberá basarse en datos de ensayos o en la experiencia con los materiales que se van a emplear.

Criterio ACI, para el diseño de mezclas de concreto.

Cálculo de la relación A/C a partir de la f'c de proyecto.

En el eje vertical de la gráfica correspondiente se localiza la resistencia de proyecto, con una horizontal se corta la curva en la intersección se traza una recta vertical hasta llegar al eje horizontal donde se encuentra la relación agua-cemento (A/C) necesaria para obtener la resistencia de proyecto.

Relación grava-arena en peso (R) para determinar la relación grava-arena en peso se emplea la gráfica del módulo de finura relación grava-arena en peso, en donde con el módulo de finura de la arena (MF) se traza en el eje vertical el valor de éste y con una línea horizontal se inserta hacia la derecha hasta la curva que corresponde al tamaño máximo del agregado (TMA) proyectando hacia el eje el punto de intersección al eje horizontal se obtiene la relación grava-arena en peso. En caso necesario se puede hacer una interpolación de valores, pero se deberá tener cuidado para obtener resultados aceptables.

Con el valor de la relación grava-arena (R) se refiere a la gráfica del contenido de agua, en el eje horizontal se encuentra la relación grava-arena (R) proyectando una línea vertical hacia arriba hasta la curva del agregado máximo (TMA) que se tenga. El punto de intersección se proyecta horizontalmente sobre el eje vertical, leyendo el contenido neto de agua en litros por metro cúbico de concreto fresco para revenimiento de 10 cms.

**Ejemplo:**

f'c de proyecto = 250 Kg/cm<sup>2</sup>.

TMA = 1 1/2".

MF arena = 2.80.

Propiedades físicas de los agregados:

## CURVAS DE ABRAHMS

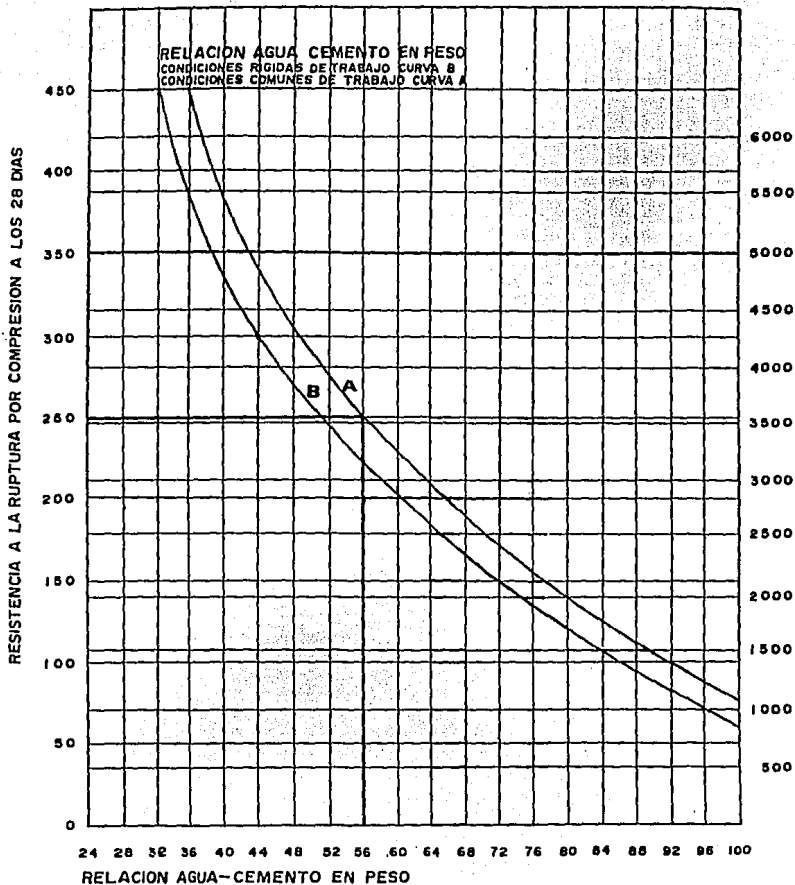
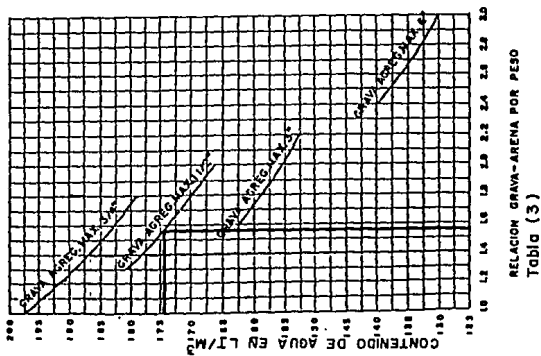
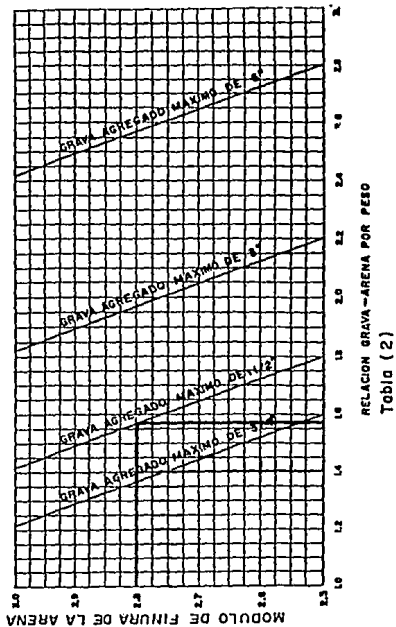


Tabla (1)



Material	M.F.	Peso volumétrico	Peso específico o - densidad	Absorción	Humedad total
Cemento		1,515	3.15		
Agua		1,000	1.00		
Grava 1 1/2"		1,600	2.68	0.5%	2%
Arena	2.8	1,180	2.64	0.7%	6%

Simbología:	$A/C$ = Relación Agua - Cemento
C = Cemento	M.F. = Módulo de finura
A = Agua	$(u+g)$ = Volumen de agregados
u = Arena	$g/a$ = Relación grava-arena
g = Grava	$d_g$ = Densidad grava
	$d_a$ = Densidad arena

**CALCULO:****Primero:**

Obtener la relación agua/cemento por peso, en la tabla (1).  
 Entrando al eje vertical con la resistencia de  $250 \text{ Kg/cm}^2$ , trazamos una horizontal, hasta interceptar con la curva (A), posteriormente, trazamos una vertical hasta interceptar con el eje horizontal, para obtener la relación agua/cemento en peso.

$$\therefore A/C = 0.56$$

**Segundo:**

Obtener la relación grava/arena por peso, en la tabla (2).  
 Entrando al eje vertical con el módulo de finura igual a 2.8, trazamos una horizontal, interceptando con la diagonal del TMA (1 1/2"), posteriormente trazamos una vertical hasta interceptar con el eje horizontal para obtener la relación grava/arena por peso.

$$\therefore g/a = 1.57$$

**Tercero:**

Obtener el contenido de agua en  $\text{lt/m}^3$ , en la tabla (3).

Entrando al eje horizontal con una relación grava/arena = 1.57, trazamos una vertical, interceptando con la curva del agregado máximo (1 1/2" posteriormente, trazamos una horizontal hasta interceptar con la vertical, para obtener el contenido de agua.

$$\therefore \text{Contenido de agua} = 174 \text{ lt.}$$

**Cuarto:**

Obtener la cantidad de cemento.

Si tenemos:  $A/C = 0.56$  y  $A = 174 \text{ lt}$

$$\therefore C = 174/0.56$$

$$C = 311 \text{ Kg.}$$

**Quinto:**

Obtener el volumen de lechada.

El volumen de lechada es la suma del volumen absoluto del cemento más el agua de mezclado.

$$\text{Volumen de lechada} = 311/3.15 + 174 = 272.73 \text{ lt.}$$

**Sexto:**

Obtener el volumen de agregado.

Si el volumen unitario de concreto es 1,000 lt.

$\therefore C + A + a + g = 1,000$  y el volumen de lechada es:

$$(A + C) = 272.73 \text{ lt.}$$

Entonces el volumen de agregados es la diferencia del volumen unitario de concreto menos el volumen de lechada.

$$(a+g) = 1,000 - 272.73 = 727.27 \text{ lt.}$$

**Séptimo:**

Obtener el volumen de arena y grava.

La relación  $g/a$  está dada en peso, por lo que hay que convertirla a volumen; esto se consigue multiplicando este valor por el inverso de la densidad de los agregados.

$$R \quad \rho/a \text{ (peso)} = 1.57$$

$$R \quad \rho/a \text{ (volumen)} = 1.57 \times \frac{1}{d_g} / \frac{1}{d_a}$$

De las siguientes fórmulas deducimos:

$$\rho/a \text{ (vol.)} = 1.57 \times \frac{1}{2.68} / \frac{1}{2.64} = 1.55$$

$$\therefore g = 1.55a \text{ -----(1)}$$

Sabemos que:

$$(a+g) = 727.27 \text{ .....(2)}$$

Sustituyendo  $g$  en (2)

Tenemos:

$$a + 1.55a = 727.27$$

$$2.55a = 727.27$$

$$a = 727.27/2.55$$

$$a = 285 \text{ lt.} = 285 \div 1000 = 0.285 \times 2.64 \times 1000 = 752 \text{ Kg.}$$

Sustituyendo el valor de (a) en (1)

$$\therefore g = 1.55(285) = 442 \text{ lt.} = 442 \div 1000 = 0.442 \times 2.68 \times 1000 = 1,185 \text{ Kg.}$$

Proporcionamiento:

Material	Cantidad por M3 (Peso) Kg.	Cantidad por M3 (Volumen) (M3)	Cantidad por M3 (Volumen) (lt)
Cemento	311	0.099	99
Agua	174	0.174	174
Grava 1 1/2"	1,185	0.442	442
Arena	752	0.285	285
	<u>2,422</u>	<u>1.000</u>	<u>1,000</u>

Octavo:

Ajustar los pesos del agregado.

Sabemos que la humedad total del agregado grueso y fino es de 2% y 6% respectivamente, por lo tanto para obtener el agregado grueso y fino -- (mojado) las cantidades obtenidas en el proporcionamiento se multipli--

can por: 1.02 y 1.06 respectivamente.

Agregado grueso(mojado) =  $1,185(1.02) = 1,209$

Agregado fino (mojado) =  $752(1.06) = 797$

El agua absorbida no forma parte del agua de mezclado y debe quedar excluida del ajuste de agua adicional  $\therefore$  el agua superficial proporcionada por el agregado grueso será  $2-0.5\% = 1.5\%$  y del agregado fino,  $6-.7\% = 5.3\%$   $\therefore$  el requerimiento estimado de adición de agua será:

$$174 - 1,185(0.015) - 752(0.053) = 116 \text{ Kg.}$$

$\therefore$  Los pesos estimados de mezclas para un metro cúbico de concreto son:

Agua(por añadir)	116 Kg.
Cemento	311 Kg.
Agregado grueso(mojado)	1,209 Kg.
Agregado fino (mojado)	797 Kg.

#### Ajustes de la mezcla tentativa.

La mezcla calculada se deberá verificar por medio de mezclas tentativas preparadas y ensayadas, o con mezclas de campo a escala natural.

En este caso, sólo se deberá emplear el agua necesaria para dar el requenimiento requerido, independientemente de la calidad estimada en la mezcla tentativa. El concreto se deberá revisar por peso unitario y por volumen producido. Se tendrá cuidado de observar una manejabilidad apropiada, libre de segregación y con buenas propiedades de acabado.

En algunos casos se necesitará una mayor cantidad de agua, en estos casos el consumo de cemento debe ser aumentado para mantener la misma relación, agua-cemento(a/c) garantizando así la resistencia de proyecto. También puede darse el caso que la mezcla requiera una menor cantidad de agua que la determinada en el cálculo pero es recomendable que no se haga ningún ajuste al consumo de cemento.

#### Noveno:

Para la mezcla de prueba de laboratorio, se considerará reducir los pesos para producir  $0.023 \text{ m}^3$  de concreto.



La cantidad calculada de agua por añadir es  $(116 \times 0.023) = 2.67$ , pero la cantidad que se empleó en realidad para obtener 8 ó 10 cm de revenimiento fue de 3.17 Kg. ∴ la mezcla se compone de:

Nota: Las cantidades obtenidas de agua, cemento, agregados grueso y fino del octavo paso se multiplican por  $0.023 \text{ m}^3$  de concreto.

Agua(añadida)	3.17 Kg.
Cemento	7.15 Kg.
Agregado grueso(mojado)	27.81 Kg.
Agregado fino (mojado)	18.33 Kg.
	<u>56.46 Kg.</u>

El concreto tiene un revenimiento de 5 cm y un peso unitario de 2390 -- Kg/m<sup>3</sup>.

Para proporcionar la fluencia apropiada y otras características para -- mezclas futuras, se hacen los siguientes ajustes.

La fluencia de la mezcla de prueba es:

$$56.46/2,390 = 0.0236 \text{ m}^3.$$

y el contenido de agua añadida es  $= 3.17 + (27.81/1.02 = 27.26 \times 0.015 = 0.41) + (18.33/1.06 = 17.29 \times 0.053 = 0.92)$

$$\therefore 3.17 + 0.41 + 0.92 = 4.5 \text{ Kg.}$$

Entonces el agua de mezclado requerida para un metro cúbico es:

$$\frac{4.5}{0.0236} = 191 \text{ Kg.}$$

Como el revenimiento es menor debemos incrementar 2 Kg, para elevar el -- revenimiento de los 5 cm medidos, a los 8 ó 10 cm deseados ∴ el agua -- neta será  $191 + 2 = 193 \text{ Kg.}$

Por consiguiente con el incremento del agua de mezclado, se requerirá -- cemento adicional para obtener la relación agua/cemento de 0.56. Enton-- ces, el nuevo contenido de cemento será:

$$\frac{193}{0.56} = 345 \text{ Kg.}$$

La cantidad de agregado grueso por metro cúbico será:

$$27.81/0.0236 = 1,178 \text{ Kg. (mojado)}$$

$$1,178/1.02 = 1,155 \text{ Kg. (seco)}$$

y

$$1,155(1.005) = 1,161 \text{ Kg. (SSS)}$$

∴ La cantidad de arena requerida será:

$$2,390 - (193 + 345 + 1,161) = 691 \text{ Kg. (SSS)}$$

ó

$$691/1.007 = 686 \text{ Kg. (seco)}$$

Los pesos básicos ajustados, por metro cúbico de concreto, son:

Agua (mezclado neto) 193 Kg.

Cemento 345 Kg.

Agregado grueso (seco) 1,155 Kg.

Agregado fino (seco) 686 Kg.

### Dosificación en peso y en volumen.

De las cantidades obtenidas en el diseño de mezclas, es posible reproducir un volumen de concreto equivalente a un saco de cemento de 50 kg. - mediante la determinación del contenido de sacos de cemento que integran la mezcla y la división del contenido de materiales en peso entre el mismo.

			Relación por saco de cemento.
Cemento	345 /50	6.90	50
Agua	193/6.90	27.97	28 lt.
Grava 1 1/2"	1,155/6.90	167.39	167 Kg.
Arena	686/6.90	99.42	99 Kg.

Relación en peso: La relación en peso se entiende también con respecto al peso del cemento.

			Relación en peso.
Cemento	50/50	=	1.00
Agua	28/50	=	0.56
Grava 1 1/2"	167/50	=	3.34
Arena	99/50	=	1.98

El volumen aparente de la mezcla correspondiente a un saco de cemento de 50 Kg. se determina dividiendo la relación por saco de cemento entre los pesos volumétricos de los materiales.

			Volumen aparente por saco de cemento.
Cemento	50/1.515	=	33.00
Agua	28/1.000	=	28.00
Grava 1 1/2"	167/1.600	=	104.38
Arena	99/1.180	=	83.90

Relación en volumen:

			Relación en volumen aparente.
Cemento	33/33	=	1.00
Agua	28/33	=	0.85
Grava 1 1/2"	104.40/33	=	3.16
Arena	83.90/33	=	2.54

El volumen absoluto de la mezcla correspondiente a un saco de cemento-- se determina dividiendo las cantidades de material entre su densidad o peso específico.

			Volumen absoluto por saco de cemento
Cemento	50/3.15	=	15.87
Agua	28/1.00	=	28.00
Grava 1 1/2"	104.40/2.68	=	38.95
Arena	83.90/2.64	=	31.78

## TABLA COMPARATIVA.

Cantidades de los materiales en Kgs para un metro cúbico de concreto.

	Cemento	Agua	Grava	Arena
Método ACI	316	196	1,108	760
Curvas de Abrahms	345	193	1,155	686

### Requisitos del concreto fluidificado.

Es de utilidad mencionar brevemente una modificación al diseño de mezclas que se aplica en el caso del concreto fluidificado. Nos referimos al concreto hecho con superfluidificante y no simplemente a una mezcla muy trabajable en la terminología del American Concrete Institute.

Un requisito importante es que la mezcla permanezca cohesiva y, por lo tanto, un buen punto de partida es una mezcla adecuada para ser bombeada con revenimiento de 75 mm. Uno de los procedimientos existentes es incrementar el contenido de agregado fino en 4 ó 5 puntos de porcentaje, y más aún cuando se trata de arena muy gruesa. Esto asegura la adherencia y evita la segregación.

El segundo enfoque es un poco más refinado: el ajuste del contenido de finos se rige por el tamaño máximo de agregado y por el contenido de cemento. Este enfoque es, sin embargo, puramente empírico, por lo que es recomendable tener un contenido total de partículas menores de 300- $\mu$ m (No. 50 ASTM) de 400 Kg/m<sup>3</sup>, cuando el tamaño máximo de agregado es de 38 mm (1 1/2") y de 450 Kg/m<sup>3</sup> con agregado de 19 mm (3/4").

### Pequeñas obras de concreto.

Para una obra muy pequeña, que solamente requiera el mezclado de pequeñas cantidades de concreto en la obra, existen dos alternativas:

- 1.- Usar mezclas de concreto ya preparadas, que se surten por sacos y que contienen una determinada cantidad de cemento, arena y agregado grueso, medidos previamente, y pesan alrededor de 27.2 ó 45.4 Kg.

Al agregar agua quedan listas para utilizarse. El cemento en sacos pueden surtirlo casi todas las tiplaterías y los proveedores de materiales para construcción.

Su resistencia a la compresión a los 28 días fluctúa en un rango de 210.9 Kg/cm<sup>2</sup> a 231.2 Kg/cm<sup>2</sup> si se tiene el cuidado de mantener el revenimiento dentro de límites razonables.

2.- Elegir cemento en sacos de 42.5 Kg y seleccionar una mezcla de -- las que se indican en las siguientes tablas 3.34 y 3.35 que se ajusten a los requerimientos de la estructura. Si únicamente se necesitan unos cuantos litros de concreto, pueden mezclarse en una carretilla o en una artesa, pero es más conveniente alquilar una revoladora pequeña.

En lugares en los cuales pueden obtenerse arena y grava comerciales, deben utilizarse estos materiales. Las cantidades requeridas por metro cúbico de concreto y por saco de cemento se indican en la tabla No. -- 3.35.

Debe considerarse un 15% adicional para posibles desperdicios.

Algunas veces se obtienen la grava y la arena de los bancos, pero no es aconsejable su utilización debido a las variaciones y a la falta de control de su granulometría y calidad. No obstante, si prevalecen condiciones que requieran el empleo de estos materiales (por ejemplo, un lugar aislado), entonces debe cernirse en un pedazo de tela burda de 1/4" y se eliminan las partículas de mayor tamaño que sean demasiado grandes para la estructura. A continuación se miden los materiales finos y gruesos en las proporciones indicadas en la tabla 3.35, asegurándose de que el material no contiene pasto, raíces, barro, exceso de limo y otros contaminantes similares. No debe utilizarse el material que contenga partículas de granito descompuesto o arcilla blanda.

La medición del peso de los agregados se realiza más satisfactoriamente si se dispone de básculas. Si se efectúa por volumen, pueden colocarse cajas de triplay sin fondo, de exactamente uno y dos pies cúbicos.

Tipo de agregado grueso	Resistencia a la tensión indirecta, kg/cm <sup>2</sup> (MPa) a la edad de (en días):			
	3	7	28	91
No triturado	17.6 (1.7)	22.5 (2.2)	28.8 (2.8)	33.7 (3.3)
Triturado	22.5 (2.2)	29.5 (2.9)	36.6 (3.6)	42.9 (4.2)

Tabla 3.33 Resistencias aproximadas a la tensión indirecta de mezclas de concreto hechas con cemento Portland normal (Tipo I) y una relación agua/cemento de 0.5, de acuerdo con el 1975 British Method.

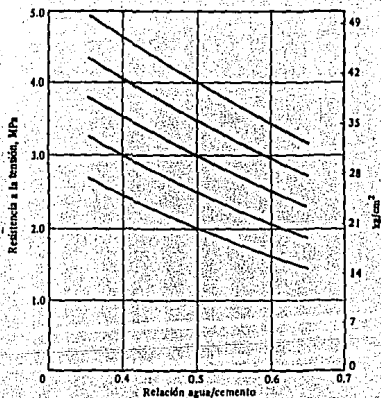


Figura 3.35 Relación entre la resistencia a la tensión indirecta y la relación agua libre/cemento para emplearse en el método de diseño de mezclas (Véase la tabla 3.33).

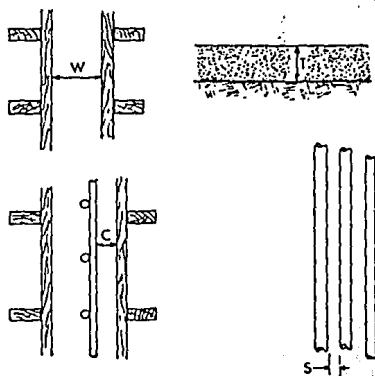


Figura 3.36 El tamaño máximo del agregado depende de la dimensión del elemento estructural que se construirá y del espaciamiento del acero de refuerzo.



DOSIFICACIONES DE MEZCLAS SUGERIDAS

173

Grado de Trabajo	Total de agua por saco de cemento.	Agregar agua por saco de cemento si la arena es		
		Muy mojada	Mojada de normal.	Húmeda de lo --
<b>Grado 1</b>				
Concreto estructural; muros de cimentación, estribos, muros de jardín, concreto macizo, para emplearse en donde no se requiera resistencia a la abrasión e impermeabilidad, para resistencias de 175 a 210 Kg/cm <sup>2</sup> .	28.1 kg.	19.1 kg.	23.6 kg.	25.4 kg.
	28.4 lts.	18.9 lts.	23.6 lts.	25.5 lts.
<b>Grado 2</b>				
Losas para caminos y patios, canchas de tenis, piscinas, tanques, pisos y muros impermeables, pisos de residencias, pisos (sótanos) y graneros (establos), vigas estructurales, columnas y losas, escalones, terrazas, caminos de losas de piedra, postes, plataformas, banquetas, para resistencias de 245 a 280 Kg/cm <sup>2</sup> .	23.6 kg.	17.2 kg.	19.9 kg.	21.8 kg.
	23.7 lts.	17.0 lts.	19.9 lts.	21.8 lts.
<b>Grado 3</b>				
Pisos industriales de una planta, secciones delgadas tales como barandales, rebordes, postes, bases ornamentales para flores, relojes de sol, piletas para pájaros, muebles para jardín, secciones con cubierta de 1 pulg. o menos sobre el refuerzo, para resistencias de 294 a 350 Kg/cm <sup>2</sup> .	20.9 kg.	14.1 kg.	17.2 kg.	18.1 kg.
	20.8 lts.	14.2 lts.	17.0 lts.	18.0 lts.

Tiula 3.34.

## CANTIDADES PARA MEZCLA

GRADO DEL TRABAJO	CANTIDADES POR METRO CUBICO DE CONCRETO			CANTIDADES DE MEZCLA POR SACO DE CEMENTO	
	SACOS DE CEMENTO	PESO DE LA ARENA (Kg)	AGREGADO GRUESO (Kg)	ARENA MOJA DA (m <sup>3</sup> )	AGREGADO GRUESO (m <sup>3</sup> )
Grado 1	5	565	878	0.078	0.120
Grado 2	6	535	869	0.064	0.099
Grado 3	7	510	860	0.050	0.085

1.- Cuando y donde entregar el concreto.

2.- La cantidad de concreto, en metros cúbicos, incluyendo una tolerancia de aproximadamente 10% más de la calculada para las líneas reales de los moldes, para considerar desperdicios, una subrasante -- desnivelada, etc.

3.- Mezcla. Especificar el contenido de cemento en sacos o en kilos -- por metro cúbico, como se indica en las Tablas No. 3.34 y 3.35, para el tipo de estructura proyectada y un tamaño máximo de agregado grueso de 2.54 cm. Especificar un revenimiento de 10 a 13 cm.

4.- Si la obra va a estar expuesta a ciclos de congelamiento - descongelamiento, o bien al agua de mar, especificar un contenido mínimo de cemento de 6 sacos, o 300 Kg por metro cúbico y un 6% de aire - incluido para obtener mayor durabilidad.

Tabla 3.35.

cos de capacidad, sobre una carretilla o una artesa; se llenan de agregado utilizando una pala y subsecuentemente se vacían levantándolas.

Después de medir el agregado, se vacía la cantidad correcta de cemento, se mezcla la revoltura seca y a continuación se agrega el agua. El agente incluidor de aire, en caso de que deba emplearse, se mezcla con una parte de esta agua. Se agrega agua y se mezcla vigorosamente hasta que el contenido tenga una consistencia plástica, o sea, cuando esté plástico y cohesivo. Una palada de esta mezcla vertida en el concreto que se encuentra en la carretilla se combina con ésta pero no se integra totalmente a ella. El concreto no debe ser tan fluido que escurra como agua porque no tendrá la resistencia o la durabilidad convenientes y existe la posibilidad de que se agriete.

En todas las obras, excepto en las más pequeñas o más aisladas, es más conveniente utilizar concreto premezclado, si la cantidad equivale a la carga mínima que se entrega normalmente. Debe hacerse el pedido con el proveedor un día antes de necesitar el concreto. El proveedor solicitará la siguiente información:

- 1.- Cuándo y donde debe entregar el concreto.
- 2.- La cantidad de concreto, en metros cúbicos, incluyendo una tolerancia de aproximadamente 10% más de la calculada para las líneas reales de los moldes, para considerar desperdicios, una subrasante -- desnivelada, etc.
- 3.- Especificar reventamiento.
- 4.- Si la obra va a estar expuesta a ciclos de congelamiento — descongelamiento, o bien al agua de mar, especificar un contenido mínimo de concreto de 6 sacos, ó 332 Kg por metro cúbico y un 6% de aire incluido para obtener mayor durabilidad.

En ciertos casos, los proveedores de materiales para construcción tienen facilidades para preparar pequeñas cantidades de concreto y proporcionan un trailer pequeño, que debe remolcar un automóvil, para transportarlo.

Otra fuente apropiada para obtener cantidades pequeñas de concreto es adquirir la mezcla seca empacada en sacos que únicamente requieren que se le agregue agua y se mezcle bien antes de colocarlo. El cemento en sacos pueden servirlo casi todos los proveedores de materiales para construcción y las tiplalerías.

La información proporcionada en la tabla 3.36,

CANTIDAD DE MATERIAL REQUERIDO PARA 9.3 m<sup>2</sup> DE CONCRETO

Espesor del concreto en cm.	Volumen de concreto en m <sup>3</sup> .	Concreto Grado 1 Mezclas: 1:234; 4 1 4		Concreto Grado 2 Mezcla 1; 2 1 4; 3 1 2			Concreto Grado 3 Mezcla; 1; 1 3 4; 3			
		Sacos de cemento	Agregado en m <sup>3</sup> .		Sacos de cemento	Agregado en m <sup>3</sup> .		Sacos de cemento	Agregado en m <sup>3</sup> .	
			Arena	Grueso		Arena	Grueso		Arena	Grueso
7.6	0.71	4.7	0.36	0.57	5.6	0.36	0.56	6.5	0.32	0.55
10.2	0.95	6.2	0.48	0.65	7.5	0.48	0.74	8.7	0.43	0.74
12.7	1.18	7.7	0.60	0.93	9.2	0.59	0.91	10.8	0.54	0.92
15.2	1.41	9.3	0.72	1.12	11.1	0.71	1.10	12.9	0.64	1.10
20.3	1.89	12.3	0.96	1.48	14.8	0.94	1.47	17.3	0.86	1.47
25.4	2.35	15.4	1.20	1.85	18.5	1.18	1.83	21.5	1.06	1.83
30.5	2.83	18.5	1.44	2.22	22.2	1.42	2.20	25.9	1.29	2.20

Tabla 3.36.

será útil para obtener las cantidades de materiales necesarias para construir losas y muros de espesores entre 7.6 y 30.5 cm. Para ordenar cemento y agregado, invariablemente debe considerarse una tolerancia de aproximadamente un 15% adicional para compensar el desperdicio.

Concreto sin revenimiento.

En algunas aplicaciones, especialmente en obras ejecutadas con prefabricados y precolados, se emplea el concreto de consistencia muy seca, cuyo revenimiento oscila entre 0 y 2.5 cm.

Puede reducirse el contenido de agua a menos de la cantidad que en determinadas obras proporcionará un revenimiento de cero. Se dispone de-

equipo especial para medir la consistencia de estas mezclas extremadamente secas, porque dentro del rango de éstas no tiene valor la prueba de revenimiento, como medida de su consistencia.

No obstante, por lo general pueden aplicarse los procedimientos normales para dosificar las mezclas. La diferencia principal radica en la cantidad de agua requerida por metro cúbico de concreto. Si se considera que la cantidad de agua requerida para una mezcla que tenga un revenimiento de 7.6 a 10.2 cm. es de un 100%, entonces, para mezclas muy secas, dicha cantidad de agua se encuentra aproximadamente entre el 78% para las extremadamente secas y el 93% para las plásticas consistentes, de acuerdo con el método ACI aplicado en la dosificación de este tipo de mezclas.

#### Concreto con agregado de granulometría no uniforme.

La mayoría de los concretos contienen agregados de todos tamaños, desde el más fino que pasa por la malla del No. 100, hasta el de tamaño máximo adecuado para la estructura. En algunas situaciones se ha sostenido que con el agregado de granulometría no uniforme se produce mejor concreto.

Este tipo de agregado es aquel en el que no se utilizan algunos tamaños de agregado. Un agregado clásico puede consistir en arena con agregado grueso de 3/4" que no contiene partículas del tamaño de una gravilla.

El agregado de granulometría no uniforme se usó algunas veces para concreto arquitectónico de agregado expuesto donde se desean efectos especiales en la superficie.

Las mezclas elaboradas con este tipo de agregado son más sensibles que el concreto convencional, a las variaciones en la granulometría del agregado y en el contenido de agua, al igual que a la inclusión de partículas no deseables. Requieren de un control y una supervisión más estrictas.

Las ventajas que se atribuyen a este tipo de agregado son: una rela---

ción agua-cemento baja, mezclas menos pobres en cemento, poco revenimiento y algún incremento de las propiedades del concreto endurecido.

La cantidad de cemento, arena, agua y aire en la mezcla es generalmente el 50% aproximadamente del volumen total, aún cuando se requiere -- una cantidad mayor para agregado grueso triturado. El agregado grueso de tamaño único comprende aproximadamente el 70% del volumen total de agregado y el contenido de cemento es aproximadamente de 600 libras -- por yarda cúbica ( $360 \text{ Kg/m}^3$ ). El revenimiento es menor de 3" (7.62 cm).

# CAPÍTULO 4

## CONCLUSIONES

Uno de los objetivos principales del presente trabajo fué, recopilar - la mayor información posible, enfocado a la fabricación y diseño de -- mezclas de concreto.

La información obtenida con respecto a la fabricación del concreto, es muy amplia y sencilla de comprender. Para lograr este objetivo hubo necesidad de consultar varios libros y extraer lo más importante y resumir los conceptos básicos. Con esto se pretende que el lector tenga -- una información general desde la definición del concreto, hasta la responsabilidad que implica la fabricación del mismo.

Por otro lado, la información obtenida con respecto al diseño de mezclas de concreto normal, esta enfocada en una forma general. Partiendo desde el control de calidad del concreto, hasta los principales métodos de dosificación.

En el presente trabajo se describen varios métodos para diseñar mezclas de concreto. Pero el objetivo principal es describir los métodos más comunes y sencillos de aplicar, para diseñar mezclas de concreto - en la obra.

En resumen son los siguientes:

Método ACI (Instituto Americano del Concreto).

Proporcionamiento de mezclas por medio de las curvas de ABRAMS,

los cuales se usan en tablas y gráficos principalmente y se recomiendan en el diseño de concretos de poca relevancia estructural y en volúmenes pequeños.

Al menos en el presente trabajo, el método que resulto más económico - al diseñar una mezcla de concreto fue el ACI. Lo podemos comprobar al comparar los resultados en una tabla comparativa que se describe al -- final del capítulo.

El procedimiento para hacer mezclas de prueba con ajustes consecutivos en todos los métodos de diseño de mezclas, parecen empíricos y dan la



impresión de no ser científicos, pero la variabilidad de las propiedades, tanto del cemento como del agregado es tal, que nuestros cálculos son realmente sólo conjeturas. Sin embargo, mientras mejor sea nuestro conocimiento de las diversas propiedades de los componentes del concreto, más precisas serán nuestras conjeturas. Con este conocimiento y -- con experiencia en el empleo de los materiales implicados pueden diseñarse mezclas satisfactorias, aunque el proceso nunca podrá volverse -- automático, ya que es tanto un arte como una ciencia.

Con toda la información obtenida se logro otro de los objetivos, al -- darle forma al presente trabajo dirigido a los estudiantes de Ingeniería Civil, carreras afines y a todas las personas que se identifiquen con los temas desarrollados.

# APÉNDICE



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**ANALISIS GRANULOMETRICO**

Obra. \_\_\_\_\_ Mpio. y Edo. \_\_\_\_\_  
 Muestra \_\_\_\_\_ Banco. \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Descripción de la Muestra \_\_\_\_\_

PESO (Kgs)      PORCIENTOS

Material retenido en Malla N°4= \_\_\_\_\_

Material que paso en Malla N°4= \_\_\_\_\_

PESO TOTAL MUESTRA= \_\_\_\_\_

**GRAVA**

ABERTURA DE LA MALLA		PESO RETENIDO	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMULATIVO
Ret. en 3"	76.2 mm			
" " 2 1/2"	63.5 "			
" " 2"	50.8 "			
" " 1 1/2"	38.1 "			
" " 1"	25.4 "			
" " 3/4"	19.1 "			
" " 1/2"	12.7 "			
" " 3/8"	9.5 "			
" " N°4	4.7 "			
<b>S U M A S:</b>				

MODULO DE FINURA =

**ARENA**

MALLA	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMULATIVO
N° 8	2.38 mm			
N° 14	1.19 "			
N° 20	0.59 "			
N° 40	0.297 "			
N° 100	0.149 "			
Charola	0.149 "			
<b>S U M A S:</b>				

MODULO DE FINURA =

Firma del Operador \_\_\_\_\_  
 Nombre del Operador \_\_\_\_\_

NOTAS: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**PRUEBAS FISICAS**

Obra- \_\_\_\_\_ Mpio y Eda- \_\_\_\_\_  
 Muestra \_\_\_\_\_ Banco \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Descripción de la Muestra \_\_\_\_\_

**GRAVA**

<b>P E S O   V O L U M E T R I C O</b>	
Peso muestra + Peso recipiente (Tara)	Kgs
Peso del recipiente	Kgs
Peso neto de la muestra (P)	Kgs
Volumen del recipiente (V)	Lts
Peso Volumétrico (P.V.) = P/V	Kg/m <sup>3</sup>

<b>D E N S I D A D</b>	
Peso muestra saturada	grs
Volumen agua desalojada	cm <sup>3</sup>
Densidad = Peso muestra/Volumen desalojado	

<b>A B S O R C I O N</b>	
Peso muestra saturada	grs
Peso muestra seca	grs
Diferencia	grs
Absorción = (Diferencia/Peso seco) 100	%

<b>P E R D I D A   P O R   L A V A D O</b>	
Peso muestra seca (original)	grs
Peso muestra lavada y seca	grs
Diferencia	grs
Pérd por lavado = (Diferencia/Peso original) 100	%

Firma del operador \_\_\_\_\_  
 Nombre del operador \_\_\_\_\_



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**PRUEBAS FISICAS**

Obra. \_\_\_\_\_ Mpio y Edo. \_\_\_\_\_  
 Muestra \_\_\_\_\_ Banco. \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_  
 Descripción de la Muestra \_\_\_\_\_

**ARENA**

P E S O   V O L U M E T R I C O		
Peso muestra	Peso recipiente (Tara)	Kge
Peso del recipiente		Kge
Peso neto de la muestra (P)		Kge
Volumen del recipiente (V)		Lts
Peso Volumetrico (P.V.)		Kg/m <sup>3</sup>

D E N S I D A D	
Peso muestra saturada	grs
Volumen agua desalojada	cm <sup>3</sup>
Densidad = Peso muestra/Volumen	

A B S O R C I O N	
Peso muestra saturada	grs
Peso muestra seca	grs
Diferencia	
Absorción = (Diferencia/Peso seco) 100	%

P E R D I D A   P O R   L A V A D O	
Peso muestra seca (original)	grs
Peso muestra lavada seca	grs
Diferencia	grs
Perd. por lavado = (Diferencia/Peso original) 100	%

**MATERIA ORGANICA**

Celarimetría: \_\_\_\_\_  
 Limo o Arcilla: \_\_\_\_\_

Firma del operador: \_\_\_\_\_  
 Nombre del operador: \_\_\_\_\_

**NOTAS:** \_\_\_\_\_



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**CONCRETO DE PRUEBA**  
**(CORRECCIONES POR HUMEDAD Y ABSORCION)**

OBRA \_\_\_\_\_ MPIO Y EDO- \_\_\_\_\_

BANCOS Arena \_\_\_\_\_ Grava \_\_\_\_\_

TM= \_\_\_\_\_ RESISTENCIA PROYECTO \_\_\_\_\_ Kg/cm<sup>2</sup> a 28 días de edad

CEMENTO \_\_\_\_\_ ADICIONANTE \_\_\_\_\_ Dosificación \_\_\_\_\_ %

PROPORCION BASE (1)	CANTIDADES INICIALES (2)	HUMEDAD			ABSORCION			CANTIDADES CORREGIDAS (7)=(2) (4) (6)
		% (3)	(Kg) (4)=(2) (3)	(Kg) (3)	% (5)	(Kg) (6)=(2) (5)	(Kg) (5)	
CEMENTO								
ARENA								
GRAVA N°1								
GRAVA N°2								
GRAVA N°3								
AGUA				SUMA		SUMA		
SUMAS (2) = (7)								AGUA DE ABSORCION = (6) - (4) =

**CORRECCIONES (-)**  
**EN EL CONCRETO DE PRUEBA**

**OBSERVACIONES**

CEMENTO: \_\_\_\_\_

ASPECTO: \_\_\_\_\_

ARENA: \_\_\_\_\_

MANEJABILIDAD: \_\_\_\_\_

: \_\_\_\_\_

CONSISTENCIA: \_\_\_\_\_

GRAVA N°1: \_\_\_\_\_

SANGRADO: \_\_\_\_\_

GRAVA N°2: \_\_\_\_\_

REVENIMIENTO: \_\_\_\_\_ cm

GRAVA N°3: \_\_\_\_\_

AGUA: \_\_\_\_\_

NOTAS: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Operador: \_\_\_\_\_



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**RESUMEN DEL ESTUDIO DE AGREGADOS**  
**Y DISEÑO DE MEZCLAS**

OBRA: \_\_\_\_\_ MPIO. Y EDO. \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

IDENTIFICACION	NUMERO DE LA MUESTRA							
	arena	grava 1	grava 2	grava 3	arena	grava 1	grava 2	grava 3
Retenido en tamiz N° 4 (%)								
Pasó por tamiz N° 4 (%)								
<b>ARENA Y GRAVA</b> (a y gr.)								
Densidad								
Peso Volumétrico Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )								
Peso Volumétrico Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )								
Absorción (%)								
Pérdida por Lavado (%)								
Materia orgánica (colorimetría)								
Limo y/o Arcilla (%)								

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN %	
Retenido en tamiz 75 mm (3")	
" " " 3.8 " (1/2")	
" " " 1.9 " (3/8")	
" " " 0.85 " (3/4")	
" " " N° 4	
" " " N° 8	
" " " N° 14	
" " " N° 28	
" " " N° 48	
" " " N° 100	
Pasó por tamiz N° 100	
Módulo de finura (M.F.)	

DISEÑO DE MEZCLA	
Proporción base en peso:	
Cemento =	
Arena =	
Grava N° 1a =	
Grava N° 1b =	
Grava N° 1 =	
Grava N° 2 =	
Grava N° 3 =	
Grava N° 4 =	
Razón Agua-cemento (A/c)	
Relación Grava-arena (g/a)	
Revenimiento (cm)	
Consumo de Cemento (Kg/m <sup>3</sup> )	
RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/cm <sup>2</sup> )	a 7 días
	a 28 días
	a 90 días

NOTAS: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**DISEÑO DE MEZCLAS**

Obra \_\_\_\_\_ Mpio. y Edo. \_\_\_\_\_  
 Banco \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

**PROPORCION POR PESO DE CEMENTO**

Resistencia requerida \_\_\_\_\_ Kg/cm<sup>2</sup> Relación Grava-arena (G/a) = \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ % grava 1a, \_\_\_\_\_ % grava 1b, \_\_\_\_\_ % grava 1, \_\_\_\_\_ % grava 2

Tamaño máx. agregado = \_\_\_\_\_ Razón A/C = \_\_\_\_\_ Revenimiento = \_\_\_\_\_ cm

Cemento \_\_\_\_\_ Adicionante \_\_\_\_\_

Densidades: Arena (da) = \_\_\_\_\_ Grava (dg) = \_\_\_\_\_ Cemento (dc) = \_\_\_\_\_

**PESO SUPUESTO DE CEMENTO POR m<sup>3</sup> DE CONCRETO (Pc) = \_\_\_\_\_ Kg**

Volumen de cemento (Vc) =  $Pc/dc$  = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ litros/m<sup>3</sup> de concreto

Volumen de agua (Va) =  $Pc(A/c)$  = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ litros/m<sup>3</sup> de concreto

Volumen de lechada (Vc + Va) = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ litros/m<sup>3</sup> de concreto

Volumen de agregados/m<sup>3</sup> de concreto =  $V(a+g)$  =  $1000 - (Vc + Va)$

Peso de la arena (Pa) =  $\frac{V(a+g) da dg}{dg + da(G/a)}$  = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Kg

Peso de la grava (Pg) =  $Pa(G/a)$  = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Kg

Proporcionamiento Base:  $\frac{Pc}{Pc} : \frac{Pa}{Pc} : \frac{Pg}{Pc}$  = 1 : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_

cemento      arena      grava  
 1 : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_

**VOLUMENES POR m<sup>3</sup> (COMPROBACION)**

Volumen del cemento (Vc) = \_\_\_\_\_ litros

Volumen de la arena (Va) = \_\_\_\_\_ "

Volumen de la arena (Va) =  $Pa/da$  = \_\_\_\_\_ "

Volumen de la grava (Vg) =  $Pg/dg$  = \_\_\_\_\_ "

Volumen de agua (Va) = \_\_\_\_\_ "

SUMA = \_\_\_\_\_ "

Firma del Operador \_\_\_\_\_

Nombre del Operador \_\_\_\_\_





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

DISEÑO DE MEZCLAS

Obra: \_\_\_\_\_ Mpio. y Edo.- \_\_\_\_\_  
 Banco: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

PROPORCION BASE POR VACIOS

Resistencia requerida: \_\_\_\_\_ Kgs/cm<sup>2</sup> Relación grava-arena (G/a): \_\_\_\_\_

Tamaño Máximo agregado: \_\_\_\_\_ % arena \_\_\_\_\_ % grava \_\_\_\_\_

Peso Volumétrico de la mezcla Grava-arena (P.V.): \_\_\_\_\_ Kgs/m<sup>3</sup>

DENSIDADES.- arena (da): \_\_\_\_\_ Grava (dg): \_\_\_\_\_ Cemento (dc): \_\_\_\_\_

Densidad media de la mezcla Grava-arena (D.M.) =  $\frac{da(\%a) + dg(\%g)}{100}$

D.M. = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_

Volumen de agregados por m<sup>3</sup> =  $\frac{\text{Peso volumetrico}}{\text{D.M.}}$  = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Lts

Volumen de lechada = 1000 - Volumen agregados = 1000 - \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Lts

Volumen de cemento (Vc) =  $\frac{\text{Volumen lechada}}{1 + (A/c)dc}$  Razon A/c propuesta

Vc = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Lts

Peso cemento por m<sup>3</sup> (consumo) = Volumen cemento por densidad

Peso cemento por m<sup>3</sup> (Pc) = Vc (dc) = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Kgs

Peso de arena por m<sup>3</sup> (Pa) = P.V. (%a) = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Kgs

Peso de grava por m<sup>3</sup> (Pg) = P.V. (%g) = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Kgs

	CEMENTO	ARENA	GRAVA	AGUA
PROPORCION BASE EN PESO:	1.00	:	:	:

VOLUMENES POR m<sup>3</sup> (COMPROBACION)

Volumen cemento = Pc/dc = \_\_\_\_\_ Lts

Volumen arena = Pa/da = \_\_\_\_\_ "

Volumen grava = Pg/dg = \_\_\_\_\_ "

Volumen agua = Pc (A/c) = \_\_\_\_\_ "

SUMA Lts

Firma del Operador \_\_\_\_\_  
 Nombre del Operador \_\_\_\_\_





UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
 PROPORCION FINAL DE LA MEZCLA DE CONCRETO  
 (CARACTERISTICAS - COMPROBACION)

OBRA: \_\_\_\_\_ BANCO: \_\_\_\_\_

CEMENTO      ARENA      GRAVA 1      GRAVA 2      GRAVA 3  
 | : \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_      A/C = \_\_\_\_\_  
 CEMENTO      ARENA      GRAVA      AGUA - CEMENTO      GRAVA - ARENA  
 | : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_      A/C = \_\_\_\_\_      G/a = \_\_\_\_\_  
 REVENIMIENTO: \_\_\_\_\_ cm

**CONSUMO DE CEMENTO:**

VOLUMEN DE CONCRETO POR KG DE CEMENTO:

Volumen de Cemento = 1.00/Dens. Cemento = 1.00/\_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ litros  
 Volumen de Arena = \_\_\_\_\_/Densidad Arena = \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ "  
 Volumen de Grava = \_\_\_\_\_/Densidad Grava = \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ "  
 Volumen de Agua = A/C x 1.00 = \_\_\_\_\_ x 1.00 = \_\_\_\_\_ "  
 SUMA = Vol de concreto por 1Kg de C = \_\_\_\_\_ litros

**CONSUMO DE CEMENTO POR METRO CUBICO DE CONCRETO**

$C = \frac{1000 \text{ litros de Concreto}}{\text{litros de Concreto / KG de Cemento}} = \text{_____ Kg de Cemento}$

**COMPROBACION POR VOLUMENES:**

Vol. de lechada = C/dc + C(A/C) = \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_ + \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ litros

Vol. Agregados (a+g) = 1000 - Volumen lechada = 1000 - \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ "

Peso Arena (Pa) =  $\frac{V(a+g) \cdot d_a \cdot d_g}{d_g + d_a (G/a)}$  = \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ Kg

Peso Grava (Pg) = Pa(G/a) = \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ "

Volumen de cemento = C/dc = \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ litros

Volumen de Agua = C(A/C) = \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ "

Volumen de Arena = Pa/da = \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ "

Volumen de Grava = Pg/dg = \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ "

SUMA DE VOLUMENES PARCIALES = 1m<sup>3</sup> = \_\_\_\_\_ litros

**COMPROBACION POR PESO:**

CEMENTO ( $\frac{C}{c}$ ) ; ARENA ( $\frac{Pa}{c}$ ) ; GRAVA ( $\frac{Pg}{c}$ )  
 | ; \_\_\_\_\_ ; \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_ Operador: \_\_\_\_\_



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**  
**PROPORCIONAMIENTO FINAL DE CONCRETO**  
**( CONSIDERACION DE CORRECCIONES )**

OBRA.- \_\_\_\_\_ BANCO.- \_\_\_\_\_

CANTIDADES FINALES =  $\frac{\text{CANTIDADES INICIALES} \pm \text{CORRECCION}}{1 + \frac{\text{Hum} - \text{Abs.}}{100}}$

MATERIAL (1)	CANTIDAD INICIAL + CORRECCION $1 + (\text{Hum} - \text{Abs.}) / 100$	CANTIDADES CORREGIDAS (3)
ARENA	$1 + \left( \frac{\quad}{\quad} \right) / 100 = \quad =$	
GRAVA 1	$1 + \left( \frac{\quad}{\quad} \right) / 100 = \quad =$	
GRAVA 2	$1 + \left( \frac{\quad}{\quad} \right) / 100 = \quad =$	
GRAVA 3	$1 + \left( \frac{\quad}{\quad} \right) / 100 = \quad =$	

MATERIAL (1)	CANTIDAD CORREGIDA (3)	HUMEDAD		ABSORCION		CANTIDADES FINALES (7) = (3)+(4)+(5)	PROPORCION FINAL (8) = (7)/Cemento
		% (2)	(4) = (3) * (2)	% (5)	(6) = (3) * (5)		
CEMENTO							
ARENA							
GRAVA 1							
GRAVA 2							
GRAVA 3							
AGUA							

[AGUA FINAL(7)] = [CANTIDAD CORREGIDA (3)] - [AGUA ABSORCION (6-4)]

**PROPORCION DEFINITIVA DE LA MEZCLA**

CEMENTO    ARENA    GRAVA 1    GRAVA 2    GRAVA 3

1    :    \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_

Fecha.- \_\_\_\_\_ Operador.- \_\_\_\_\_

**DEFINICIONES BASICAS:**

**Concreto.**— Es la mezcla en cantidades predeterminadas de cemento, agua, grava, arena y aditivos que puede ser moldeada y que al endurecer adquiere resistencia mecánica.

**Pasta.**— Es la mezcla de agua y cemento en cantidades suficientes para aglutinar los agregados.

**Lechada.**— Es la mezcla de agua y cemento en cantidades suficientes para dar una fluidez tal que pueda penetrar con una cierta presión en pequeños orificios.

**Mortero.**— Es la mezcla de cemento, agua y arena en cantidades suficientes para emplearse en acabados, reparaciones, resanes o anclajes.

**Concreto fresco.**— Es el estado del concreto durante las primeras horas de su fabricación cuando puede ser moldeado.

**Consistencia.**— Es la habilidad relativa para fluir que tiene el concreto fresco, se dice que la masa es muy fluida cuando tiene consistencia aguada, fluidez media equivale a una consistencia plástica y rígida cuando tiene una consistencia seca.

**Plasticidad.**— Es la propiedad por la cual la masa se puede manejar sin perder su calidad original.

**Fraguado.**— Es el proceso mediante el cual el concreto pierde gradualmente su fluidez y su plasticidad, transformándose en una masa rígida y resistente a presiones arbitrarias. Comprende en dos límites: fraguado inicial y fraguado final.

**Muestra.**— Cantidad representativa de concreto fresco, suficiente para la determinación de resistencia o propiedades.

**Rendimiento.**— Volumen total de concreto obtenido a partir de una mezcla de materiales conocidos.

**Contenido de aire.**— Cantidad de aire existente en la masa de concreto fresco en forma de pequeñas burbujas que se introducen de manera natural o artificial.

**Manejabilidad.**— Es la propiedad del concreto mediante el cual la masa puede mezclarse, colocarse y acabarse con facilidad.

**Segregación.**— Es el efecto debido al descuido en la colocación del concreto en donde los ingredientes se separan en tamaños o en pesos específicos, perdiéndose la uniformidad de distribución del concreto.

**Sangrado.**— Consiste en una forma de segregación del agua que tiende a subir a la superficie, debido al fenómeno de capilaridad y a la incapacidad de retención de los sólidos.

**Concreto endurecido.**— Es el estado del concreto luego de su fraguado final, cuando la masa se solidifica adquiriendo gradualmente una capacidad mecánica. Este proceso corresponde a la segunda etapa de las reacciones cemento-agua que forma un sólido con las siguientes propiedades:

- a) Impermeabilidad.
- b) Durabilidad.
- c) Resistencia a compresión.
  - " tensión.
  - " flexión.
  - " constante.
  - " impacto.
  - " abrasión.
- d) Cambios volumétricos:
  - contracción.
  - expansión.

**Resistencia a compresión.**— Se define como la máxima capacidad de carga por unidad de superficie normal a la dirección de la carga, es la resistencia más notable del concreto y un buen índice de calidad.

**Curado.**— Es el ambiente ideal para favorecer el endurecimiento del concreto para evitar pérdidas por evaporación del agua de hidratación.

## EQUIVALENCIAS DEL SISTEMA INGLES AL SISTEMA METRICO DECIMAL.

1 galón = 3.785 litros.

1 libra(lb) = 453.59 gramos.

1 kilogramo(kg) = 2.2046 libras(lb).

1 pulgada(in) = 2.54 centímetros(cm).

1 pulgada cuadrada(in<sup>2</sup>) = 6.45 centímetros cuadrados(cm<sup>2</sup>).

1 metro cúbico(m<sup>3</sup>) = 1.308 yardas cúbicas(yd<sup>3</sup>).

1 metro cúbico(m<sup>3</sup>) = 35.314 pies cúbicos(ft<sup>3</sup>).

1 libra/pulgada cuadrada( lb/in<sup>2</sup>) = 0.07 kilogramos/centímetros cuadrados( kg/cm<sup>2</sup>).

1 Pie cúbico(ft<sup>3</sup>) = 0.028 metros cúbicos(m<sup>3</sup>).

1 Yarda cúbica(yd<sup>3</sup>) = 0.7645 metros cúbicos(m<sup>3</sup>).

1 libra/yarda cúbica(lb/yd<sup>3</sup>) = 0.59 kilogramos/ metros cúbicos(kg/m<sup>3</sup>).

1 libra/pie cúbico(lb/ft<sup>3</sup>) = 16.02 kilogramos/metros cúbicos(kg/m<sup>3</sup>).

**Building Official.**

Oficial de construcción.

**Concrete Plant Manufacturers Bureau.**

Departamento Industrial de la Planta de Concreto.

**Koehring Road Division.**

La división Koehring Road.

**National Ready-Mixed Concrete Association.**

Asociación Nacional del Concreto Premezclado.

**Journal of the American Concrete Institute.**

Boletín del Instituto Americano del Concreto.

**ACI**

Instituto Americano del Concreto.

**Oshkosh Truck Corp.**

Corporación de Camiones Oshkosh.

**National Concrete Machinery.**

Maquinaria Nacional del Concreto.

**Uniform Building Code.**

Código Uniforme de Construcción.

**Eirich Machines, Inc.**

Incorporación de Máquinas Eirich.



British Code of Practice for the Structural use of Concrete.

Código Británico de la Práctica para el uso Estructural del concreto.

ACI

Instituto Americano del Concreto.

CCU

Código para la Construcción Uniforme.

UBC

Código Uniforme de la Construcción.

Road Research Laboratory.

Laboratorio de Investigación Road.

Structural Concrete for Buildings.

Concreto Estructural para los Edificios.

British Method.

Método Británico.

# BIBLIOGRAFÍA

**CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO.**

(ACI E 704 - 4)

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

Editorial Limusa.

México, D.F.

1990

69 p.

**CURSO DE CAPACITACION A LABORATORISTAS DE CONCRETO.**

(APUNTES)

México, D.F.

1987

70 p.

**INSTRUCTIVO PARA CONCRETO.**

Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Dirección de proyectos.

Departamento de Ingeniería Experimental.

México, D.F.

1967

321 p.

**J. Waddell Joseph.****Manual de Inspección del Concreto.**

Tomo 11

Secretaría de Comunicaciones y Transporte.

Subsecretaría de Infraestructura.

Dirección General de Servicios Técnicos.

México, D.F.

1984

456 p.

**PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS.**

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

Editorial Limusa.

México, D.F.

1990

67 p.

**TECNOLOGIA DEL CONCRETO.**

TOMO III

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.

Editorial Limusa.

México, D.F.

1989

356 p.