

79  
29/11



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

---

---

**Facultad de Ingeniería**

**EL CONCRETO HIDRAULICO I**

**T E S I S**

**Que para obtener el Título de  
INGENIERO CIVIL**

**P r e s e n t a**

**Epifanio Hernández Hernández**



**México, D. F.**

**1985**

---

---



## **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.

# I N D I C E

## EL CONCRETO HIDRAULICO I

PROLOGO

INTRODUCCION . . . . . 2

I.A. AGREGADOS . . . . . 2

I.B. PRINCIPALES TIPOS DE CEMENTO . . . . . 9

I.B.1 Portland de endurecimiento rápido . . . 16

I.B.2 Portland de endurecimiento  
extrarápido . . . . . 17

I.B.3 Portland de bajo calor . . . . . 18

I.B.4 Portland de alto horno . . . . . 18

I.B.5 Resistente a sulfatos . . . . . 19

I.B.6 Portland-Puzolánico y puzolanas . . . . 20

MATERIALES . . . . . 27

II.A FUNCION . . . . . 27

II.B MATERIAL DE MENOR TAMAÑO . . . . . 28

II.C ALMACENAMIENTO . . . . . 29

II.D	LA HUMEDAD EN EL AGREGADO . . . . .	31
II.E	MEDICION . . . . .	32
II.F	SILOS Y TOLVAS . . . . .	33
II.G	SISTEMAS DE DOSIFICACION . . . . .	35
II.H	LA MEZCLADORA . . . . .	41
	II.H.1 Tiempo de mezclado . . . . .	42
II.I	CONCRETO PREMEZCLADO . . . . .	43
	II.I.1 Métodos de transporte . . . . .	43
	II.I.2 Camiones de tambor giratorio . . . . .	44
	II.I.3 Mezclado durante el traslado . . . . .	44
	II.I.4 Mezclado en planta y terminado en tránsito . . . . .	45
	II.I.5 Dosificado en seco . . . . .	46
III.	MANEJO DEL CONCRETO . . . . .	47
III.A	COLOCACION . . . . .	47
	III.A.1 Equipo . . . . .	49
III.B	CONCRETO FABRICADO CON AGREGADO PRECOLADO . . . . .	54
	III.B.1 Conducción de la lechada . . . . .	57
III.C	CONCRETO ESTRUCTURAL . . . . .	59
III.D	CONCRETO MASIVO . . . . .	60

III.E	CONCRETO PARA PISOS . . . . .	61
III.F	PAVIMENTOS . . . . .	63
III.G	CONCRETO PARA PREFABRICADOS . . . . .	65
III.H	CONCRETO LIGERO . . . . .	69
III.I	CONCRETO PESADO . . . . .	70
IV	DOSIFICACION . . . . .	72
IV.A	DOSIFICACION DE CONCRETO NORMAL . . . . .	75
	IV.A.1 Ejemplos . . . . .	86
IV.B	DOSIFICACION DE CONCRETO PESADO . . . . .	98
	IV.B.1 Ejemplo . . . . .	100
V.	ADITIVOS . . . . .	103
VI.	CONCLUSIONES . . . . .	114

## PROLOGO

El objetivo primordial de construir es usar de manera adecuada las fuerzas y los materiales elegidos con el fin de poner a disposición de los hombres y sobre cimientos con fiables, una porción de espacio bien planeada y acondicionada a su conveniencia, con un elevado grado de seguridad y a un costo económico.

Los adelantos que se realizan en el conocimiento de los materiales, la evolución de las técnicas de construcción, el aumento de reglamentaciones de los diversos problemas que se adicionan al estudio y ejecución de proyectos, exige a los constructores la plena posesión de un bagaje técnico constantemente puesto al día lo mismo que una madurez de criterio, a fin de que puedan en el momento oportuno dar a los problemas que van surgiendo las respuestas convenientes.

En este trabajo se presenta una idea general de las pruebas y propiedades deseables de los materiales, su manejo, dosificación y aditivos que habrán de constituir el concreto en sus distintos tipos, fases y usos.

Siendo tan vasto este tema se optó por hacer un trabajo conjunto con el Sr. Enrique Aguilar Hernández para, en su tesis El Concreto Hidráulico II, contemplar otros aspectos importantes acerca del tema.

Se ha pensado que ambas tesis serán de gran utilidad a los estudiantes de Ingeniería Civil de nuestra Facultad durante el curso de sus estudios.

## I. INTRODUCCION

### I.A AGREGADOS

Tenemos que, según el tamaño del agregado pétreo - podemos diferenciarlos en agregado grueso y agregado fino. Son los diámetros los que definen esta clasificación. Si son mayores que 3.76 mm. (3/16") estamos aludiendo a las gravas o agregado grueso; en caso contrario nos referimos a las arenas o agregado fino.

El comportamiento del concreto está en función de las características particulares del agregado que se use en la obra, dichas particularidades las determinan:

- A) Curvas granulométricas; de una granulometría específica obtendremos una trabajabilidad, economía de la mezcla y densidad específica, respectiva.
- B) Superficie del Agregado, una superficie áspera ofrece una mejor adherencia en la pasta y afecta la trabajabilidad.
- C) Según la cantidad de agregado en un volumen unitario de concreto, se obtendrán cambios volumétricos durante el secado y de alguna manera, también afecta los costos.
- D) Los parámetros de resistencia, elasticidad y dura-

bilidad están condicionados por las propiedades particulares de los minerales que conforman el agregado.

En seguida se mencionarán, brevemente, las principales pruebas a efectuar en este material:

- a) Una adecuada granulometría es aquella que permita un manejo relativamente fácil del concreto tanto en su colocación como para su vibrado, esto sin mencionar que el ahorro de cemento es importante al mantener los valores de la resistencia y el revenimiento sensiblemente constantes. Así que el análisis granulométrico es, sin duda, la primera prueba recomendada. Se incluye el material que pasa la malla No. 200. Esta precaución es con el fin de asegurarnos que el porcentaje de finos no sobrepase el límite permitido. Mientras haya más finos, la mezcla exigirá más cemento, para el mismo revenimiento y la misma resistencia, incrementando el costo del producto. Respecto a este material agregado fino se tiene un parámetro conocido como Módulo de Finura que es la suma de porcentajes retenidos, acumulados, en las distintas mallas. Este módulo acusa el tamaño promedio de la malla en la cual es retenido el material.

El siguiente resumen nos permite visualizar rápidamente los límites especificados en la norma ASTM. C-33.

TAMAÑO DE LA MALLA	PORCENTAJE QUE PASA	
	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
2"		95 - 100
1½"		
1"		35 - 70
¾"		
½"		10 - 30
3/8"	100	
No. 4	95 - 100	0 - 5
No. 8	80 - 100	
No. 16	50 - 85	
No. 30	25 - 60	
No. 50	10 - 30	
No. 100	2 - 10	

Respecto a la grava diremos que se clasifica en -  
dos tamaños:

Grava 1                      ¼ " - ¾"  
Grava 2                      ¾" - 1½"

- b) La prueba activa por intemperismo nos muestra la -  
capacidad del agregado para permanecer invariable  
ante cambios repentinos de temperatura o por esta-  
dos mojado y seco sucesivos. Para esta prueba se  
sumerge una muestra de agregado en una solución -

de sulfato de sodio, al hacer la nueva granulometría se notará la variación del volumen. Generalmente este tipo de ensaye no es fundamental para aceptar o rehusar del material.

c) La densidad se necesita para conocer la cantidad necesaria de agregado ante un volumen particular de concreto. Esta es la relación del peso del agregado en estado saturado y superficialmente seco, al peso de un volumen igual de agua. Decimos que un agregado está en condición saturado y superficialmente seco, cuando todos sus poros están llenos de agua y no hay agua rodeándolo.

d) Existe una prueba que nos revela la capacidad de absorción del agregado. Se pesa una muestra después de haberlo mantenido sumergido en agua durante 24 hrs.

Se mete al horno y una vez seca se pesa nuevamente, la diferencia de pesos, dada como un porcentaje del peso de la muestra seca es la capacidad de absorción. Esta prueba, con frecuencia, se usa como una medida de la porosidad del agregado.

e) La ASTM, indica que se debe conocer el peso volumétrico de la muestra en estado suelto y compacto. Esta propiedad depende del diámetro, distribución de los granos y la forma predominante de los agregados. El peso volumétrico se requiere para hacer conversiones de peso a volumen.

- f) El Análisis Petrográfico proporciona elementos para detectar la presencia de minerales indeseables que afectarían la resistencia del concreto y checar la existencia de los elementos necesarios.
- g) El último en importancia es el cálculo del coeficiente volumétrico. Generalmente no se hace, y posiblemente considera la esfericidad del agregado - con su grado de comparación.

Todas las anteriores pruebas se deberán verificar sobre muestras obtenidas de la siguiente manera: Se dispersa el agregado, se dispone en cuartos y se excluyen dos, cualesquiera, pero opuestos en diagonal, se procede así, hasta obtener el tamaño requerido de la muestra. Esta forma de obtención de la muestra se le denomina "por cuarteo".

#### PRUEBAS FISICAS DE AGREGADOS PARA CONCRETO

CONCEPTO	ARENA	GRAVA 1	GRAVA 2
Retenido malla No. 4	0.8 %	98.3%	99.8%
Pasa malla No. 4	91.2 %	1.7%	0.2%
Retenido malla 50.8 mm-2"			
Retenido malla 38.1 mm-1½"			1.4%
Retenido malla 19.1 mm-3/4"			92.5%
Retenido malla 9.5 mm-3/8"		62.3%	6.1%
Retenido malla 4.8 mm-No. 4		37.7%	
Retenido malla No. 8	4.5 %		
Retenido malla No. 16	12.6 %		
Retenido malla No. 30	29.6 %		
Retenido malla No. 50	35.6 %		

PRUEBAS FISICAS DE AGREGADOS PARA CONCRETO  
(Continuación)

7

Retenido malla No. 100	14.2%		
Pasa malla No. 100	2.8%		
Pasa malla No. 200	5.48%	0.62%	0.22%
Módulo de finura	2.50%		
Densidad	2.57	2.76%	2.8 %
Absorción	5.80%	1.34%	1.47%
Peso volumétrico suelto	1378Kg/m <sup>3</sup>	1443Kg/m <sup>3</sup>	1429Kg/m <sup>3</sup>
Peso volumétrico compactado	1475Kg/m <sup>3</sup>	1578Kg/m <sup>3</sup>	1596Kg/m <sup>3</sup>
Pérdida por intemp. acelerado	10.98%	5.92%	1.40%

PRUEBAS FISICAS Y QUIMICAS DEL CEMENTO

ANALISIS FISICO

Consistencia Norma	% de agua	23
Tiempo de fraguado	Inicial: mm	2:45
Gillmore	Final: hr	3:15
Pasa malla	200	96.8%
Superficie específica	(Blaine) cm <sup>2</sup> /g	3536
Expansión de autoclave	%	--
Fraguado	Pen. Inicial mm	28
Falso	Pen. Final mm	7
Método de Pasta	Pen. Final %	25
Resistencia en	-3 días	151 Kg/cm <sup>2</sup>
Compresión:	-7 días	211Kg/cm <sup>2</sup>

ANALISIS FISICO  
(Continuación)

	-28 días Relación A/C	318 Kg/cm <sup>2</sup>
--	--------------------------	------------------------

ANALISIS QUIMICO

Si O <sub>2</sub> Sílica	21.2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Alúmina	5.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Oxido Férrico	3.3
CaO Cal combinada	62.4
CaO Cal libre	1.1
MgO Magnesio	2.0
SO <sub>3</sub> Anhídrido Sul.	2.2
Residuo Insoluble	0.4
Pérdida por Calcinación	1.7
Na <sub>2</sub> O Oxido de Sodio	0.26
K <sub>2</sub> O Oxido de Potasio	0.54
(Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O)	0.61
COMPUESTOS:	
C <sub>3</sub> S Silicato Tricálcico	47.6
C <sub>2</sub> S Silicato dicálcico	24.9
POTENCIALES:	
C <sub>3</sub> A Aluminato tricálcico	7.9
C <sub>4</sub> AF Ferr. Alum. tetracálcico	10.0

El concreto es un material constituido por una sustancia aglutinante en la cual esta embebido el material de relleno. El aglutinante resulta de combinar cemento -- portland y agua, el agregado viene a ser el material de relleno.

Un concreto bien elaborado se apegará a las si guientes características:

- Fresco debe ser de fácil colocación y trabajabilidad adecuada.
- Ya endurecido debe ser resistente y de durabilidad aceptable en el rango proyectado.
- El producto terminado tendrá una calidad adecuada y un costo mínimo.

El cemento es un polvo de molido fino, su composición la forman los silicato de calcio y aluminio principalmente. Son los compuestos de silicato de calcio los responsables de la apariencia de roca en una mezcla. Se conoce como hidratación la reacción que resulta al combinar cemento con agua, ésta requiere además del factor tiempo, temperatura y humedad favorables.

Aún cuando por el método de fabricación se presume su calidad hay que atender las especificaciones que en este aspecto se proponen así como pruebas para verificar su aceptabilidad y métodos de elaboración. Tanto en el almacenamiento como en su manejo se tomarán precauciones sabiendo

que al contacto con el agua provoca la hidratación alterando sus propiedades.

El tiempo defraguado está condicionado en buena medida por el contenido de agua; las pruebas de consistencia normal es el estado de la pasta en la que, una aguja de peso conocido penetre 10 mm en 30 seg.

Existe un método para determinar la rapidez de fraguado de una muestra de cemento de características normales. La prueba consiste en sostener, una aguja de propiedades estipuladas en la norma con una cantidad de cemento preparado para el caso.

Se diferencia el fraguado inicial del fraguado final en que el primero se presenta al perder elasticidad la pasta y llegar a un estado de rigidez incipiente, al cabo de cierto tiempo se petrifica, es entonces cuando decimos que se ha llegado al fraguado final.

El fraguado falso es un endurecimiento raro que puede presentarse por evaporación excesiva del cemento al contacto del agua. Una manera de evitarlo es con un mezclado continuo.

La Prueba Granulométrica nos permite determinar cualitativamente la velocidad de hidratación, un cemento fino tiene una velocidad de hidratación más rápida y alcanza su resistencia en menor tiempo que otro de grano más grueso, bajo las mismas condiciones.

Se conoce que es en el área superficial del cemento donde se manifiestan primeramente los procesos de hidratación, es el área superficial total de cemento lo que forma el material de hidratación. Es posible conocer la re-

lación del área por unidad de peso, para esto se efectúa un exámen basado en un método presentado por Blaine.

Para llevar un control de las posibles expansiones del cemento se usará la prueba en autoclave. Un concreto expandido en un elemento presentará multitud de puntos débiles.

El objetivo medular del concreto es soportar - compresiones. Las características de acción-respuesta pueden describirse mediante curvas esfuerzo-deformación de especímenes ensayados. Este tipo de prueba se efectúa en cilindros de concreto con relación de lado a diámetro igual a dos. La falla suele presentarse a través de planos inclinados respecto a la dirección de la carga.

Este ensaye puede presentar resultados falseados por agentes extraños al concreto: el cabezeado incorrecto, la base con gránulos, falta de verticalidad, tipo de máquina, etc.

Es frecuente llegar a efectuar pruebas químicas al cemento con la finalidad de checar las cantidades de los elementos. La alúmina, el óxido férrico, la sílica y la cal son los principales componentes. Se observarán también la - álcalis, el anhídrido sulfúrico y el óxido de magnesio. A la porción del cemento que no se disuelve en ácido clorhídrico se le conoce como el residuo insoluble. Los elementos - faltantes por calcinación nos indican una posible prehidratación del cemento.

## RESUMEN DE LOS COMPUESTOS DEL CEMENTO PORTLAND

COMPUESTO	FORMULA QUIMICA	NOMENCLATURA COMUN	CARACTERISTICAS
Silicato Tricalcico	$3\text{CaOSiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	Responsable de las resistencias a primeras edades hasta los 28 días aproximadamente.
Silicato Dicalcico	$2\text{CaOSiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	Responsable de las resistencias a edades avanzadas de 28 días en adelante.
Aluminato Tricalcico	$3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	Genera mucho más calor -- que una cantidad de los otros componentes. Es responsable de la variación de volumen. Formación de grietas, ataque a los sulfatos.
Ferroaluminato Tetracalcico	$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	Poca influencia en la resistencia.

La siguiente tabla nos proporciona un resumen de los principales tipos de Cemento Portland y su denominación según las normas americanas. Estos diferentes tipos de cemento se han clasificado por características a veces no muy bien definidas. Incluso, dentro de un mismo tipo de cemento encontramos diferencias substanciales.

## PRINCIPALES TIPOS DE CEMENTOS PORTLAND

DESCRIPCION INGLESA	DESCRIPCION ASTM
Portland ordinario	Tipo I
Portland de endurecimiento rápido	Tipo III
Portland de endurecimiento extra-rápido	
Portland de ultra-alta resistencia rápida	
Portland de bajo calor	Tipo IV
Cemento modificado	Tipo II
Portland resistente a los sulfatos	Tipo V
Portland de escoria de alto horno	Tipo IS
Portland blanco	
Portland puzolana	Tipo IP

No obstante que las investigaciones se han emprendido para elevar la duración del concreto aún en las condiciones más variadas, existen factores externos a la composición del cemento que de una manera u otra detrinen ó permiten que las propiedades mecánicas lleguen a manifestarse convenientemente. Es así como la resistencia, la permeabilidad, la contracción, etc., son resultado en buena medida de dichos factores.

VALORES TÍPICOS DE COMPOSICIÓN DE LOS COMPONENTES DE  
CEMENTOS PORTLAND DE DIFERENTES TIPOS

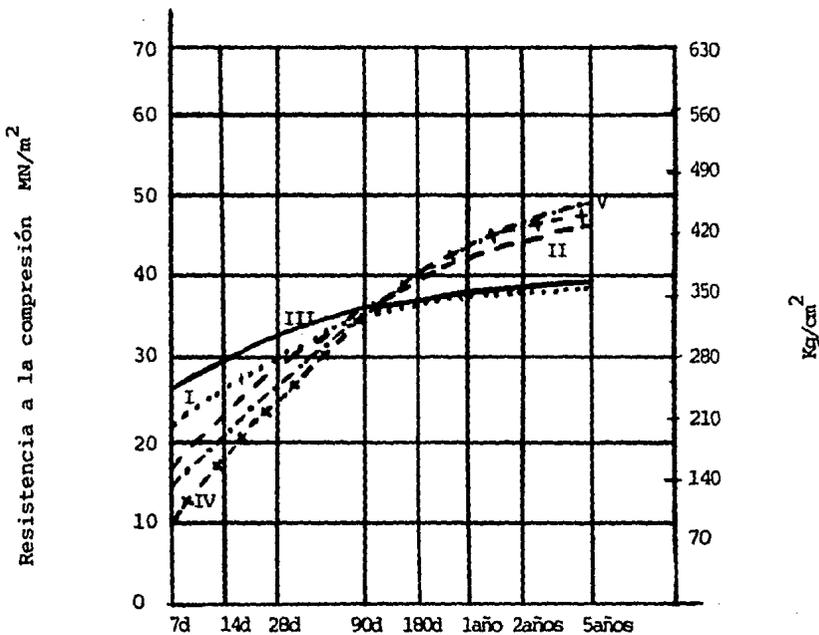
Cemento	Valor	Composición de compuestos, en porcentaje								
		C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	CaSO <sub>4</sub>	CaO libre	MgO	Pérdida por Ignición	Número muestra
Tipo I	Max.	67	31	14	12	3.4	1.5	3.8	2.3	21
	Min.	42	8	5	6	2.6	0.0	0.7	0.6	
	Medio	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	1.2	
Tipo II	Max.	55	39	8	16	3.4	1.8	4.4	2.0	28
	Min.	37	19	4	6	2.1	0.1	1.5	0.5	
	Medio	46	29	6	12	2.8	0.6	3.0	1.0	
Tipo III	Max.	70	38	17	10	4.6	4.2	4.8	2.7	5
	Min.	34	0	7	6	2.2	0.1	1.0	1.1	
	Medio	56	15	12	8	3.9	1.3	2.6	1.9	
Tipo IV	Max.	44	57	7	18	3.5	0.9	4.1	1.9	16
	Min.	21	34	3	6	2.6	0.0	1.0	0.6	
	Medio	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	1.0	
Tipo V	Max.	54	49	5	15	3.9	0.6	2.3	1.2	22
	Min.	35	24	1	6	2.4	0.1	0.7	0.8	
	Medio	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	1.0	

Por exigencias de la obra podemos preferir un tipo de cemento, pero ésta solución puede conllevar efectos secundarios, a veces no deseables. Es oportuno considerar el equilibrio de requisitos y en todos los casos no descuidar el renglón económico de manufactura.

Quando la construcción no estará sometida a acciones extraordinarias y no habrá contacto con los sulfatos ni el agua freática es recomendable se use cemento Portland Ordinario (Tipo I). Sus restricciones químicas son las siguientes: El factor de saturación de cal debe estar en el rango de 1.02 y 0.66.

Este tipo de cemento (tipo I) ha tenido mejoras conforme ha avanzado la tecnología. El Cemento de hoy tiene un contenido más alto de  $C_3S$  (Silicato tricálcico) y es más fino que el de hace 4 décadas, esto trae como resultado que se obtenga una mayor resistencia a los 28 días.

La siguiente figura nos muestra la resistencia de varios tipos de cementos a través del tiempo.

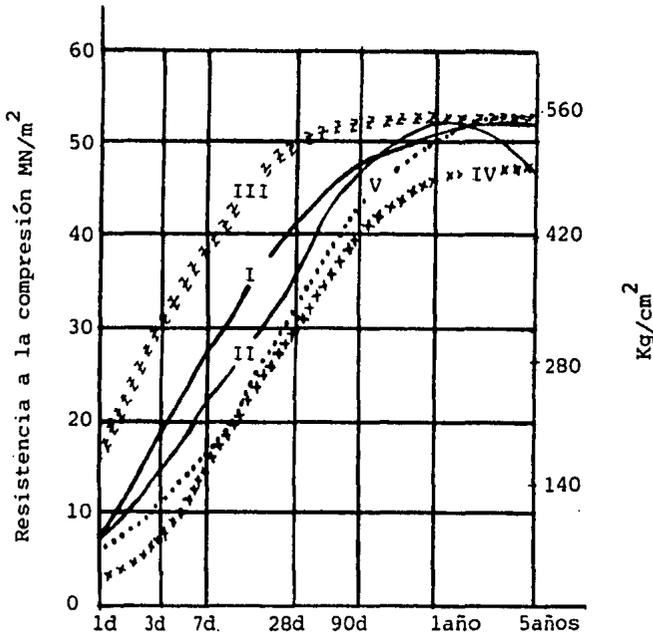


Desarrollo de la resistencia de concreto con  $335 \text{ kg/cm}^2$ . Elaborados con cementos de distintos tipos.

Antes de los 90 días las diferencias son muy marcadas; pero en este punto las diferencias se reducen.

En ocasiones al hacer este tipo de ensaye se en

cuentra que al cabo de los 90 días la diferencia es considerable, los cementos de baja rapidez de endurecimiento al final presentan una resistencia un poco más alta. Se puede distinguir, en estas gráficas, que las diferencias significativas en la resistencia se ubican en la primera etapa de hidratación.



Desarrollo de concretos con una relación agua-cemento de 0.49, elaborados con cementos de diferentes tipos.

### 1.B.1

### PORTLAND DE ENDURECIMIENTO RAPIDO

Como su nombre lo dice un concreto elaborado con este tipo de cemento (Tipo III) desarrollará su resistencia

más rápidamente que el ordinario. Si se compara su resistencia alcanzada a los 3 días se encontrará que es la misma que proporciona a los 7 días el cemento Portland Ordinario con la misma relación agua cemento. Su uso es aconsejable cuando por presiones del programa hay que apresurar el endurecimiento o porque no sea rentable adquirir nueva cimbra en otro colado similar. Debido a su alto calor de hidratación no se recomienda en construcciones masivas. La particularidad de este tipo de cemento es su alto contenido de  $C_3S$  (Silicato Tricálcico) y una pulverización más fina del clinker del cemento.

La celeridad de endurecimiento es un concepto diferente al de rapidez de fraguado; tanto el Cemento Portland Ordinario como este tipo de cemento tienen tiempo de fraguado comparables.

#### I.B.2 PORTLAND DE ENDURECIMIENTO EXTRARAPIDO

Al añadir Cloruro de Calcio en el pulverizado del cemento Portland de endurecimiento rápido se obtiene un nuevo tipo de cemento particularmente rápido conocido como CEMENTO PORTLAND DE ENDURECIMIENTO EXTRARAPIDO.

Este tipo de cemento debe ser utilizado en un período que no exceda de un mes desde su fabricación justamente por el Cloruro de Calcio, que es delicuescente. La proporción de este nuevo componente debe ser menor del 2.0%. Cuando por alguna razón no es posible adquirir en el mercado este cemento se introduce el Cloruro de Calcio antes de mezclar el concreto.

Las ventajas que presenta son: que este tipo de cemento supera en un 25%, en cuanto a la resistencia del cemento rápido al cabo de 1 ó 2 días, y entre 10 y 20% a los 7 días; su tiempo de fraguado es muy corto, de 5 a 30 minutos, según el clima imperante.

Como desventaja podríamos mencionar que la --contracción que se presenta es algo mayor que el del cemento Portland de endurecimiento rápido y además exige que su colocación sea cuanto antes.

Este tipo de cemento es apropiado para obras en climas fríos y cuando es necesario aumentar la rapidez de la resistencia.

### I.B.3 PORTLAND DE BAJO CALOR

Fue en Estados Unidos donde surgió la necesidad de este cemento. En la construcción de grandes presas con colados masivos se vió que era posible la reducción de fisuras al controlar el calor propagado por la hidratación del cemento. Este cemento es el Portland de Bajo Calor (Tipo IV) y lo mismo que el (Tipo II) se examina en la norma ASTM --C-150-72.

### I.B.4 PORTLAND DE ALTO HORNO

La norma de la ASTM B.S. 146:1958 es la misma --tanto para el cemento Portland Ordinario como para este nuevo tipo de cemento en lo que se refiere a finura del molido,

cambios volumétricos y tiempo de fraguado. La escoria de alto horno esta sujeto a los procesos de elaboración y el sistema de enfriamiento. Si esta escoria va usarse en la fabricación de este tipo de cemento se deberá apagar hasta que se condense como vidrio y no se permitirán formaciones de cristales.

Los componentes de la escoria de alto horno son los mismos óxidos que forman el cemento Portland, los que varían son las proporciones.

Su elaboración: Se muelen mezclados. La escoria granulada con el clinker de cemento Portland, sin que la proporción de escoria sobrepase del 65% del peso, según previene la Norma B.S. 146:1958, este procedimiento ayuda a controlar el fraguado.

Respecto a la rapidez de endurecimiento se ha comprobado que es algo menor, durante los primeros 28 días, que el cemento Portland Ordinario. Habrá que notar la importancia que reviste la vigilancia de su curado. Los requisitos de resistencia son más bajos que el cemento ordinario, - siendo comparable después de haber transcurrido cierto tiempo.

#### I.B.5 RESISTENTE A SULFATOS

La agresión al concreto por parte de los sulfatos es debido a la facilidad de reacción del aluminato de calcio hidratado con alguna sal de sulfato proveniente del medio, dando como resultado un sulfoaluminato de calcio que se desarrolla dentro del concreto ya endurecido, este hecho

lo obliga a una desintegración progresiva.

20

Este fenómeno es estimulado por un continuo estado seco y mojado del elemento. Se tomará la precaución de usar un cemento de bajo contenido de  $C_3A$  (Aluminato Tricálcico), para remediar este inconveniente.

Al intercambiar bases entre el hidróxido de calcio y los sulfatos se produce yeso, incrementando el volumen en hasta un 124%. Este es otro curso que nos lleva a la destrucción de la edificación.

Debido a sus requerimientos especiales en la composición de la materia prima de este tipo de cemento no es de fabricación corriente.

#### I.B.6 PORTLAND-PUZOLANICO Y PUZOLANAS

Las puzolanas son materiales silícicos o silíco-aluminoso, naturales o artificiales, procesados o no procesados, los cuales por sí mismos no poseen valor cementante, pero al molerlos finamente y al entrar en contacto con el agua reaccionan químicamente con la cal para formar nuevos compuestos que sí poseen propiedades cementantes. La puzolana, según la ASTM, Norma C618-72 la describe como un compuesto silíceo o sílico-aluminoso.

Las puzolanas que pueden emplearse en la manufactura de cementos portland-puzolana, incluyen materiales naturales del tipo de las cenizas volcánicas, pómez, tierra de diatomáceas, esquistos, pizarras, etc.; ciertos materia--

les activados por calentamiento y algunos subproductos industriales como las cenizas volantes, algunos tipos de escoria, etc.; a la mezcla íntima y uniforme de cemento portland y puzolana se le denomina cemento portland-puzolana, la cual se obtiene a través de la molienda del clinker portland, puzolana y yeso. La puzolana forma del 10 al 20% de la mezcla total. De este compuesto se aprovecha la propiedad que tienen las puzolanas de combinarse con la cal que se libera durante la hidratación del cemento portland, de manera que se aproveche benéficamente la cal que queda como desperdicio de los cementos, formando compuestos cementantes (silicatos cálcicos) que coadyuvan a una mayor estabilidad física y química de los concretos.

La cal (Hidróxido de calcio) que se libera durante la hidratación del cemento portland se ha reconocido como un componente no deseable dentro de la pasta endurecida. Esta cal representa un punto vulnerable al ataque de las aguas y suelos agresivos y finalmente motiva la aparición de eflorescencias sobre la superficie visible del concreto dando le un aspecto desagradable. Es por esto que se trate de eliminar o cuando menos, disminuir estos aspectos mediante la adición de puzolana al cemento portland.

Los cementos puzolánicos aumentan notablemente la resistencia del concreto al ataque de agentes químicos. La resistencia superior del cemento portland puzolana al ataque de los sulfatos en particular, ha sido ampliamente demostrada, otras ventajas que ofrece el uso de este tipo cemento son: Mejoría en la trabajabilidad, reducción en el sangrado y en la segregación disminución de la generación de calor y contracción térmica, disminución de la permeabilidad y se mejora la resistencia a la tensión.

A continuación se analizan estas características:

Trabajabilidad.- La mejoría en la trabajabilidad se hace evidente principalmente en el caso de mezclas de concreto pobres en cemento, o con arena escasa de finos o con agregados de partículas trituradas; el uso de cementos puzolánicos puede mejorar notablemente la trabajabilidad, en lo que se refiere en la plasticidad, cohesión y aspecto, sin mayor requerimiento de agua.

Como efecto derivado de estos beneficios en la trabajabilidad por el uso de un cemento portland puzolánico, también puede reducirse convenientemente la segregación cuando el concreto requiera ser transportado por planos inclinados, o depositados por caída libre, o simplemente colocado por capas que adopten un talúd determinado.

El Sangrado.- Este es la separación del agua de una mezcla de concreto debido al asentamiento gravitacional de los materiales sólidos, es una forma de segregación. Cuando es muy acentuado se forma en los concretos una especie de nata, se originan contracciones prematuras, un rayado arenoso, falta de uniformidad en la resistencia, se forman vacíos debajo del agregado, con el aumento consecuente de la permeabilidad y juntas frías débiles entre capas sucesivas del concreto colocado.

La velocidad de sangrado y el sangrado total son afectados por varios factores: tipo, finura y características de fraguado del cemento; graduación de la arena, falta de finos de la arena; graduación del agregado grueso; relación agua/cemento y condiciones atmosféricas en la colocación del concreto. En algunas ocasiones, el empleo de

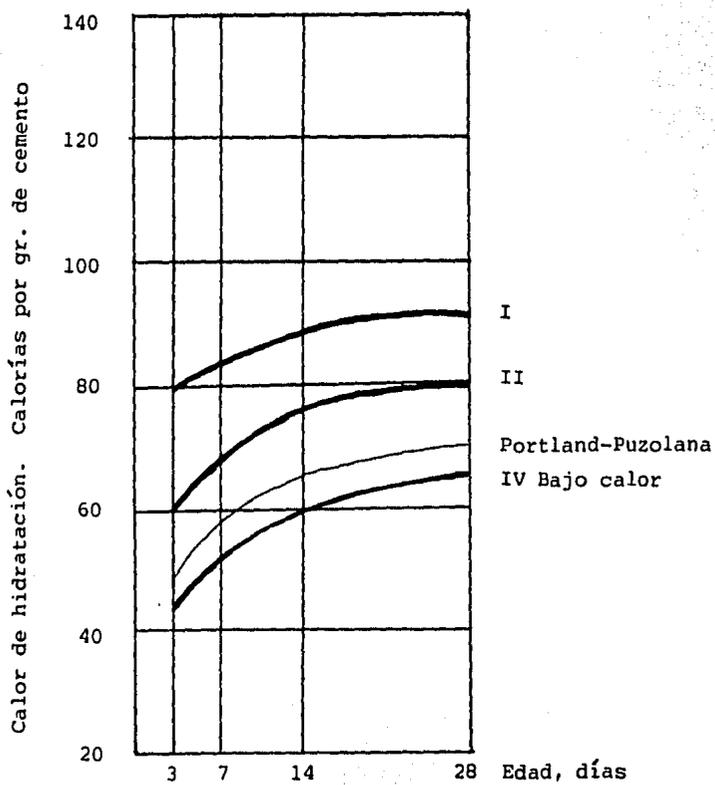
agregados triturados deficientemente con partículas planas y alargadas, puede ser una causa adicional del origen del sangrado. Se ha establecido fundamentalmente que la habilidad de cualquier mezcla de sólidos con agua para retener su agua de mezclado esta directamente relacionada al área superficial total del material y a la viscosidad de la fase líquida. A medida que disminuyen estos factores aumenta el sangrado de éste modo, el empleo de un cemento de elevada superficie específica, como es el cemento portland-puzolana, ayuda a evitar el sangrado.

Calor de hidratación.- Durante el endurecimiento del concreto se produce considerable calor debido a la hidratación del cemento (reacción química entre sus compuestos y el agua). El carácter exotérmico del proceso de hidratación del cemento portland provoca una elevación en la temperatura del concreto a medida que avanza dicho proceso. Esta generación de calor alcanza valores diferentes de acuerdo con la composición química del cemento.

En grandes masas de concreto o cuando éste se haya confinada la conductividad térmica es muy baja, evitando la radiación del calor y el concreto puede entonces alcanzar altas temperaturas. Esta elevación de temperatura es lo suficientemente alta para causar serios agrietamientos en la estructura debido a contracciones térmicas cuando viene el enfriamiento a la temperatura ambiente, afectando su impermeabilidad y durabilidad.

El cemento portland-puzolánico tiene características de generación similares a la del cemento portland (tipo IV) de bajo calor. Estos cementos no sólo producen menos calor que los otros tipos de cemento, sino que también lo li

CALORES DE HIDRATAACION PARA  
DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO



beran a velocidad más lenta, de tal forma que el calor puede ser disipado tan pronto como se genera.

Permeabilidad.- Generalmente un concreto bien dosificado, mezclado, compactado y curado, debe ser impermeable en condiciones normales de uso; solamente cuando el concreto ha sido mal trabajado: exceso de vacíos, juntas, etc., se producen filtraciones, pero casi nunca a través de la -- propia masa del concreto.

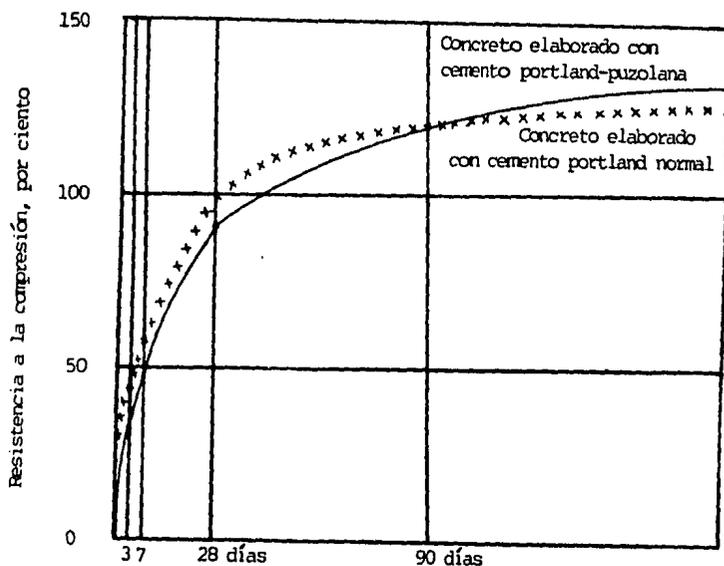
En ocasiones por las condiciones especiales de exposición pueden solubilizarse y llegar a producir cierta porosidad en la masa del concreto haciéndolo permeable. En este caso el empleo de un cemento puzolánico es de gran ayuda debido a la habilidad de los materiales puzolánicos para estabilizar los compuestos solubles, sellando de esta manera los poros del concreto. Por tanto concluimos que los concretos hechos con cemento portland-puzolana muestran una mejor impermeabilidad en estructuras hidráulicas con el paso del tiempo, que algunos concretos hechos con otros cementos.

Resistencia a la tensión.- Muchos investigadores concluyen que el uso de cementos portland-puzolánicos manifiesta un mejor comportamiento a la tracción cuando se han alcanzado mayores edades.

Resistencia a la compresión.- Los concretos elaborados a base de cemento portland-puzolana alcanzan resistencias satisfactorias, aún cuando éstas no sean iguales a las de los concretos correspondientes a base de cemento portland solo.

A edades tempranas, los concretos elaborados con cemento portland puzolana generalmente desarrollan resistencia a la compresión algo menor que las de los concretos correspondientes a base de cemento portland solo. A edades avanzadas, los concretos de cementos puzolánico generalmente exhiben resistencias a la compresión que se aproximan a las de los concretos correspondientes conteniendo cemento portland sin puzolana.

Los componentes de los cementos portland-puzolana que se producen en México se dosifican adecuadamente, con el fin de que los concretos que se fabrican con ellos alcancen resistencias similares a las de los concretos fabricados con otros tipos de cemento.



Resistencia a la compresión de dos tipos de concreto

Al hacer un concreto para usos estructurales nos damos cuenta que un 70% del volumen lo ocupan los agregados; se denominan arenas a las partículas menores de 4.76 mm - (3/16") de diámetro. A las partículas mayores se les conoce como grava o agregados gruesos.

## II.A FUNCION

a) Desde el punto de vista económico, el agregado proporciona un relleno económico para el material cementante.

b) Su presencia reduce los cambios volumétricos producidos por el fraguado y el endurecido del cementante durante la variación de la humedad.

c) Cuando el agregado es el apropiado proporciona resistencia a la abrasión, al intemperismo, a las cargas aplicadas y obstaculiza las filtraciones de agua. En el manejo de agregados es práctica común separar el material en fracciones de varios tamaños y dosificados, también por separado. Se prefiere este sistema sobre todo si se trata de agregado grueso para evitar la segregación. Se observa que mientras se disminuye la variedad de tamaños de cada fracción y el número de fracciones aumenta la segregación se reduce en mucho. Experimentalmente se ha observado que si se guarda la proporción de medidas máxima a mínima inferior a cuatro, para diámetros menores de 25.4 mm y de dos para diáme--

tros mayores se controla la segregación y en diámetros menores se corrigen exedencias:

Veamos esto resumido en la siguiente tabla.

4.76	hasta 20 mm	(3/16" hasta 3/4")
20	hasta 40 mm	(3/4" hasta 1½" )
40	hasta 75 mm	(1½" hasta 3" )
75	hasta 150mm	(3" hasta 6" )

#### II.B. MATERIAL DE MENOR TAMAÑO

El material de menor tamaño se define como aquel que pasa un análisis granulométrico con abertura de 5/6" del tamaño mínimo especificado de la fracción de agregados. Es importante mantener la proporción de tamaños cuidando que -- las operaciones de manejo se efectúen con método, de lo contrario el aumento de finos se manifestará viable. La granulometría de los agregados al entrar en la mezcladora debe ser uniforme y dentro de los límites especificados y si el resultado no es el esperado se eliminarán los granos de menor tamaño por un nuevo recribado del agregado grueso en la planta de mezclado. Respecto al agregado de menor tamaño en las fracciones de agregados menores se podrán eliminar convenientemente, hasta en un 2%, si se recriban antes de almacenarse en las tolvas de la planta de dosificación.

Cuando tratamos con arenas es importante conservar un margen de seguridad como lo especifica la norma ASTM-C33, si el material es de minerales duros sin arcilla, ni esquistos o partículas suaves pueden tolerarse porcentajes ma-

yores de partículas más finas que la malla No. 200.

En el procedimiento de mezclas, para poder utilizar una mayor gama de tamaños del agregado fino es necesario que la relación de finos a gruesos se apeguen a lo estipulado en las recomendaciones del ACI en este aspecto.

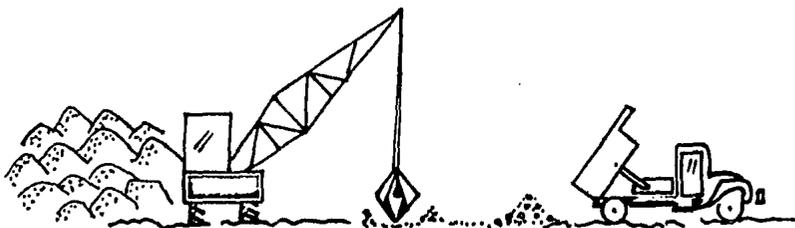
En general los agregados finos y gruesos; al descargarse en la tolva dosificadora por peso, deben ser de buena calidad, uniformes en granulometría y contenido de humedad.

## II.C. ALMACENAMIENTO

En este aspecto se mantendrá extrema vigilancia para poder asegurar un buen producto. Recomendaciones Generales:

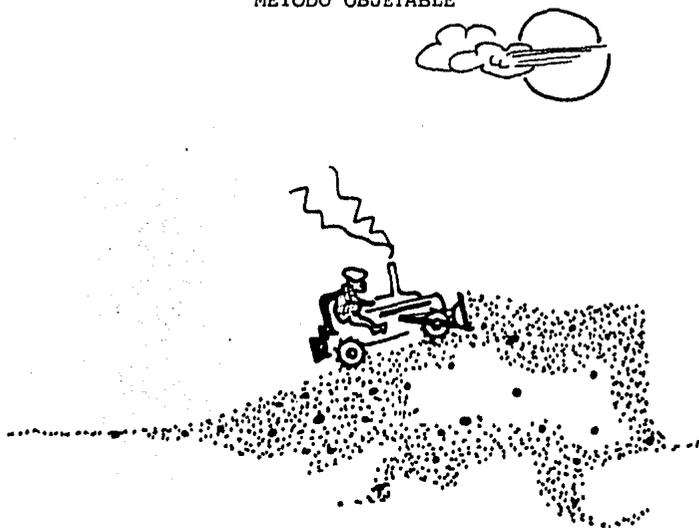
El almacenamiento debe preferirse en montones - que favorezca una manipulación sencilla, previniendo que el viento active la separación de los finos del agregado grueso. Los montones deben construirse en capas horizontales o levemente inclinadas, no por volteo. No se permitirá que manobren vehículos en el agregado ya que los contaminan con tierra, aceite o cualquier material circundante, amén de que los rompan. Se tomarán medidas para que los cangilones o los cucharones no acarren el material derramándolo sobre otros tamaños. El piso del patio de almacenamiento será de material duro. El agregado se seccionará, donde cada tamaño se separará con muros o con espacios amplios y obstaculizar la acción del viento.

METODO CORRECTO DE ALMACENAR AGREGADOS SIN  
CAUSAR SEGREGACION NI ROTURA DE PARTICULAS



CON UNA GRUA U OTRO MEDIO DE APILAR EL MATERIAL EN MONTONES NO MAYO  
RES QUE LAS CARGAS DE UN CAMION, ASI PERMANECEN EN SU LUGAR SIN DES  
LIZAR.

METODO OBJETABLE



## II.D. LA HUMEDAD EN EL AGREGADO

Es responsabilidad del ingeniero asegurar un contenido de humedad estable en el agregado en el momento de la dosificación. El primer obstáculo es el hecho de que el agregado grueso regularmente contiene cantidades variables de - agua libre entorpeciendo, así, el control de la consistencia del concreto. Habrá ocasiones en que se tendrá que humede--cer el agregado en el almacén o durante el trayecto por las bandas debido al alto grado de absorción o para equilibrar - la temperatura del material grueso. El siguiente paso es - impedir que el exceso de agua libre modifique el proporcionamiento en la tolva, para lograrlo se usan cribas secadoras.

Respecto al agregado fino el tiempo de drenaje del agua libre estará en función de la granulometría y la - forma de las partículas. Se conoce que con un contenido de humedad libre hasta del 7% es posible mantener la estabilidad en este tipo de agregado. Cuando la colocación del concreto es en grandes volúmenes se exige que la variación de humedad sea inferior al 2% en 8 hrs. ó del 0.5% en 1 hora.

Se ha reiterado la importancia de un control de humedad estable y recomendamos el uso de medidores de humedad que adviertan las variaciones de este parámetro en el agregado fino al dosificarlo. También se usa el recurso de los - compensadores de humedad para hacer los ajustes de peso en - la dosificación.

## II.E. MEDICION

Los agregados deben mantenerse dentro de la gra nulometría especificada durante la preparación del concreto con la finalidad de conservar homogeneas las reproducciones de la mezcla de concreto escogido.

En primera instancia es el peso preciso lo que nos llevará a un correcto término: la más conveniente se--- cuencia y la mejor combinación de los materiales es el si--- guiente paso durante la carga de la mezcladora. Después de haber observado todos los pasos que la experiencia y la ob--- servación recomienda es de esperarse una uniformidad y homo--- geneidad en el concreto producido y se esperará una buena - respuesta en su uso.

Los responsables de la producción del concreto emiten especificaciones que detallan requerimientos para los casos de dosificación manual, semiautomático y automático - del concreto.

La dosificación en grandes plantas operará dentro del rango de las tolerancias del peso mientras el equipo mecánico se le mantenga en buenas condiciones de servicio.

En la siguiente tabla se presentan las tolerancias mas usadas en la dosificación del concreto.

## TOLERANCIAS TÍPICAS DE DOSIFICACION

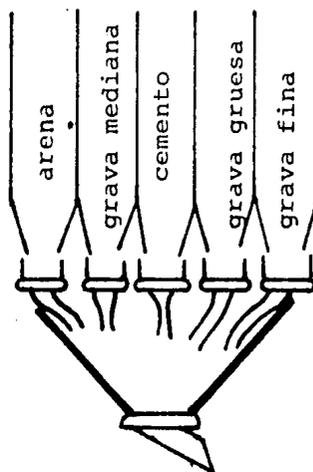
INGREDIENTES	Pesos de carga mayores que el 30% de la capacidad de la báscula		Pesos de carga menores que el 30% de la capacidad de la báscula	
	Mezclado individual	Mezclado acumulado	Mezclado individual	Mezclado acumulado
Cemento y otros materiales cementantes	1 % y 0.3% de la capacidad de la báscula, el que sea mayor		No menor que el peso requerido ni más del 4% del peso requerido	
Agua (por volumen o peso), en por ciento	+ 1	No recomendado	+ 1	No recomendado
Agregados por ciento	+ 2	+ 1	+ 2	+ 0.3 % de la capacidad de la báscula 0 ÷ 3% del peso acumulado requerido, el que sea menor
Aditivos (por volumen o peso) por ciento	+ 3	No recomendado	+ 3	No recomendado

## II.F. SILOS Y TOLVAS

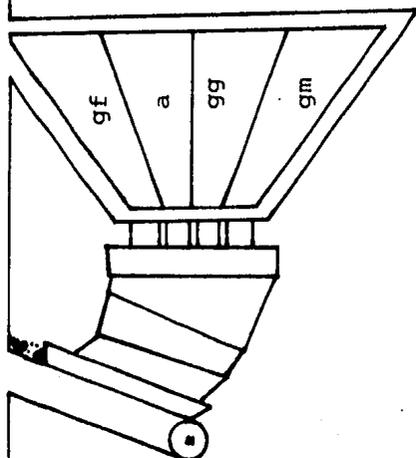
Las dimensiones de la planta dosificadora serán adecuadas para alimentar eficazmente la capacidad productora de la planta, la forma y disposición de los silos para el agregado serán aptos para evitar la segregación y rotura del material.

TOLVAS DE GRAVA DISPUESTAS CONCENTRICAMENTE ALREDEDOR DE LAS TOLVAS DE CEMENTO.

PESADO AUTOMÁTICO DE CADA INGREDIENTE EN DOSIFICADORES SEPARADOS QUE DESCARGAN EN EL CONO COLECTOR DIRECTAMENTE DENTRO DE LA MEZCLADORA. DESCARGA CONTROLADA DE LOS DOSIFICADORES DE CEMENTO DE MANERA QUE ESTE FLUYA EN FORMA SIMULTÁNEA CON LA DESCARGA DE AGREGADOS. LOS DOSIFICADORES PERMANECEN AISLADOS DEL EFECTO VIBRATORIO DE LA PLANTA. ESTA DISPOSICIÓN ES LA DESEABLE.



UNA DISPOSICIÓN PREFERIBLE



PESADO AUTOMÁTICO Y ACUMULACIÓN DE AGREGADOS QUE SE LLEVAN A LA MEZCLADORA POR BANDA TRANSPORTADORA. EL CEMENTO PESADO SEPARADAMENTE SE DESCARGA EN FORMA CONTROLADA, DE MANERA QUE EL CEMENTO FLUYA MIENTRAS LOS AGREGADOS SE DESCARGAN.

Se preferirá el uso de cajones de concha de almeja para cargar las tolvas pesadoras a las de tipo de socavación radial.

Los dosificadores automáticos o semiautomáticos emplearán compuertas operadas por motores y un control de goteo con una exactitud que considere el rango de tolerancias.

Estas tolvas para tomar muestras representativas y también para lograr la mejor secuencia y combinación de agregados durante la carga de la mezcladora.

El tamaño de la obra, el volumen/hora requerido y las normas de rendimiento son parámetros de criterio para la selección del sistema de dosificación.

La capacidad de producción de una planta de concreto puede definirse por su tamaño tanto del silo como la tolva dosificadora y del tamaño y número de mezcladoras en la planta. El sistema de manejo de los materiales también es un parámetro de juicio.

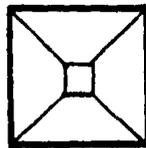
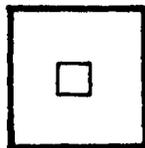
## 11.G. SISTEMAS DE DOSIFICACION

Los siguientes tipos de dosificadoras son las que se pueden encontrar en el mercado.

Cuando el volumen requerido es del orden de  $15\text{m}^3/\text{hora}$ , se opta por una de operación manual. Las plantas manuales requieren de un pesado y dosificado cuidadoso por el ingeniero encargado de la obra. Se ha visto que por apre

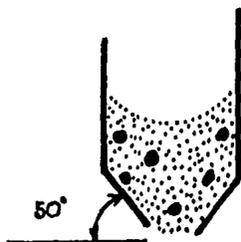


INCLINACION DEL FONDO  
DE LAS TOLVAS PARA AGRE  
GADO.

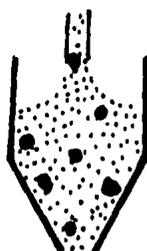
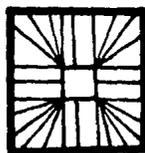


INCORRECTO

INCORRECTO



INCLINACION CORRECTA DEL FONDO DE  
LAS TOLVAS PARA AGREGADO. EL FON  
DO COMPLETO CON INCLINACION DE 50°  
EN RELACION CON LA HORIZONTAL EN  
TODOS LOS SENTIDOS HACIA LA SALI  
DA CON LAS ESQUINAS DE MODO QUE  
TODO EL MATERIAL SE DESLICE HACIA  
LA SALIDA.



INCORRECTO

CORRECTO

LLENADO DE LAS TOLVAS DE AGREGADOS

CUANDO LA DISPOSICION ES LA CORRECTA, EL MATERIAL CAE VERTICALMENTE EN  
LA TOLVA, DIRECTAMENTE SOBRE LA ABERTURA DE DESCARGA.

suramientos de la obra se llega a exigir al personal encargado de este tipo de planta a elevar el rendimiento, deteriorando así, la calidad del concreto por las apremiaciones en el pesado.

Cuando el volumen requerido de concreto sobrepasa los  $400 \text{ m}^3$  con una producción superior a los  $15 \text{ m}^3/\text{hora}$ , se preferiría una planta con dosificador semiautomático que permite operar las compuertas de las tolvas de los agregados mediante interruptores a presión o botones.

Así las compuertas se cierran automáticamente - una vez rebasado el peso programado del agregado.

Este sistema, por medio de dispositivos especiales no permite la carga cuando se está vaciando el material. Otra ventaja es que con sus ventanillas facilita la inspección ocular del personal.

En el sistema de dosificación automática el control de los materiales se lleva a cabo por medio de un solo control de mando. La dosificación se efectúa electricamente y con un mecanismo que interrumpe el ciclo de la dosificación cuando el indicador no registra una exactitud inferior al 0.30% del peso especificado, lo que nos permite disponer de un alto control de calidad del concreto.

La dosificación Automática acumulada, este tipo de dosificación precisará de interruptores en secuencia. La carga de la tolva dosificadora se interrumpirá si sus compuertas de alivio no están cerradas o si el mecanismo de cualquiera de los compartimientos no se ajusta al peso estipulado. Esta variedad nos permite mayor exactitud en la producción a alta velocidad respecto de la dosificación manual o -

Los pesos elegidos para elaborar las mezclas se controlan por medio de los modernos elementos de computación como podrían ser, tarjetas perforadas, interruptores digitales, etc.; no obstante el comienzo del ciclo de mezclado y en su descarga se controlan manualmente.

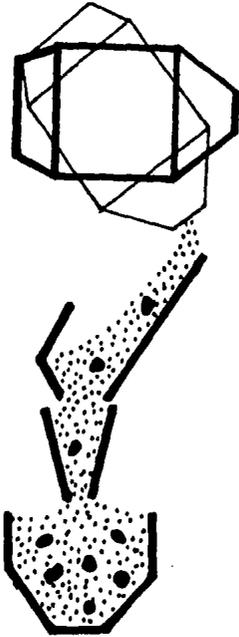
De los accesorios con que se deben contar para vigilar el comportamiento de una planta de este tipo son los medidores de humedad del agregado fino, selectores para el volumen de la mezcla y su dosificación, además, un registro gráfico o digital de los pesos de cada material y los compensadores de humedad del agregado grueso.

Otro tipo de dosificación denominado "dosificación individual automática" proporciona básculas y tolvas medidoras individuales para cada uno de los materiales que constituyen la mezcla. Para iniciar el ciclo de pesado basta con accionar un sólo interruptor que desencadena el mecanismo de carga de las tolvas medidoras individuales.

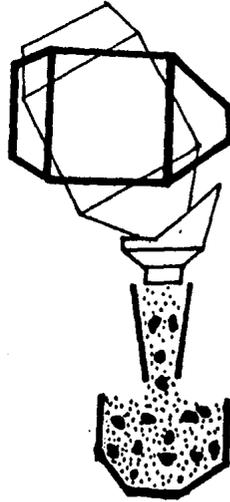
Cuando los pesos, la descarga o las tolerancias se han rebasado se desconectan automáticamente los elementos que permiten que el sistema funcione. Este modelo exige algunos refinamientos en los medidores y compensadores de humedad en el agregado; los registradores y los selectores de la mezcla funcionan bajo el mismo principio de los modelos ya mencionados.

Es indiscutible que para lograr una producción acelerada es necesario dosificar rápida y exactamente cada componente. Es recomendable que los cementos y puzolanas a granel se pesen con equipo automático. Las tolvas con equi-

CONTROL DE SEGREGACION AL DESCARGAR  
CONCRETO DE LAS MEZCLADORAS

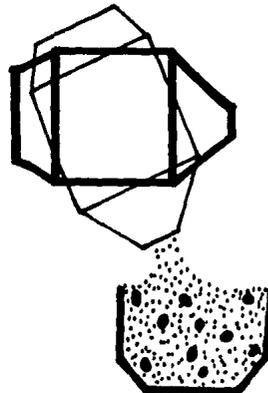


DISPOSICION CORRECTA



DISPOSICION CORRECTA

DISPOSICION ADECUADA



CUANDO SE OPTA POR LA DISPO  
SICION CORRECTA SE EVITA LA  
SEPARACION INDEPENDIENTEMENTE  
DE LA LONGITUD DEL CANALON O  
DE LA BANDA TRANSPORTADORA,  
SI SE DESCARGA EL CONCRETO  
EN RECIPIENTES, CARROS, CAMIO  
NES O TOLVAS

po que permita tomar muestras en todo momento y con acceso para su vigilancia. Se deberán usar las mismas tolerancias para la escala "cero" y por pesado.

Cuando la obra, por su tamaño, requiera de equipo especial para dosificar se procurará que el cemento y la puzolana sean medidas por sacos completos; si existen fracciones, se pesarán.

En caso contrario -Plantas centrales de dosificación, obras grandes, mezclado de alta producción- se medirá el peso del agua mediante dispositivos automáticos que permitan verificar su correcta operación bajo cualquier condición de operación y sin rebasar la tolerancia especificada. En caso de camión revolvedor el agua debe inyectarse dentro del tambor; pero como en el caso de arriba el equipo para la medición del agua deberá permitir una fácil calibración de modo que la exactitud de la medición pueda comprobarse con prontitud.

La cantidad de humedad y su variación afectan la dosificación del agua; los medidores de humedad en la arena que se emplean en las plantas indican satisfactoriamente la magnitud general y los cambios de humedad, esto desde luego sí están debidamente calibradas y con mantenimiento conveniente.

El equipo para compensar la humedad proporciona el peso del agua y el agregado fino por variaciones en el contenido de humedad agregado. Este ajuste se hace manualmente mediante carátulas calibradas, botones o palancas.

El diseño de una mezcladora, tiene una disposición de las aspas en espiral y forma de tambor para asegurar de extremo a extremo el intercambio de materiales paralelo al eje de rotación y un movimiento que voltea y esparce la mezcla sobre si misma.

Otra variedad de este equipo, de eje vertical cuenta con unas aspas que giran sobre ejes verticales adaptados con un recipiente fijo o giratorio que gira en sentido opuesto. Esta mezcladora facilita la inspección.

La mezcladora de paleta en espiral, consiste en un tambor horizontal en cuyo interior, adaptado en un eje, giran las paletas en espiral.

Es el agua el primer elemento que debe entrar en una mezcladora y mantener su curso mientras los demás se van cargando. Sus tuberías deberán ser de diseño de apropiado y tamaño suficiente de manera que entre fácilmente a la mezcladora y termine de introducirse dentro de un lapso de  $\frac{1}{4}$  del tiempo de mezclado.

El cemento deberá ingresar en la mezcladora cuando el 10% de los demás elementos ya estan dentro. Cuando por circunstancias especiales, se tenga que cargar el cemento por separado, deberá haber tiempo adicional para obtener uniformidad en la mezcla.

Los Aditivos Líquidos se cargarán con el agua. Los de presentación en polvo se vertirán en la mezcladora con componentes secos. Si se usa más de un aditivo no se

mezclarán antes de entrar en la mezcladora y se dosificarán también, por separado.

## II.H.1 TIEMPO DE MEZCLADO

El tiempo de mezclado que se decida utilizar -- estará normado por las pruebas de efectividad de la mezcladora que se use. Estos ensayos se efectuarán a intervalos regulares durante las obras. Las especificaciones mas comunes mencionan que el mezclado demorará 1 minuto por  $yd^3$ ,  $\frac{1}{4}$  de minuto por  $yd^3$  adicional de capacidad. Esta norma es una guía a la que podemos acogernos para establecer el tiempo inicial de mezclado.

Se preverá en el diseño de la descarga de las mezcladoras y en los camiones revolvedores en los transportes de transbordo y en general en todas las operaciones de manejo del concreto, con el fin de evitar la segregación.

Como se ha visto es importante conservar la relación agua-cemento en la preparación de los ingredientes de la mezcla, para lograrlo se recomienda adicionar el agua en pequeñas cantidades hasta llegar al revenimiento deseado. En las demoras de entrega o de la colocación se evitará siempre restituir agua para el remezclado u optar por un concreto de revenimiento excesivo ya que se pierden las propiedades de diseño.

## II.I. CONCRETO PREMEZCLADO

### II.I.1 METODOS DE TRANSPORTE

Existen factores que rectifican la cantidad de agua que requiere la mezcla para lograr un adecuado revenimiento; por ejemplo la magnitud y la velocidad de mezclado, la distancia de transporte, el tiempo de descarga a la temperatura imperante.

Las adiciones de agua para compensar la pérdida de fluidez no debe exceder lo que se requiera para recuperar una pulgada de revenimiento, nunca excederá la relación máxima, agua-cemento de diseño.

Se prevendrán estos tipos de dificultades utilizando retardantes para mezclar de una vez toda el agua necesaria en la planta central.

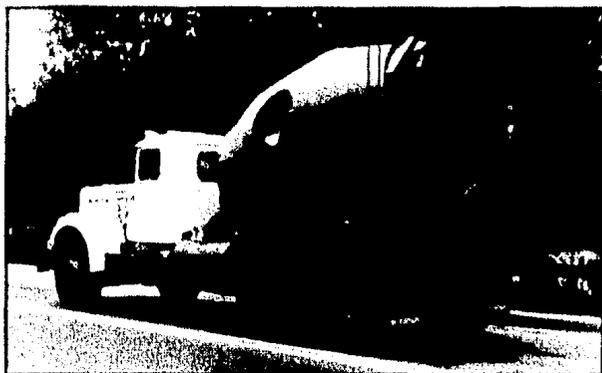
El concreto premezclado puede tener varias opciones: mezclarse en una planta central, mezclarse totalmente en su transporte, mezclarse una vez llegado a su destino o mezclarse parcialmente en la planta y terminarse en el sitio de su colocación.

Para su transporte se usarán camiones agitadores o no agitadores según sea el caso. Cuando tenga que servirse de esta variedad de concreto y se estipule, puesto en obra tanto el colocador como el proveedor compartirán la responsabilidad de su calidad.

### II.1.2 CAMIONES DE TAMBOR GIRATORIO

Existen diferentes maneras de conducir concreto sin que pierda sus propiedades; limitando el número de revoluciones totales

del tambor, el mezclado y descarga; también limitando el número de revoluciones para determinada velocidad de mezclado. Existe la modalidad de fijar como



tiempo de mezclado de 1.5 horas desde que el cemento ingresa a la olla hasta que se descargue completamente el camión. En los climas calurosos se prefiere buscar una reducción del tiempo de entrega. Cuando no existen problemas por temperatura no se pone límite a las revoluciones mientras no se sobrepase la cantidad de agua aún en el remezclado o mientras se conservan sus propiedades físicas; plasticidad, consistencia y homogeneidad, para su colocación.

### II.1.3 MEZCLADO DURANTE EL TRASLADO

Esta operación se efectúa en el interior del camión revolver. Los materiales, una vez dosificados en la planta pasan al camión que opera a velocidad de carga, dete-

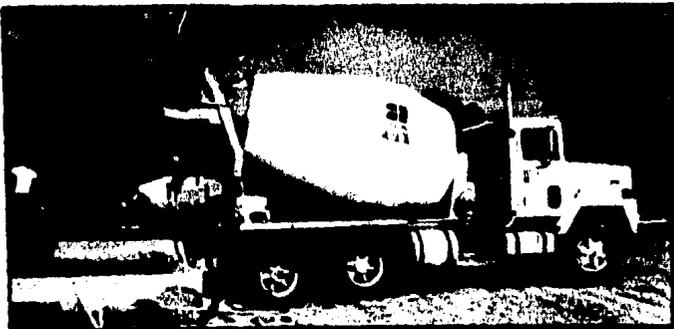
niendo el tambor cuando se está por llegar a la obra o bien al estar en ella. También se logra el mismo efecto cuando el camión revolvedor completa la operación en el patio del productor viajando a la obra con la olla inactiva.

Es el fabricante el que estipula la velocidad a que se debe girar la olla, una vez ya cargados todos los materiales el tambor debe girar a velocidad de mezclado haciendo entre 70 y 100 revoluciones para completar el mezclado en condiciones normales. En ocasiones ocurre que se pospone la descarga; en estos casos se debe reducir la velocidad de agitación o bien detenerse. Un poco antes de la descarga se deberá girar de 10 a 15 revoluciones la olla para remezclar los sitios de estancamiento.

El concreto en el interior de la olla no rebasará el 63% de la capacidad del tambor.

#### II.1.4 MEZCLADO EN PLANTA Y TERMINADO EN TRANSITO

En general los requerimientos son los mismos que se necesitan para este tipo de mezclado como en el caso anterior. En este caso se mezcla de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  minuto en una mezcladora fija en el patio del productor y se concluye en el tambor

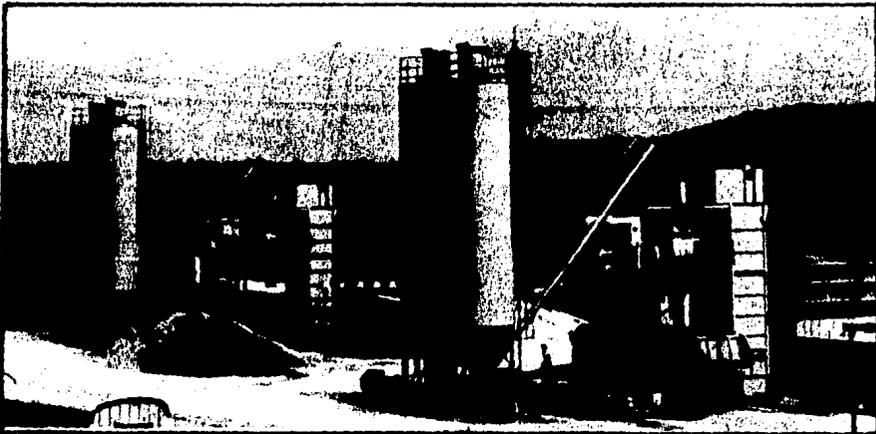


del camión.

Por esto es que el tiempo del mezclado en el camión es menor que en el caso anterior.

#### II.1.5 DOSIFICADO EN SECO

Otra variante y como una solución a los viajes largos y demoras, se cuenta con esta modalidad donde los materiales secos se transportan por separado del agua, este último ingrediente se lleva en un tanque adaptado al camión y se agrega a los demás componentes a presión y a la entrada posterior del tambor que gira de 70 a 100 revoluciones que se requieren para una mezcladora de camión. En este tipo de mezclado es importante considerar la humedad libre de los agregados ya que su presencia provoca hidratación en el cemento. Como sucede en la transportación de este tipo se aprovecha solamente solo el 63% del volumen total de la olla.



### III. MANEJO DE CONCRETO

#### III.A. COLOCACION

Es preciso que los aditamentos para colocar el concreto cuenten con un margen de calidad que permitan conservar la relación agua-cemento, revenimiento, contenido de aire y homogeneidad para confiar en la calidad del elemento - resultante.

Además la selección del equipo debe preferirse pa ra que permita manipular el concreto de la manera más eficaz.

Siempre habremos de programar las entregas del - concreto con las condiciones de colocación del equipo y los métodos de manejo, con la finalidad de que se mantenga plás tico y el evitar juntas frías.

Se colocará el concreto en capas horizontales me nores de 60 cm., de espesor. No se admitirán capas inclinadas y si la superficie lo es, se colocará primero en la par te baja e ira subiendo para aumentar de este modo la consolidación.

Cuando se cuelan elementos monolíticos, cada capa se colocará cuando la anterior muestra capacidad de aumentar su consolidación y estas no serán tan espesas para evitar la dificultad de las juntas pudiendo unirse entre sí mediante un adecuado vibrado.

Para evitar acabados inconvenientes se deben pla near pasillos y coberturas durante el fraguado del concreto

donde se efectuará el tránsito en el concreto fresco.

El procedimiento de colocación formando escalones se preferirá al de capas en estructuras masivas porque su configuración nos evitará el problema de juntas frias.

Para asegurar que el elemento no se debilite por la presencia de aglomeraciones o bolsas de agregado grueso se procura advertirlas y modificar su distribución mediante operaciones que no afecten la masa de concreto.

Se procurará que el concreto no encuentre obstáculos en su ingreso al lugar de colocación o de la artesa des de donde se distribuirá al lugar del colado. Se prefiere - que el concreto caiga libremente sin el empleo de tolvas - conductos o vertederos evitando con esto la dañina segregación.

### III.A.1 EQUIPO

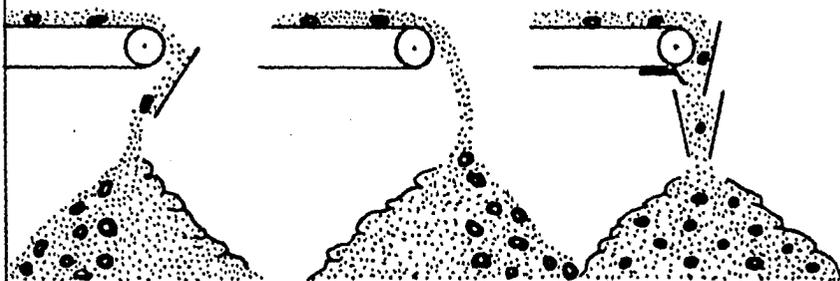
El primer elemento de colocación es, sin duda, la tolva, que diseñada adecuadamente puede lograr que durante la colocación mantenga la uniformidad y el revenimiento constantes.

Las tolvas usadas en la industria de la construcción son de sección circular y con descarga en la parte inferior. La configuración de una tolva recuerda un cono invertido con inclinación mínima de sus paredes de  $60^\circ$  con respecto a un plano horizontal que pase por la base.

Respecto a la dimensión de la compuerta de descarga se deben prevenir obstrucciones dejando un diámetro de  $1/3$  del diámetro interior o 5 veces el tamaño máximo del agregado; como al cerrar la compuerta de la tolva quedan restos de concreto atrapados o simplemente adheridos, se procurará no balancearla sobre superficies terminadas o una vez descargadas, se suspenderán en plataformas especiales. El concreto, que invariablemente resulta de estas maniobras no se usará en el colado en cuestión.

Los canalones se usan para transportar el concreto de un nivel superior a otro inferior, trabajando por gravedad. Se diseñarán con una inclinación suave de manera tal que fluya constantemente sin segregarse. La sección transversal del canalón debe ser semicircular, con capacidad suficiente y la superficie que este en contacto con el concreto debe ser lisa, de metal pulido de preferencia. Un canalón largo siempre presenta el inconveniente de la segregación y evaporación, el primer efecto se atenúa abatiendo la pendiente, el segundo cubriéndolo.

CONTROL DE LA SEGREGACION DEL CONCRETO EN  
EL EXTREMO DE LA BANDA TRANSPORTADORA

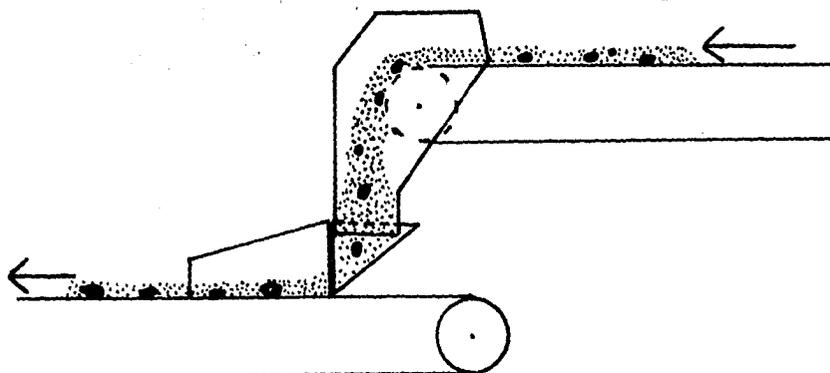


INCORRECTO

INCORRECTO

CORRECTO

EN EL ARREGLO CORRECTO SE EVITA LA SEGREGACION DEL CONCRETO SIN IMPOR-  
TAR SI SE DESCARGA EN TOLVA, CUBOS, CARROS, CAMIONES O EN CIMBRAS. SE  
DEBE PROVEER DE UN TUBO DE BAJADA DE 60 cm. COMO MINIMO Y UN RASPADOR  
DE HULE PARA DESPERDICIOS POR CONTRAPESO.



CONTROL EN EL PUNTO DE TRANSFERENCIA DE DOS BANDAS TRANSPORTADORAS

Otra opción, para trasladar concreto son los tubos de caída, pero se utilizan más bien en traslados verticales. El diámetro mínimo de estos elementos debe ser 8 veces el tamaño máximo del agregado. No deberá presentar vibraciones y permitirá que el concreto caiga libremente. Como al caer el concreto disipa energía de impacto éste se podrá amortiguar con un colchón de concreto colocado en el extremo y con la misma consistencia del transportado.

Al principiar la conducción y para evitar bloquear por adherencias se humedece el interior del tubo con una lechada de mortero.

Las vías que se utilizan para mover los carrillos mecanizados deben tener una superficie de rodamiento liso y permanecer firmes en el momento de la transportación. Este tipo de acarreo mediante carrillos adaptados en vías metálicas es recomendable en distancias menores a 120 m. En casos de carretillas y carrillos accionados manualmente hasta distancias de 60m.

Los transportadores de bandas. Su instalación deberá ser firme con el fin de hacer un transporte sin vibraciones. Se evitarán bandas lisas y con mucha pendiente ya que por efectos de la gravedad terrestre el agregado grueso tiende a separarse de la pasta.

De acuerdo a la capacidad de la banda transportadora y la velocidad de colocación que se pretenda se optará por una de los siguientes tipos:

- a) Transportadoras alimentadoras o en serie, este modelo opera a velocidades de bandas altas (150 m/min.)

- b) Transportador portátil o autosuficiente, que opera a velocidades de banda menores que en el primer caso e igual a las...
- c) Transportadoras de descarga lateral o esparcidoras.

La inclinación máxima de las bandas esta regida por el tipo de mezcla.

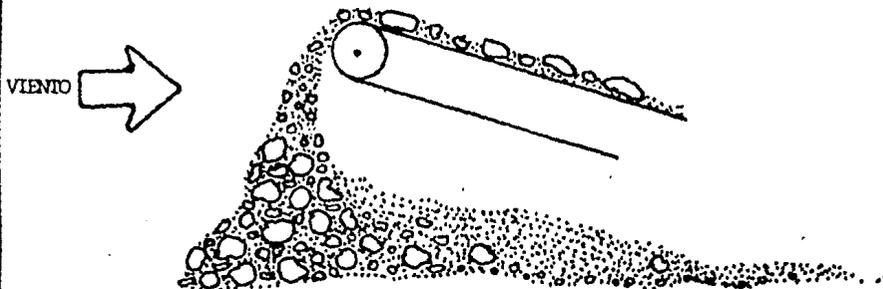
Para prevenir la segregación existen bandas con costillaje, que son corrugadas transversales en la pared que está en contacto con el material permitiendo un mayor ángulo de inclinación aún en mezclas muy plásticas. Al final de las bandas se instalará una regla limpiadora para controlar la pérdida de concreto.

Existen sitios en la banda transportadora, donde si no se vigilan, es probable la segregación: el lugar de la carga sobre la banda y en la descarga. En estos puntos se manejará el concreto con tolvas, canalones y en general conductos bien diseñados para preservar la calidad del concreto.

Si la colocación en los puntos bajos se usarán tolvas diseñadas en trompa de elefante para llevar el concreto al sitio más próximo de colado.

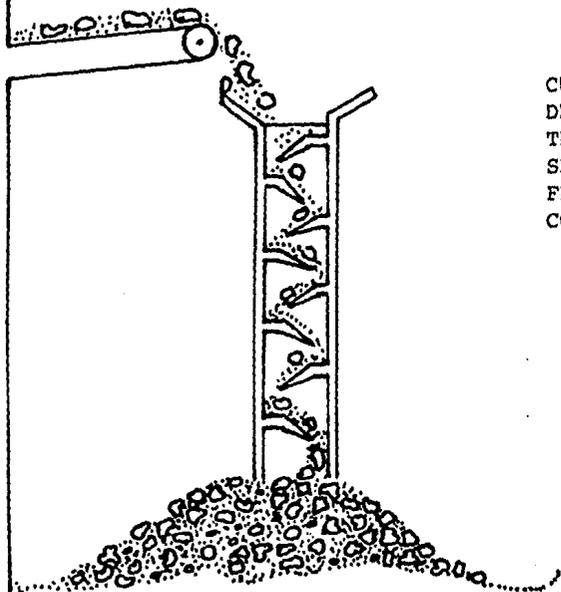
En casos de pavimentaciones se usan como equipo de colocación; esparcidoras de alta velocidad, mezcladoras grandes y pavimentadoras de cimbra deslizante. Con este equipo siempre se lograrán pavimentaciones rápidas con volúmenes importantes de concreto. En cuanto al control de

ALMACENAMIENTO INCORRECTO DEL AGREGADO FINO O NO PROCESADO



LA CAIDA LIBRE DE MATERIAL DESDE UN EXTREMO ALTO DE LA -  
BANDA TRANSPORTADORA PERMITE QUE EL VIENTO SEPARA MATERIAL  
FINO DEL GRUESO.

ALMACENAMIENTO DE AGREGADO PROCESADO



CUANDO SE APILAN AGREGADOS  
DE GRAN TAMAÑO DESDE BANDAS  
TRANSPORTADORAS ELEVADAS,  
SE REDUCEN AL MINIMO LAS  
FRACTURAS USANDO UNA  
CONDUCCION DE ESCALERA

calidad en esta modalidad, se utilizarán los mismos principios que se llevan en otras formas de colocación, ya que este tipo de obra requiere de una celeridad superior a cualquier otro tipo de obra, toda unidad que se aparte de la calidad requerida se corregirá inmediatamente hasta que se avenga a las especificaciones de calidad requeridas.

De un trecho a otro pueden haber variaciones en el revenimiento, contenido de aire, distribución de la mezcla, afectando negativamente su acabado y la capacidad de respuesta.

La técnica de la cimbra deslizante, en pavimentaciones de vías terrestres, requiere de una importante inversión inicial en equipo, pero, por la producción que se logra, la calidad del acabado y economía en general, hace considerarla en esta clase de trabajo.

### III.B. CONCRETO FABRICADO CON AGREGADO PRECOLADO

Este método de construcción es utilizado en obras bajo el agua, en restauraciones en concreto, y en general donde la colocación por los métodos tradicionales presenta dificultades. Consiste en, una vez terminada la --cimbra, se dispone en su interior el agregado grueso, limpio y de la granulometría estipulada.

LIMITES DE GRANULOMETRIA PARA ARENA  
Y GRAVA PARA CONCRETO DE AGREGADO PRECOLADO\*

Tamaño de malla	PORCENTAJE QUE PASA	
	Granulometría 1 Para 13 mm (½ pulg) Tamaño mínimo de agregado grueso	Granulometría 2* Para 40 mm (1½ pulg) Tamaño mínimo de agregado grueso
AGREGADO GRUESO TAMÑO MÁXIMO DEPENDIENDO DE LAS DIMENSIONES DE LA CIMBRA		
40 mm (1½ pulg)	95-100	0.5
25 mm (1 pulg)	40-80	-
20 mm (¾ pulg)	20-45	-
13 mm (½ pulg)	0-10	-
10 mm (¾ pulg)	0-2	-
ARENA		
(3/16 pulg) 5 mm	-	100
No. 8 (2.4 mm)	100	95-100
No. 16 (1.19 mm)	95-100	80-90
No. 30 (595 micrones)	55-80	55-70
No. 50 (297 micrones)	30-55	25-50
No. 100 (149 micrones)	10-30	5-30
No. 200 (74 micrones)	0-10	0-10
(Módulo de Finura)	1.30-2.10	1.60-2.35

\* Agregado mínimo de 40 mm (1½ pulg) debe usarse con una lechada de arena y cemento con granulometría de arena dentro de estos límites

Si se usa más de un tamaño de agregado grueso, este debe dosificarse y mezclarse en las proporciones adecuadas. En casos de concreto estructural, el agregado se lleva comunmente a las cimbras en recipientes especiales.

Se deberá retirar todo agregado fino suelto - de cualquier cimentación bajo el agua, antes de disponer - el agregado grueso para evitar el recubrimiento subsecuen- te del agregado o el relleno de los intersticios. Seguida- mente se irriga con lechada de calidad estructural llenan- do los vacíos para integrar un elemento sólido; estas lecha- das pueden mejorarse con el recurso de aditivos como las - puzolanas, agentes de expansión, fluidificantes, incluso- res de aire, etc.

Cuando estos miembros, colados como ya quedó descrito arriba, vayan a tener usos estructurales que so- porten esfuerzos importantes, se recomienda que la lechada que se utilice sea seleccionada de acuerdo a los resultados que arrojen los cilindros de prueba hechos con la granula- ción del agregado grueso que se emplearán.

Se usan proporciones 1:1 - 1:2 de cemento are- na. Se han usado hasta relaciones 1:3. Mezclas de este - tipo operan con granulometrías de arena similares a las - que se usan en concreto colocado convencionalmente y agre- gado grueso de diámetro mínimo de 1½ pulgada.

Respecto a la lechada a usar, se exige que pa- ra su elaboración se acoja a cualquiera de los tipos de ce- mento sin aire incluido que cumplen con la norma ASTM-C 150 ó C 595. Siendo así se garantiza responderá adecuada- mente en su función.

El fluidificante usado en estos trabajos en - concreto se compone por regla general de un agente suspen- sor, polvo de aluminio, un agente reductor de agua y un - amortiguador químico que regula la reacción del aluminio - con los álcalis de cemento.

En cuanto a la calidad de la cimbra, se requiere sea un resguardo firme y seguro que no permita fugas de lechada ni que se venza ante las presiones laterales.

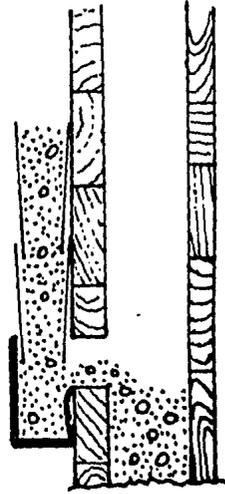
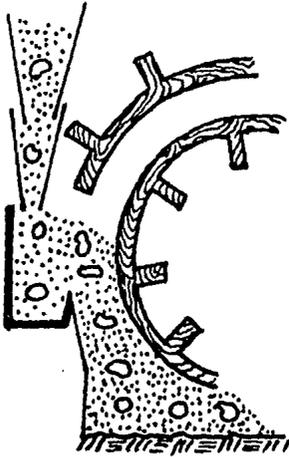
No esta de más aconsejar que en la construcción con este tipo de concreto, por su índole especializada requiere que su elaboración y manipulación la ejecute personal responsable y competente.

### III.B.1 CONDUCCION DE LA LECHADA

La manera más sencilla de conducción de lechada consiste en un tubo que nace en la bomba impulsora y llega hasta un tubo de inserción dentro de la cimbra con el agregado; pero esta solución es costosa e impráctica, se usan, por eso, válvulas y accesorios para mejorar el flujo de la lechada.

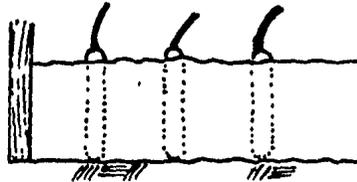
Una vez que el mortero ya esta en la cimbra, es conveniente tener localizado su nivel, para lo cual se usan pozos de sondeo o simplemente por las filtraciones que dejan pasar los intersticios de las cimbras, esto último es muy común cuando la lechada se inyecta horizontalmente.

La inyección de la lechada puede realizarse mediante dos técnicas: La de capa horizontal, consistente en la inyección por un tubo de inserción a un nivel superior del desplante del elemento hasta que este punto se inunde en una profundidad que va de 15 a 30 cm. Las subse



COLOCACION CORRECTA DEL CONCRETO EN MUROS PROFUNDOS O CURVOS A TRAVES DE UNA AVERTURA EN LA CIMBRA COLOCANDO UNA BOLSA EN EL EXTREMO DE LA MANGUERA DE ALIMENTACION

DISPOSICION CORRECTA DE LOS VIBRADORES. LA PENETRACION DEBE SER VERTICAL Y A INTERVALOS REGULARES



cuentas inyecciones se harán haciendo a profundidades de 30 cm. de la última capa de lechada. Se interrumpirá el flujo de lechada en cada operación para subir el tubo de inserción para reiniciar el ciclo y así se hará hasta completar el elemento por colar.

La otra técnica es la de avance en declive, - consiste en ir inyectando desde la zona más estrecha de la cimbra e ir avanzando en hileras de inserciones, la lechada forma así una inclinación global que varía de 1:4 y 1:8. En este método, el patrón de bombeo se inicia primero en la zona más próxima al inicio del declive de la pendiente hasta terminar con la última hilera de tubos. Este procedimiento se seguirá progresivamente, siguiendo el sistema descrito hasta completar la inyección. Generalmente es usada para colar elementos que presentan una dimensión relativamente más grande que las otras dos, como losas, por ejemplo.

### III.C CONCRETO ESTRUCTURAL

Todo concreto para modelar un buen elemento estructural debe tener una plasticidad tal que, con un -- apropiado vibrado lo haga llegar hasta las esquinas de la cimbra y cubrir cada elemento de refuerzo, sin que haya segregación ni sangrado.

Se admite un revenimiento de 3" (8 cm) para este tipo de concreto siempre y cuando se vibre convenientemente.

Para losas pesadas se pueden colar satisfactoriamente con revenimiento de hasta 2" (5 cm). Las trabes y vigas se han de colar y vibrar antes que el piso dejando transcurrir aproximadamente una hora para que el sangrado se manifieste y se asiente el concreto en la cimbra, luego se colará la losa. Para un buen vibrado se procura que su acción llegue hasta las esquinas de columnas, losas y trabes, con la finalidad de conseguir un elemento monolítico.

### III.D. CONCRETO MASIVO

En esta clase de concreto se procurará apegarse al uso del cemento en proporción mínima siempre que de la resistencia especificada. Se hará esta operación para que, al momento de su reacción química no provoque variación en su temperatura con las consiguientes fisuras en el elemento. Se adoptará esta reducción de la proporción del cemento cuando se tenga que:

- La cantidad de arena, por su bajo contenido, permite una ventajosa manejabilidad de la pasta.

- Cuando la revoltura comprenda agregados -- del tamaño máximo. En este tipo de mezclas encontramos -- que se compone con agregados de tamaño mínimo que va de 3" a 8".

En lo que respecta a la construcción de las cimbras se debe prever que soportarán impactos violentos

del concreto que vuelcan las tolvas, además que deben resistir el empuje del material ya en su interior. Es por esto que además de admitir las normas para cimbras se deberán atender los requisitos de una mayor seguridad y resistencia.

Para economizar cimbras y controlar la temperatura de hidratación se colocará la mezcla en capas que van de 1.50 a 2.30 m de espesor. Aunque las mejores recomendaciones en cuanto al vibrado recomiendan que las descargas formen capas de 40 a 50 cm de espesor, que es una profundidad cómoda para efectuar una buena consolidación por vibrado del estrato inferior.

Las hileras de descarga provenientes de las tolvas que manipulan guías o cable guía con capacidad de 3 a 9 m<sup>3</sup> son las que dan origen a las capas que el colocador habrá de conformar. El límite delantero de la última capa se debe mantener de 1.20 a 1.50 m atrás del borde de la anterior; asegurando su inmovilidad durante la compartición de la siguiente hilera de vaciado colocada en el borde de la capa inferior; de esta manera se logra colar el bloque en su totalidad con la mínima superficie descubierta.

### III.E. CONCRETO PARA PISOS

De las características que se piden en esta clase de elementos, por su forma y uso que exigen resistencia y durabilidad, en el adecuado proporcionamiento para permitirnos una manejabilidad conveniente para que el acabado que se logre sea de la mejor calidad.

Para que tanto el terminado como la nivelación no entorpezcan la consolidación pretendida se acostumbra a los revenimientos de 8 a 13 cm que es muy usual en trabajos de piso que ordinariamente se construyen como banquetas, accesos de automóviles, y la generalidad de los pisos. Cuando por su uso se requieren con resistencia alta o por exigencias de durabilidad, se hace necesario recurrir al vibrado para consolidarlos llegando por este medio a las condiciones solicitadas en mezclas rápidas.

En losas libres de armado o cuando en su interior tenga malla de acero pueden utilizarse para su consolidación reglas vibratorias, que para mejorar su efecto deben procurarse las de gran amplitud y baja frecuencia. Con un promedio de 5 000 vibraciones por minuto se consigue un buen resultado, alcanzando su efecto hasta 6" de espesor.

El tipo de vibrado puede ser interno o externo ya sea que se trate de una losa con espesor de más de 20 cm. o de una que vaya de 15 a 20 cm. siempre y cuando sean losas sin armado. El vibrado interno se recomienda también cuando la losa es de tipo reforzado o si en su interior hay localizadas tuberías conduit o bien en aquellos puntos próximos a elementos que servirán para soportar esfuerzos. Especial atención se ha de poner al colado de pisos que estarán sometidos a un servicio pesado, el colado se hará en dos etapas, la primera capa con concreto convencional y la última con concreto seco y aspero. Este tipo de pisos es muy común en patios industriales. Esta modalidad en el colado es debido a que como es un concreto de muy bajo revenimiento no se puede hacer un vibrado que afecte en toda su profundidad, la capa superior se colará cuando la anterior conserve todavía capacidad de respuesta

ante el vibrado.

63

El acabado de estos pisos hace necesario además del uso de la regla vibratoria, la utilización de un compactador de discos flotadores con martillo que consolidará en la zona próxima a la superficie. Se vigilará que no haya segregación.

### III.F. PAVIMENTOS

Por las características propias, el concreto cubre una gran variedad de necesidades y aplicaciones. En vías terrestres de comunicación como carreteras, y caminos de pavimento la demanda de concreto oscila en  $400 \text{ m}^3/\text{hora}$  si no es que más.

Para su colocación se ha generalizado el uso de equipo automatizado en su totalidad, permitiendo trabajar con concretos de revenimiento relativamente bajos (2.5 - 5 cm). Además con el uso de un buen equipo de vibrado es posible obtener en el colado y acabado pavimentos de buena calidad. Para mantener la más alta calidad del concreto se evita exceder un revenimiento de 5 cm, excluyendo así el máximo de segregación y la pérdida de aire atrapado cerca de la superficie del concreto.

También, si el concreto carece de uniformidad pueden presentarse problemas de segregación o consolidación impropia. Lo anterior sí sucede, disminuye la calidad y durabilidad del pavimento.

El vibrado completo para consolidar el pavimento es una medida que no debe olvidarse. La rapidez de ejecución, el espesor de la losa, la consistencia y otras características de la revoltura del concreto debilitan el tiempo de vibrado; es decir son criterios para decidirse por un vibrado interno o un vibrado superficial.

Se recomienda si el espesor del pavimento es de más de 20 cm (8"), usar vibradores internos montados en cuadrilla. En pavimentos de casi 20 cm es usual utilizar vibradores de superficie. Estos limitan y a veces reducen la rapidez de ejecución si se compara con los vibradores internos. Si se combina vibración superficial, nivelación con regla y aplanado se presenta una tendencia a segregarse el material fino a la superficie.

El tipo de revoltura y el tiempo de vibrado - deberán ser compatibles, siendo el segundo determinado por la velocidad del equipo de pavimentación.

Los dos tipos de vibradores mencionados, podrán ser accionados al conectarse un interruptor siempre y cuando el movimiento de la máquina sea hacia adelante. Se deberá contar con controles que permitan variar la frecuencia y amplitud del vibrador conforme la superficie y el material lo requieran. Previniendo desperfectos, estas herramientas deberán contar con sustitutos y equipo adicional.

Existe una variedad de vibradores que se emplean en el manejo de pavimentos como son: palas en forma de "L", muy eficaces en la consolidación de capas delgadas y en aquellos pavimentos con malla de acero.

El equipo de vibrado se acopla, logrando un -- frente, que abarca la extensión del marco horizontal. Este marco deberá tener movimiento de avance y retroceso para - compensar diferencias en el concreto. Por lo regular estos marcos tienen capacidad de 10-14 vibradores en una exten--- ción de 7.30m con un movimiento vertical que permite extraer los vibradores o sumergirlos en la pasta. Tiene también un movimiento angular que se mantendrá firme aún cuando el mar co este en movimiento. Este tipo de vibradores permite - ajustes en su frecuencia cuyo rango es de 8000 a 12000 osci laciones por minuto. Se emplearán en sitios donde no ac--- túan las vibraciones del marco, vibradores convencionales - manejados a mano.

### III.G. CONCRETO PARA PREFABRICADOS

Los prefabricados son elementos que abundan - cada día más, en la industria de la construcción.

La gran variedad de métodos de compactación - permite elegir el que ofrezca resultados más favorables da- das las condiciones de trabajo, uso al que esta destinado - la estructura, mezcla, material, cimbra y técnica de produc ción, lo que permite coordinar y calcular de manera correc- ta la realización del proyecto.

A continuación se presenta una tabla con los - métodos de compactación para productos de concreto prefabri cado.

PRODUCTOS	MATERIAL CIBRA	METODOS DE TRANSPORTE Y VACIADO	METODOS DE COMPACTACION
Tubería de concreto	acero	Bombeo o vaciado c/cucharón (superficie poco es-sor).	Apisonar; vibrado interno o externo; centrifugación; -por vacío; presión.
Pilotes y postes de concreto	acero	Bombeado o transportado por revolvedoras.	Centrifugación; vibración interna o externa de alta frecuencia y pequeña amplitud; rodillos compactadores.
Bloques de concreto	acero	Tolva	Vibración de baja frecuencia y alta amplitud, más presión
Secciones de losa y vigas	acero	Tolva móvil-camiones revolvedoras transportadores de banda.	Vibración externa con o sin rodillos compactadores; vibración interna con regla -vibradora superficial.
Tableros para muros	Concreto reforzado, acero o madera.	Cucharones y transportadores de banda (alimentación continua).	Apisonadoras; vibración interna y externa.

En la compactación de elementos prefabricados son usuales las siguientes condiciones.

- Mezclas en las que el revenimiento excede - los 10 cms, es decir con excesiva fluidez con facilidad de segregación por el vibrado mecánico. Si parte del agua de la propia mezcla se retira por vacío o centrifugación será posible utilizar este tipo de mezcla.

- Mezclas muy rígidas, en estas mezclas la relación agua-cemento tiene un máximo de 0.30 en peso. Es necesaria bastante agua para su hidratación, ya que el revenimiento es muy poco y la cohesión es pobre.

- Mezclas duras. En estas mezclas la relación agua-cemento exceden el 30% presentando además revenimientos menores a la pulgada, poseyendo así algo de plasticidad y cohesión.

- Mezclas uniformes. Su particularidad es que son cohesivas y plásticas con revenimientos entre 2.5 a 10 cm.

En el manejo de este tipo de productos habrá que adaptar la mezcla necesaria dentro de los límites razonables, de manera tal que se puedan manipular con las grandes maquinas que se usan actualmente para la preparación del concreto convencional. En estos casos el vibrado debe ser acorde a la calidad de la cimbra o moldes que se empleen. El acabado final en este tipo de productos es importante, para lograrlo se recurre al uso de paredes de fibra de vidrio o hule. Cuando se está compactando es necesario cuidar que la cimbra no resulte dañada, se protegeran los moldes al cubrir el extremo del vibrador con un regatón de hule.

En la actualidad se dispone de maquinaria que permite producir totalmente: bloques de concreto, dinteles, unidades de losa para piso, tubería de concreto, baldosas para patio, pequeñas losas para pavimentos, paneles para muros de carga, etc.

En esta técnica de fabricación se prefiere generalmente el vibrado externo de la cimbra o el de mesas vibratorias ya que permiten un control más uniforme y admite técnicas más económicas que pueden adaptarse a la producción de unidades en serie. Hay ocasiones en que en estos prefabricados por su extensión, quedan zonas sin vibrar, es ahí donde se emplearán, para completar el vibrado, los vibradores internos. Para compactar concreto duro, en prefabricados, se emplea en apizonado. Otra opción, es el vibrado a presión utilizando el confinamiento del molde. En la superficie se le aplica una fuerza y simultáneamente se le somete a presión.

Se usan mesas vibratorias o de golpeteo. Se vaciará una capa uniforme de concreto en el depósito un poco antes de poner en marcha el mecanismo vibratorio. En el caso de fabricación de losas delgadas, antes de iniciar el vibrado se asegurará que el molde esta lleno.

Cuando son losas que sobrepasen el peralte de 30 cm el vaciado se hará en dos capas. Se atenderá la siguiente regla: Entre menor sea la relación agua-cemento, - las capas, obligadamente serán menores.

La elección y el manejo del equipo de compactación se hará en función de la dureza de la mezcla y del método de curado.

Es seguro un alto costo del mantenimiento de los vibradores externos que están expuestos al vapor, sobre todo si estos son eléctricos.

Se evitará colocar el concreto en montones por eso se preferirán revolvedoras portátiles o camiones revol-

vedores que depositen directa y continuamente el concreto en la cimbra y no en cucharones que dejen porciones intermitentes.

### III.H. CONCRETO LIGERO

Es la diferencia de pesos específicos la que da origen a la segregación de los componentes en la revoltura del concreto. El agregado grueso es más pesado que el mortero en el concreto de peso normal, tendiendo así a hundirse, cuando las partículas de dicho agregado están suspendidas en el mortero. Inversamente ocurre en el concreto ligero, el agregado grueso sube durante el vibrado, mermando esta tendencia si al mortero posee arena ligera. La segregación se presenta con menor rapidez en las revolturas secas que en las húmedas.

Un equipo de compactación puede ser adecuado - tanto para concreto normal como para concreto ligero.

Para evitar segregación el concreto normal o ligero debe colocarse tan cercano como sea posible del lugar final, cuidando siempre de no usar los vibradores para mover el concreto en forma lateral, es recomendable, para ello hacerlo con palas.

Las prácticas recomendables para el vibrado del concreto funcionan sea este normal o ligero. Sin embargo en el concreto ligero se presenta menor flotación de las burbujas de aire atrapadas.

Es favorable disminuir los espesores de las capas a 20 ó 40 cm. Es imprescindible que los espaciamentos a los cuales se sumerge el vibrador sean más cercanos y éste penetre en la anterior capa vaciada. Para obtener buena compactación es necesario espaciar entre sí las inmersiones del vibrador; 10 segs. bastan en general requiriéndose algunos segundos más si las revolturas son más rígidas.

Revenimientos usuales para construcciones normales son tomados del orden de 5 a 8 cms. Con revenimientos más altos puede producirse segregación.

El incremento de cohesión en los concretos ligeros se obtiene con el uso de un inclusor de aire ya que se logra que las partículas tengan poca flotabilidad por acción del vibrado. Se sabe que a menor peso de la revoltura, menor flotación de las burbujas de aire.

### III.1. CONCRETO PESADO

Este tipo de concreto se usa en elementos de contrapeso o en edificaciones donde por su uso las emanaciones radiactivas deben ser contenidas con muros de material denso, sin vacíos y en lo posible homogéneos.

En este concreto la densidad puede lograrse con escorias pesadas y minerales triturados o hidratados, incluso productos de acero con peso específico que vá de 7 1/2 a 8. Con este tipo de agregados se han llegado a lograr densidades entre 2600 y 4800 kg/m<sup>3</sup>.

El cimbrado en este tipo de concreto debe considerar las altas presiones a las que se verá sometido. El agregado debe tener uniformidad en su granulometría y en su peso específico.

Para el manejo de este tipo de concreto, con reenimientos de 4 a 8 cms. pueden emplearse métodos convencionales de colado. En el vaciado y colocación se debe llevar un control de calidad riguroso para garantizar: densidad uniforme y sin segregación.

El número de vibraciones por minuto que se utilizan en el concreto son las mismas que se emplean en el concreto normal. Si el agregado se compone de elementos muy pesados, se recomiendan frecuencias altas por minuto y períodos cortos para evitar la segregación, se procurará no sobrevibrar en ningún caso.

En este tipo de concreto el vibrador cubre una pequeña área de efecto y esto nos lleva a la necesidad de que la inmersión sea más próxima una de otra.

A continuación se mencionan tres procedimientos para reducir la segregación.

1. Se preferirán colados con consistencias más rígidas.
2. Usar reductores de agua e inclusores de aire en la medida que se conserve la densidad requerida.
3. Se recomienda, también usar proporcionamientos de cemento y arena superiores a las que se acostumbra en el concreto normal.

Se seleccionarán las proporciones del concreto considerando el equilibrio entre economía y sollicitaciones de uso y colocación, como pueden ser: resistencia, durabilidad, pero volumétrico, homogeneidad y apariencia. Generalmente estas características están contempladas en las especificaciones. Las proporciones calculadas mediante cualquier método deben revisarse considerando la experiencia resultante de la observación en las mezclas de prueba, éstas pueden disponerse en el campo evitando de este modo nocivas emisiones que se hacen en el laboratorio donde no se presentan las mismas condiciones que en el lugar de la obra. Se harán uso de los adelantos tecnológicos que se van descubriendo, desde el uso de aditivos hasta avances en computación para una correcta dosificación.

La relación agua-cemento es usada como un buen parámetro para estimar la resistencia del concreto. La existencia de aire en la masa del concreto aumenta su durabilidad.

Cuando se adopte algún modelo de proporción se deberán suministrar las siguientes características: trabajabilidad, resistencia, durabilidad y peso volumétrico, como de continuo se mencionan estos términos se analizarán enseguida:

La Consistencia. Esta propiedad en el grado de humedad de la mezcla de concreto, esta propiedad determina la facilidad con la que fluirá durante su colocación. Se mide en términos de revenimiento, un concreto muy fluido tendrá un alto revenimiento.

Este concepto se confunde en ocasiones con trabajabilidad pero no es su sinónimo. Mientras más áspero - sea el agregado y superficie angulosa se requerirá mayor - cantidad de agua.

Si el agregado aumenta de tamaño, disminuye el contenido de agua en la mezcla, lo mismo ocurre sí se permite introducir aire. Si se quieren abatir los niveles usuales de agua pueden utilizarse aditivos que actúan con esta finalidad.

La facilidad de colocación. Con este término nos referimos a la trabajabilidad, y consistencia. La trabajabilidad a la propiedad del concreto que permite ser colocado y consolidado sin segregación dañina. Este término también se refiere a propiedades concomitantes tales como - moldeabilidad, cohesión y compactación. La compactación - tiene entre sus principales determinantes, la granulometría de sus elementos constituyentes, la forma de las partículas y la proporción del agregado, presencia de aire incluido, - consistencia de la mezcla, cantidad de cemento y aditivo.

Cuando se conjuguen convenientemente estos factores se pueden pronosticar una fácil colocación, buen acabado y sobre todo los costos se reducen en buena medida.

La resistencia. Para el concreto la resistencia se determina por la cantidad total de agua contenida en la mezcla por unidad de cemento, excluyendo la absorbida - por los agregados. Otras propiedades relacionadas con la - resistencia son la durabilidad y la permeabilidad, propiedades también importantes como la resistencia misma. A valores específicos de la relación agua-cemento la resistencia puede aún variar puesto que ésta depende del tamaño máximo

del agregado, aspereza, granulometría, forma y particularmente a la resistencia y rigidez que poseen las partículas constituyentes del agregado, a la poca homogeneidad de propiedades en el cemento y a las posibles afecciones que sufra en el proceso de hidratación, debido a aditivos y contenido de aire.

Por la influencia de todos estos factores la resistencia pronosticada en cualquier dosificación es poco exacta.

Durabilidad. A través del tiempo y siendo expuesto a condiciones extremas de temperatura, humedad y corrosión el concreto se considera de buena calidad si logra mantener sus características. Para esto, se cuenta con cementos especiales para cada circunstancia, aditivos, selección de agregados, etc.

De acuerdo a las necesidades del elemento de concreto se usarán, por ejemplo, para prevenir expansiones del cemento se preferirán aquellas de bajo contenido de álcalis; puzolanas resistentes a sulfatos si va ser expuesto a agua de mar o para contrarrestar la abrasión los agregados tendrán que estar libres de partículas deleznable.

Se procurará abatir la cantidad de agua en aquellas mezclas que formarán elementos sometidos a acciones especiales, ya que se tiene que a menor relación agua-cemento se reduce la penetración de líquidos corrosivos.

El uso de aire incluido es obligado en climas muy fríos, donde se presente congelación. De este modo su uso garantiza resistencia y estabilidad química.

Peso volumétrico. Las necesidades del uso del concreto determinan los requisitos de la estructura por -- construir. Si se requieren elementos de contrapeso se buscará incrementar su peso en general. Si es para contener -- irradiaciones será muy importante obtener mayor densidad po sible al más bajo costo.

Las propiedades del concreto deben basarse en la medida de lo posible, en la experiencia del comporta--- miento de los materiales ya probados bajo condiciones similares.

Se buscará contar con la siguiente información de los materiales que conforman la mezcla. Análisis granulométrico de los agregados, peso específico y absorción de los agregados, requerimientos de agua en el mezclado del -- concreto, de acuerdo a la experiencia obtenida con los agre gados preparados, relaciones entre la resistencia y la rela ción agua-cemento para las combinaciones disponibles de cemento y agregados.

#### IV.A DOSIFICACION DEL CONCRETO NORMAL

Todo proyecto, donde se deban erigir construcciones de concreto se debe planear adecuadamente el suministro de todos los elementos, que los conformará. Dentro de las especificaciones se deben considerar todos los puntos -

que en materia de dosificación deben considerarse para obtener una mezcla adecuada. El revenimiento, el tamaño máximo del agregado, el contenido de aire, contenido mínimo de cemento, relación agua-cemento máxima, resistencia y aditivos son unos de los más significativos incisos que deben abordarse en las especificaciones.

A continuación se describirá la secuencia adecuada para elaborar concreto normal.

1. Como primer paso es elegir un revenimiento se escogerá si no viene especificado, de la tabla (Tabla I) que se presenta enseguida, de acuerdo al tipo de elemento que se construirá.

TABLA I REVENIMIENTOS RECOMENDABLES PARA  
DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCION

TIPOS DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO, cm	
	MAXIMO *	MINIMO
Muros y zapatas de cimentación de concreto reforzado	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de la subestructura	8	2
Vigas y muros de concreto reforzado	10	2
Columnas	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo	5	2

\* Puede aumentar 2 cm cuando se utilicen métodos de compactación diferentes al de vibración.

TABLA II \*

Revenimiento, cm	Agua en kg/m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos del agregado indicados							
	10 mm	12.5mm	20mm	25mm	40 mm	50mm**	70mm**	150mm**
Concreto sin aire incluido								
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incluido, por ciento	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	-
Promedio recomendable de contenido total de aire, por ciento.	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

\* Estas cantidades de agua de mezclado deben utilizarse en los cálculos de los factores de cemento para mezclas de prueba. Son las máximas para agregados gruesos angulares razonablemente bien formados, graduados dentro de los límites de las especificaciones aceptadas.

\*\* Los valores de revenimiento para un concreto que contenga un agregado mayor de 40 mm están basados en pruebas de revenimiento efectuados después de remover las partículas mayores de 40 mm por medio de cribado húmedo.

Estos valores se pueden utilizar en una primera aproximación ya que finalmente la cantidad de agua esta en función de la textura y de la forma del agregado.

En esta tabla también se puede conocer de manera aproximada la cantidad de aire incluido en un concreto convencional y en aquellos en que sí se le ha provocado la

inclusión para aumentar su durabilidad en estructuras en -- lugares donde las temperaturas alcanzan niveles de congelación o en aquellas que se emplearán bajo el nivel de agua - salada o sometidas a la acción de sulfatos.

Puede mejorarse la trabajabilidad y la cohesión en el agregado si se incluye aire, aún cuando no lo necesite la estructura, en una proporción aproximada a la mitad - que consigna la tabla para el concreto con aire incluido.

considerando que llevar las condiciones del . - campo al laboratorio es casi imposible, en trabajos no extraordinarios, todas las mezclas para prueba se elaborarán con proporciones que lleven las combinaciones más desfavorables, por ejemplo: el máximo revenimiento y el más alto - contenido de aire. Siendo así las relaciones de resistencia se mostrarán en los niveles más bajos lo que nos llevará a suponer valores conservadores.

4. El paso anterior nos obliga a establecer - una elección de la relación agua-cemento.

Esta relación está condicionada, tanto por la resistencia, durabilidad y características del acabado.

La siguiente tabla consigna, de manera conservadora, la correspondencia entre la relación agua cemento - con la resistencia a la compresión del concreto.

En esta se muestra entre la relación agua/cemento y la resistencia a los 28 días a la compresión del concreto.

TABLA III

Resistencia a la compresión a los 28 días, Kg/cm <sup>2</sup> *	RELACION AGUA/CEMENTO, POR PESO	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

\* Los valores indican las resistencias promedio estimadas para conteniendo un porcentaje no mayor que el indicado en la Tabla II. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme el contenido de aire aumenta. La resistencia esta basada en cilindros de 15 x 30 cm, curados en húmedo por 28 días a 23° + 1.7°C, de acuerdo con la sección 9(b) de la Norma ASTM C 31. La correspondencia indicada asume un tamaño máximo del agregado de aproximadamente 20 a 30 ml; para agregados de una procedencia aproximada, la resistencia producida para una relación agua/cemento dada aumentará conforme el tamaño máximo del agregado disminuye.

TABLA IV

RELACIONES AGUA/CEMENTO MAXIMAS PERMISIBLES  
PARA CONCRETO EXPUESTO A CONDICIONES SEVERAS\*

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente húmeda y expuesta a congelación y deshielo**	Estructura expuesta al agua de mar o a sulfatos.
Secciones delgadas (rieles, bordillos, durmientes, obras ornamentales) y secciones con menos de 3 cm de recubrimiento sobre el acero.	0.45	0.40***
Todas las demás estructuras	0.50	0.45***

\* Basada en el reporte del Comité ACI 201, "Durabilidad del concreto en servicio".

\*\* El concreto también debe ser del tipo de aire incluido.

\*\*\* Si se utiliza cemento resistente a los sulfatos (Tipo II a Tipo V de la Norma ASTM C 150), la relación agua/cemento permisible podrá aumentarse en 0.05.

De ser posible se elaborará, con el material - disponible una tabla similar pensando en que siempre se - presentan variaciones en la resistencia con el diferente - agregado y la misma relación agua cemento.

La selección que se haga de la relación agua - cemento debe sobrepasar a la resistencia especificada con el fin de protegerse con un buen margen de seguridad.

Si la estructura estará sometida a condiciones rigurosas de funcionamiento se procurará mantener baja la relación agua cemento, no importando que la resistencia requerida pueda proporcionarse con una relación superior. - La tabla siguiente muestra valores límite en cuanto a este aspecto.

#### 5. Calcular el contenido de cemento.

Por regla general este dato lo obtenemos de las especificaciones, sin embargo podemos calcularlo basándonos en pasos anteriores, el contenido de cemento es; contenido de agua de la mezcla dividido entre la relación agua cemento. No hay que olvidar que el uso de aditivos y/o puzolanas modifica las propiedades del concreto fresco y por con siguiente del endurecido.

#### 6. Evaluación del contenido del agregado grueso.

Para ! cumplir con este paso, consecuencia de - los anteriores, se puede recurrir al auxilio de la siguiente tabla, que proporciona el volumen del agregado grueso por volumen unitario de revoltura. Estos están basados en agregados secos y compactados con varilla, según lo requie

TABLA V

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO  
POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO

Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla*, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena**				
Tamaño máximo del agregado, mm	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

\* Los volúmenes están basados en agregados secos y compactados con varilla, como se describe en la Norma ASTM C29, "Peso unitario de los agregados". Estos volúmenes se han seleccionado de relaciones empíricas para producir un concreto con un grado de trabajabilidad como el que se utiliza en la construcción de pavimentos de concreto, estos valores se pueden aumentar en un 10%. Para un concreto con más trabajabilidad como el que algunas veces se requiere cuando la colocación se efectúa por bombeo, estos valores se pueden reducir hasta en un 10%.

\*\* El módulo de finura de la arena es igual a la suma de las relaciones (acumulativas) retenidas en tamices de malla con aberturas de 0.149, 0.297, 0.595, 1.19, 2.38 y 4.76 mm.

Para obtener un grado de trabajabilidad satisfactoria se procura que el agregado mantenga una granulometría y tamaño máximo similares. Estas relaciones son empíricas y permiten establecer que la cantidad de agregado grueso para conformar un volumen unitario de mezcla está -

en función de su tamaño máximo y el módulo de finura del agregado fino.

El volumen de agregado grueso requerido por el tamaño máximo del agregado, se obtiene como peso seco al multiplicarlos por el peso volumétrico del agregado grueso, seco y compactado con varilla.

Para obtener relaciones para utilizarla en la construcción de pavimentos estos valores se pueden incrementar en un 10% restringiendo la trabajabilidad apropiada a este tipo de obras.

#### 7. Determinación del contenido del agregado fino.

Existen dos métodos para conocerlo, por peso o por el método del volumen absoluto. Cuando se opta por el primer caso, se parte de que ya se conoce el peso unitario del concreto. Si la experiencia no nos favorece se recurrir a la tabla siguiente que en base al tamaño máximo del agregado, obtenido en el paso 2, se estima el peso del concreto.

TABLA VI

Tamaño máximo del agregado, mm	PRIMERA ESTIMACION DEL PESO DEL CONCRETO Kg/m <sup>3</sup> *	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
10	2285	2190
12.5	2315	2235
20	2355	2280
25	2375	2315
40	2420	2355
50	2445	2375
70	2465	2400
150	2505	2435

- \* Valores calculados con la ec. (a) para concretos medianamente ricos (330 Kg. de cemento por  $m^3$ ) y revenimiento medio, con un agregado cuyo peso específico es de 2.7. Los requerimientos de agua están basados en los valores de revenimiento de 8 a 10 cm. de la Tabla II. Si se desea, se puede precisar más la estimación del peso, como se indica a continuación, siempre que se posea la información necesaria: por cada 5 Kg de diferencia en el agua de mezclado de la Tabla II para valores de 8 a 10 cm de revenimiento se corregirá el peso por  $m^3$  en 8 kg en la dirección opuesta; por cada 20 kg de diferencia en el contenido de cemento de 330 kg, se corregirá el peso por  $m^3$  en 3 kg en la misma dirección; por cada 0.1 de desviación de 2.7 en el peso específico del agregado, se corregirá el peso por  $m^3$  en 3 kg en la misma dirección; por cada 0.1 de desviación de 2.7 en el peso específico del agregado, se corregirá en 70 kg el peso del concreto en la misma dirección.

Luego el peso necesario del agregado fino es la diferencia del peso total del concreto fresco y el peso de los elementos que hasta este paso llevamos evaluados.

Hay quienes desean una obtención teóricamente exacta del peso del concreto fresco por volumen unitario, se les proporciona aquí la siguiente ecuación:

$$U_m = 10 G_a (100-A) + C_m (1-G_a/G_c) - W_m (G_a-1) \dots a)$$

Donde:

$U_m$  = peso volumétrico del concreto fresco,  $kg/m^3$

$G_a$  = promedio obtenido de los pesos específicos de los agregados grueso y fino combinados, a granel y en condición saturada y superficialmente seca.

$G_c$  = peso específico del cemento que generalmente se toma como 3.15

$W_m$  = requerimiento de agua de mezclado,  $kg/m^3$

$C_m$  = requerimiento de cemento,  $kg/m^3$

$A$  = contenido de aire, por ciento.

El procedimiento es más exacto y utiliza los -

volúmenes de todos los elementos del concreto. Conocidos - los volúmenes del agua, del cemento, agregado grueso y aire se restan del volumen unitario y se obtiene así un volumen requerido de agregado fino.

8. Considerando que el agregado seco por lo - general tiene cierta capacidad de absorción, se harán ajustes para que su peso sea el correcto. Siempre habrá que aumentarle cierto porcentaje de agua sea esta superficial o - absorbida, es por esto que la cantidad de agua que aportó - el paso 3 deberá reducirse considerando la humedad libre - que posee el agregado.

9. Se hará una comprobación a las revolturas elaboradas mediante mezclas de prueba en el laboratorio o en el campo con muestras de tamaño completo, estas pruebas se harán de acuerdo a los lineamientos que establece la -- norma ASTM C192 utilizando una cantidad de agua que sea necesaria para obtener el revenimiento precisado, sin tomar - como referencia la cantidad teórica obtenida en el paso 3.

Se revisarán el rendimiento del concreto, su peso unitario y el contenido de aire. La trabajabilidad, característica del acabado y el fenómeno de segregación deberán controlarse o si no resultan satisfactorios se harán - los arreglos necesarios siguiendo la siguiente secuencia.

Se divide el contenido neto del agua de la mezcla de prueba entre el rendimiento de la mezcla de prueba - en metros cúbicos, esta operación nos dará una variación en la cantidad de agua de mezclado necesario por unidad de volumen de concreto. Se aumentará la cantidad de agua en 2 -

kg por cada centímetro de revenimiento requerido cuando en la mezcla de prueba no se tuvo el exacto.

En el caso de un concreto con aire incluido, -- cuando no se logró el contenido de aire requerido, se calculará un nuevo contenido de aditivo para la cantidad exigida de aire especificada. Esta nos lleva a modificar el nuevo contenido de agua de mezclado en  $3 \text{ kg/m}^3$  por cada 1% de contenido de aire que se deba corregir. Se reduce en  $3 \text{ kg/m}^3$  cuando se requiera aumentar 1% de aire incluido.

Hay ocasiones en que la dosificación de elementos se hace en función del peso estimado por  $\text{m}^3$  de concreto fresco, entonces, la nueva estimación de ese peso se consigue aumentando o disminuyendo el porcentaje estipulado por anticipado de disminución o aumento del contenido de aire de la revoltura, de acuerdo a la primera dosificación ensayada. Se miden los nuevos pesos de la mezcla empezando del paso 4, corrigiendo el volúmen de agregado grueso que se -- menciona en la tabla V, cuando lo reclamen las necesidades de trabajabilidad.

#### IV.A.1 Ejemplos:

En una edificación de concreto reforzado, que -- trabajará ordinariamente fuera del alcance de sulfatos, se pide, calcular las cantidades de agua, cemento, agregado -- grueso (seco) y agregado fino (seco).

Se requiere una resistencia a la compresión de  $300 \text{ kg/cm}^2$ , a los 28 días.

Revenimiento de 8 a 10 cm agregado grueso de 40 mm cumpliendo, con este tamaño las características de diseño.

Peso volumétrico del agregado grueso:  $1700 \text{ kg/m}^3$   
 peso específico de 2.68 y absorción de 0.5% y contenido de  
 humedad de 2%.

Agregado fino con peso específico de 2.64 y ab-  
 sorción de 0.7%. Módulo de finura de 2.8. El contenido de  
 humedad fue de 6%.

Se construirá con cemento tipo I, sin aire in-  
 cluido, con peso específico de 3.15.

#### Solución:

1. El revenimiento es dato, 8 a 10 cm.
2. Tamaño máximo del agregado grueso: 40 mm.
3. Estimación de la cantidad de agua del mezclado.  
 Auxiliandonos de la tabla II entramos con el re-  
 venimiento y el tamaño máximo del agregado y ob-  
 tenemos:  $175 \text{ kg/m}^3$  y un contenido aproximado de  
 aire atrapado de 1%.
4. De la tabla III, obtenemos la relación agua ce-  
 mento necesaria para alcanzar una resistencia -  
 de  $300 \text{ kg/cm}^2$ , en un concreto sin aire incluido  
 se estima aproximadamente 0.55.
5. De los pasos 3 y 4, la cantidad de cemento nece-  
 saria es:  $\frac{175}{0.55} = 318 \text{ kg/m}^3$
6. Estimación del contenido del agregado grueso. -  
 Recurrimos a la tabla V. Entramos con el módulo  
 de finura del agregado fino de 2.8 y con el ta-  
 maño máximo del agregado grueso. La tabla reco-  
 mienda el uso de  $0.72 \text{ m}^3$  de agregado grueso, -  
 compactado con varilla y seco, por metro cúbico  
 de concreto. De este modo obtenemos el peso se-  
 co del agregado grueso.

$$(0.72 \text{ m}^3) (1700 \text{ kg/m}^3) = 1224 \text{ kg}$$

7. Estimación del contenido de agregado fino. Conocidas las cantidades de cemento, agua y agregado grueso, los materiales restantes para -- completar un  $\text{m}^3$  de concreto consistirán en agregado fino y aire que quedará atrapado.

Puede conocerse de dos maneras:

Con base en el peso. La tabla VI, proporciona - el peso de un  $\text{m}^3$  de concreto sin aire incluido. Elaborando con tamaño máximo de 40 mm se estima de 2 420 kg tenemos, entonces:

Peso del agua de mezclado neto	175	kg.
Peso del cemento	318	kg.
Peso del agregado grueso	1224	Kg.
	<hr/>	
Peso total	1717	kg.

Por lo tanto, el peso de la arena es:

$$2420 - 1717 = 703 \text{ (seco)}$$

Se usarán 703 kg de arena en un  $\text{m}^3$  de mezcla.

La otra manera de conocer este dato es con base en el volumen absoluto. Conocidas las cantidades de cemento, agua y agregado grueso y tomando de la tabla II el contenido aproximado de - aire atrapado, se calcula el contenido de arena así:

$$\text{Volumen de agua} \quad 175/1000 = 0.175 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto de cemento} \quad 318/3.15 \times 1000 = 0.10 \text{ m}^3$$

Volumen absoluto de agregado grueso  $1224/2.68 \times 1000 = 0.46 \text{ m}^3$

Volumen de aire atrapado  $0.01 \times 1.0 = 0.010 \text{ m}^3$

Volumen absoluto total de ingredientes  $0.74 \text{ m}^3$

Por lo tanto, el volumen absoluto de arena requerida:

$$(1.0 - 0.74) \text{ m}^3 = 0.260 \text{ m}^3$$

Peso de arena seca requerida =  $0.260 \times 2.64 \times 1000 = 686 \text{ kg}$ .

8.

Se conoce que es la humedad total del 2% en el agregado grueso y en el agregado fino, 6%. Si utilizamos las proporciones de la mezcla de -- prueba basadas en el peso estimado del concreto, los ajustes en los pesos de los agregados son:

Agregado grueso (húmedo)  $1224 (1.02) = 1248 \text{ kg}$

Agregado fino (húmedo);  $739 (1.06) = 783 \text{ kg}$ .

En el ajuste por adición de agua se debe considerar que el agua que absorbe el agregado debe excluirse.

El agregado grueso aporta agua superficial:

$$2 - 0.5\% = 1.5\%$$

El agregado fino, por su lado:  $6 - 0.7\% = 5.3\%$

Luego entonces el requerimiento de agua estimado de agua de adición es:

$$175 - 1224(0.015) - 739(0.053) = 117 \text{ kg}.$$

Resumiendo:

Agua por añadir	117 kg
Cemento	318 kg
Agregado grueso, húmedo	1248 kg
Agregado fino, húmedo	783 kg

---

2466 kg

9. Para elaborar las mezclas de prueba, se ha considerado favorable la reducción a escala los pesos para producir  $0.02 \text{ m}^3$  de concreto. Sin embargo en cuanto al agua por añadir, aunque el calculo dé 2.30 kg. se utilizaron 2.70 kg para que se alcanzará el revenimiento especificado. La mezcla de prueba arrojó lo siguiente:

Agua añadida	2.70 kg
Cemento	6.36 kg
Agregado grueso (húmedo)	24.96 kg
Agregado fino (húmedo)	15.66 kg

---

49.68 kg

El concreto dió revenimiento medido de 5 cm y un peso unitario de  $2452 \text{ kg/m}^3$ . Se considera satisfactorio desde el punto de vista de su trabajabilidad y de sus propiedades de acabado. La manera de obtener el rendimiento adecuado y las demás características de mezclado, se hacen los siguientes ajustes.

El rendimiento fue:

$$\frac{49.68}{2452 \text{ kg/m}^3} = 0.0202 \text{ m}^3$$

Y el contenido de agua de mezclado fue de 2.70 kg (añadida) + 0.36 (en el agregado grueso) + 0.78 (en el agregado fino) = 3.84 kg; así la cantidad de agua de mezclado que se necesita para un m<sup>3</sup> de concreto con el mismo revenimiento de la mezcla de prueba debe ser:

$$\frac{3.84}{0.0202} = 190 \text{ kg}$$

Pero esta cantidad debe incrementarse en 8 kg - para elevar el revenimiento medido de 5 cm. al deseado de 8 a 10 cm. La cantidad de agua modifica la relación agua-cemento y para mantener la relación deseada de 0.55. El nuevo contenido de cemento será de:

$$\frac{198}{0.55} = 360 \text{ kg/m}^3$$

Como la trabajabilidad se encuentra satisfactoria se mantiene invariable la cantidad de agregado por volumen unitario de concreto utilizada en la mezcla de prueba, así que la cantidad de agregado grueso por m<sup>3</sup> se puede calcular así:

$$\frac{24.96}{0.0202} = 1235 \text{ kg (húmedo)}$$

$$\text{Equivalente a: } \frac{1235}{1.02} = 1210 \text{ kg (seco)}$$

Y (1210) (1.005) = 1216 kg en estado saturado y superficialmente seco.

La nueva estimación del peso por metro cúbico -

es de 2452 kg por lo tanto la cantidad de arena requerida es:

2452 - (peso de agua + p. del cemento + p agregado grueso)

2430 - (198 + 360 + 1216) = 656 (S.S.S.)

ó considerando su grado de absorción:

$$\frac{656}{1.007} = 651 \text{ (seca)}$$

Resumiendo:

Agua de mezclado neta	198 kg
Cemento	360 kg
Agregado grueso seco	1 216 kg
Agregado fino, seco	651 kg

## Ejemplo No. 2

Calcular la dosificación para concreto que estará expuesta a un clima severo. Se requiere una resistencia a la compresión de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , a los 28 días. Las condiciones de colocación permiten un revenimiento de 3 a 5 cm. El agregado grueso posee una graduación de 4.75 mm a 20 mm; cuyo peso, compactado con varilla y seco es de  $1600 \text{ kg/m}^3$ .

- Paso 1. El revenimiento es dato; de 3 a 5 cm.  
 Paso 2. Tamaño máximo del agregado; 20 mm  
 Paso 3. Dada las condiciones del clima (severo), se usará concreto con aire incluido. La cantidad aproximada de agua de mezclado que se empleará para producir un revenimiento de 3 a 5 cm en --

un concreto con aire incluido con agregado de - 25 mm es de  $165 \text{ kg/m}^3$ , de acuerdo a la tabla II El contenido recomendado de aire es de 6%.

Paso 4. De acuerdo a la tabla III, la relación agua/cemento necesaria para producir una resistencia - de  $250 \text{ kg/cm}^2$  en un concreto con aire incluido se estima en aproximadamente 0.53. Sin embargo, la tabla IV indica que la relación no debe exceder de 0.50 cuando se prevee una exposición a condiciones ambientales severas. Este valor (0.50) regirá y deberá usarse en los cálculos.

Paso 5. De acuerdo a la información obtenida en los pasos 3 y 4, el contenido requerido de cemento será de:

$$\frac{165}{0.50} = 330 \text{ kg/m}^3$$

Paso 6. La cantidad de agregado grueso se estima de -- acuerdo a la tabla V. Para un agregado fino con 2.8 de módulo de finura y un agregado grueso con tamaño máximo de 20 mm, dicha tabla recomienda el uso de  $0.62 \text{ m}^3$  de agregado grueso, compactado con varilla y seco, por cada metro cúbico de concreto. Por lo tanto, el peso seco del agregado grueso será de:  $1600 \times 0.62 = 992 \text{ kg}$ .

Paso 7. Una vez determinadas las cantidades de agua, cemento y agregado grueso, los materiales restantes para completar un metro cúbico de concreto son la arena y el aire. El cálculo de la arena requerida puede hacerse de dos maneras:  
Con base en el peso. conforme a la tabla VI, - el peso de un metro cúbico de concreto con aire incluido, elaborado con agregados con tamaño - máximo de 20 mm, se estima en 2280 kg. los pesos hasta ahora son:

Agua (de mezclado neta)	165 Kg
Cemento	330 kg
Agregado grueso (seco)	992 kg
	<hr/>
Total	1487 kg

Por lo tanto, el peso de la arena se estima como:  $2280 - 1487 = 793$  kg (seco).

Con base en el volumen absoluto; con las cantidades de cemento, agua, aire y agregado grueso ya determinados, se puede calcular el contenido de arena como sigue:

Volumen de agua	$\frac{165}{1000}$	=	$0.165 \text{ m}^3$
Volumen absoluto de cemento	$\frac{330}{3.15 \times 1000}$	=	$0.104 \text{ m}^3$
Volumen absoluto de agregado grueso	$\frac{992}{2.68 \times 1000}$	=	$0.370 \text{ m}^3$
Volumen de aire	$0.06 \times 1.0$	=	$0.06 \text{ m}^3$
			<hr/>
Volumen total de ingredientes, con excepción de la arena			$0.699 \text{ m}^3$

Por tanto; volumen requerido de arena =  $1.000 - 0.699 = 0.301 \text{ m}^3$  y peso requerido de arena seca =  $0.301 \times 2.64 \times 1000 = 794$  kg; comparando resultados:

Con base en el peso:	793 kg
Con base en el volumen absoluto	794 kg

Paso 8. Las pruebas indican una humedad total de 3% para el agregado grueso, y el 5% en el agregado fino. Si se utilizan las proporciones de la mezcla de prueba basadas en el peso estimado del concreto, los ajustes en los pasos de los agregados son:

Agregado grueso (húmedo)	992 X 1.03 =	1021 Kg
Agregado fino (húmedo)	794 x 1.05 =	834 kg.

El agua de absorción no forma parte del agua de mezclado y debe excluirse del ajuste por adición de agua. De esta manera, la cantidad de agua superficial que aporta el agregado grueso es de  $3 - 0.5 = 2.5\%$  y el agregado fino aporta  $5 - 0.7 = 4.3\%$

Así, el requerimiento estimado de agua de adición es:  $165 - 992(0.025) - 794(0.043) = 106$  kg

Resumiendo:

Agua (por añadir)	106 kg.
Cemento	330 kg.
Agregado grueso (húmedo)	1021 kg.
Agregado fino (húmedo)	834 kg.
	Total
	2291 kg.

Paso 9. En el laboratorio, para las mezclas de prueba se tomarán a escala los pesos del paso 8, para producir  $0.02 \text{ m}^3$  de concreto. Si bien la cantidad de agua calculada por añadir fue de 2.12 kg, la cantidad que realmente se utilizó, en un intento por obtener el revenimiento deseado, de 3 a 5 cm, fue de 1.78 kg. La mezcla, por consiguienu

te, se formó con:

Agua (añadida)	1.78 kg
Cemento	6.60 kg
Agregado grueso (húmedo)	20.42 kg
Agregado fino (húmedo)	16.68 kg
	Total
	45.48 kg

El concreto tiene un revenimiento de 5 cm, un peso unitario de  $2270 \text{ kg/m}^3$  y un contenido de aire de 7%. Se considera que está ligeramente excedido en arena. Para obtener el rendimiento adecuado y otras características en mezclas elaboradas posteriormente, se harán los siguientes ajustes:

Ya que el rendimiento de la mezcla de prueba fue de:  $\frac{45.48}{2270} = 0.02003 \text{ m}^3$

y el contenido de agua de mezclado fue de 1.78 kg (añadida) + 0.5 (en el agregado grueso) + 0.6 (en el agregado fino) = 2.88 kg, la cantidad de agua de mezclado que se necesita para un metro cúbico de concreto con el mismo revenimiento de la mezcla de prueba debe ser:

$$\frac{2.88}{0.02003} = 143.8 \text{ kg}$$

El revenimiento fue satisfactorio pero, puesto que el contenido de aire se excedió en un 1.0%, se necesitará más agua para obtener el rendimiento adecuado cuando se corrija el contenido de aire. Como se indicó en los ajustes a la --

mezcla de prueba, el agua de mezclado debe aumentarse aproximadamente en 3 Kg por cada 1% de contenido de aire, por lo que se tiene  $3 \times 1\% = 3$  kg y, de esta manera, la nueva estimación será de  $147 \text{ kg/m}^3$ .

Al modificarse el agua de mezclado se requerirá menos cemento para obtener la relación agua/cemento deseada de 0.5. El nuevo contenido de cemento es de:  $\frac{147}{0.5} = 294 \text{ kg/m}^3$

Puesto que se encontró que el concreto estaba excedido en arena, la cantidad de agregado grueso por metro cúbico es:

$$\begin{array}{l} 1600 \times 0.72 = 1152 \text{ kg (seco)} \\ \text{ó } 1152 \times 1.03 = 1186 \text{ kg (húmedo)} \\ \text{y } 1186 \times 1.005 = 1192 \text{ kg (S.S.S.)} \end{array}$$

La nueva estimación del peso del concreto con 1% menos de aire:  $\frac{2270}{1-0.010} = 2.293 \text{ kg/m}^3$

Por lo tanto el peso de la arena es:

$$\begin{array}{l} 2293 - (147+294+1192) = 660 \text{ kg (seca)} \\ \text{ó } \frac{660}{1.007} = 655 \text{ kg (seca)} \end{array}$$

Resumiendo los pesos básicos ajustados de la mezcla por metro cúbico de concreto son:

Agua (de mezclado neto)	147 kg
Cemento	294 kg
Agregado grueso (seco)	1.192 kg
Agregado fino (seco)	655 kg

En este tipo de concreto se debe mantener estricto control de calidad, se evitará que el agregado pesado se almacene o transporte juntos con el agregado de peso normal para dificultar la contaminación entre ellos.

Se limpiará el equipo de manejo del agregado y el usado para hacer pruebas; las premezcladoras y camiones mezcladores se revisarán y probarán antes de utilizarlos. Se recomienda revisar las condiciones del equipo de medición, las de almacenamiento del agregado y las de las tolvas de dosificación del concreto. Estas tolvas se cargarán de acuerdo a su carga de diseño ya que el volumen del agregado pesado provoca un mayor peso aún con volúmenes pequeños. La tabla VII proporcionará los pesos específicos que se consideran en estas maniobras, por ejemplo, una tolva para agregado normal con capacidad de 100 toneladas, con un volumen de admisión de  $60 \text{ m}^3$ , no se cargará con más de 20 a  $40 \text{ m}^3$  de agregado pesado.

Se procurará que la dosificación sea exacta para mantener la relación agua-cemento. Dada la fragilidad de algunos materiales pesados, como las escorias, se harán revisiones frecuentes de la granulometría de los agregados que se estén utilizando. Se podrán seguir cualquiera de estos dos métodos: Ajustar en las proporciones de la mezcla para compensar el incremento definido en el agregado grueso o cribarlo antes de su incorporación a la mezcla.

Para disminuir la tendencia de segregación, se seleccionará según el peso volumétrico del agregado grueso, uno comparable en el agregado fino.

TABLA VII

## RECOMENDACIONES PARA DOSIFICAR CONCRETO

MATERIAL	DESCRIPCION	PESO	PESO UNITARIO APROX. DEL CONCRETO KG/M <sup>3</sup>
Limonita Goethita	Minerales de hierro hidratados	3.4 - 3.8	2880 - 3125
Barita	Sulfato de bario	4.0 - 4.4	3300 - 3600
Limenita Hematita Magnetita	Minerales de hierro	4.2 - 4.8	3450 - 3 850
Hierro	Fragmentos, recortes, etc.	6.5 - 7.5	4950 - 5 600

Existen recomendaciones específicas en el manejo de estos concretos: si este tipo de obra estará en un clima cálido y seco, se dosificará de tal modo que el peso unitario fresco sea al menos  $160 \text{ kg/m}^3$  mayor que el peso unitario en seco.

Se diseñará el concreto en estado plástico previniendo un alto contenido de aire para compensar su pérdida durante su vibrado o manipulación en general y considerar su pérdida de peso y espacio por este factor en aquellas que para efectos de durabilidad, deban llevar aire incluido

En aquellos que se utilicen para resguardo de las radiaciones se tomarán precauciones al seleccionar el tipo de agregado y peso de la masa de concreto, generalmente ante mayor espesor de muros es mejor la protección que se brinda ante la acción de rayos gamma y beta; pero no hay

que olvidar las propiedades de atenuación que se pueden aprovechar de los elementos que componen el concreto, tales como el carbono, cloro, hidrógeno, etc.

Si se usan como agregado, escorias pesadas, deberán ser sometidas a exámenes meticulosos se ha visto que el desarrollo del hidrógeno que llevan este tipo de agregados ocasiona a veces una reacción autolimitante, provocando el incremento de su volumen antes de que termine su reacción.

En cuanto a la cantidad requerida de agregado fino se recomienda se calcule mediante el procedimiento basado en el volumen absoluto.

El diseñar y construir cimbras capaces de soportar los pesos, revisar continuamente los pesos unitarios del concreto y una buena técnica de computación nos llevarán a efectuar satisfactoriamente este tipo de obras.

Se tendrá vigilancia en el peso que disminuye en concretos con aire incluido, ya que es común su inclusión para efectos de durabilidad y en ambientes severos. El vibrado deberá ser de alta frecuencia e intervalos de insersión continuos. El diseño de estos concretos debe considerar esta etapa y evitar pérdidas de aire incluido por un vibrado inadecuado.

#### IV.B.1 Ejemplo

Necesitamos un concreto pesado con una resistencia a la compresión promedio de 300 kg a los 28 días. Las condiciones de colocación permiten un revenimiento de 5 a 8 cm y un tamaño máximo de agregado de 25 mm, El diseño re--

quiere un peso unitario en seco de  $3500 \text{ kg/m}^3$ . De los materiales disponibles sabemos que:

	Agregado fino Hematita especular	Agregado grueso Ilmanita
Módulo de finura	2.30	4.61
Peso específico a granel en condiciones SSS	4.95	4.61
Porcentaje de absorción	0.05	0.08
Peso seco compactado con varilla	-	$2640. \text{ kg/m}^3$
Tamaño máximo	-	25. mm
Humedad total	0.15%	0.10%

Cemento tipo I (sin aire incluido, dado que las condiciones ambientales lo permiten y requerimos peso).

De la tabla VII y partiendo de este tipo de materiales, se sabe que una mezcla con este tipo de materiales pesará de  $3450$  a  $3850 \text{ kg/m}^3$ .

#### Solución:

1. Revenimiento, ya especificado: 5 a 8 cm
2. Tamaño máximo del agregado grueso: dato 25 mm.
3. Según la tabla II, el contenido de agua es de  $-184 \text{ kg/m}^3$  con aire atrapado 1.5%.
4. En la tabla III, vemos que la relación agua-cemento es de 0.55, en un concreto sin aire incluido.
5. Como en el ejemplo de un concreto normal, basándonos en los pasos 3 y 4.  $184/0.55 = 334.0$   $\text{kg/m}^3$  de cemento.

6. Cálculo de la cantidad de agregado grueso, nos auxiliamos de la tabla V.

T.M.A. (mm)	Módulo de finura de la arena
	2.30
25 mm	0.68 m <sup>3</sup> encontrado por - extrapolación, - por lo tanto:
	0.68 X 2640 = 1795.0 Kg.

Este peso es seco y compactado con varilla.

En el método de dosificación del ACI se compensa la angularidad del agregado grueso usando el peso unitario del agregado seco y compactado con varilla, no obstante, el uso de un agregado fino extremadamente angular puede requerir una proporción más alta de agregado fino, una mayor cantidad de cemento o la inclusión de aire para conseguir una mejor trabajabilidad.

7. Cálculo del peso requerido de arena: en base al volumen absoluto:

Volumen de agua	184/1000 = 0.184 m <sup>3</sup>
Volumen de aire	0.51 X 1.0 = 0.015 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto de cemento	334.0/3.15 X 1000 = 0.106 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto del agregado grueso	1795.0/4.61 X 1000 = 0.389 m <sup>3</sup>
Volumen total de materiales, exceptuando la arena	<hr/> 0.694 m <sup>3</sup>

Por lo tanto el volumen absoluto de arena es:

$$1 - 0.694 = 0.306 \text{ m}^3$$

$$\text{Es decir: } (0.306 \text{ m}^3) (4.95 \text{ kg/m}^3) (1000) = 1514 \text{ Kg}$$

8. Dada la humedad total en los dos tipos de agregados, los ajustes en los pesos son:

Agregado fino, húmedo  $1.0015 \times 1514 = 1516 \text{ kg}$   
 Agregado grueso, húmedo  $1.0010 \times 1795 = 1797 \text{ kg}$

El agua de absorción no forma parte del agua de mezclado y debe excluirse del ajuste por adición de agua. Así que el agua superficial que aporta:

El agregado grueso es  $0.10 - 0.08 = 0.02\%$

El agregado fino es  $0.15 - 0.05 = 0.10\%$

Por lo tanto el requerimiento estimado de agua de adición es;

$184 - 1795 (0.0002) - 1514 (0.001) = 182.12 \text{ Kg.}$

9. Las proporciones estimadas resultantes, sobre la base del peso del concreto pesado será:

Agua	182 kg
Cemento	334 kg
Agregado grueso	1797 kg húmedo
Agregado fino	1516 kg húmedo

            
3829 kg/m<sup>3</sup>

Es el peso unitario estimado fresco.

## V. ADITIVOS

Un aditivo es un componente del concreto, dis--

tinto al agua, agregados o al cemento hidráulico que se adiciona en la revoltura antes o durante el mezclado.

Los aditivos se clasifican por su composición -  
en:

Tipo A	Aditivos reductores de agua
Tipo B	Aditivos retardantes.
Tipo C	Aditivos acelerantes
Tipo D	Aditivos reductores de agua y retardantes
Tipo E	Aditivos reductores de agua y acelerantes

Estas características pueden permitir la elec--  
ción de determinado aditivo y exigir una dosificación parti  
cular, el resultado que se obtenga depende del método emplea  
do para su preparación y dosificación. Para que en un con-  
creto con aditivos lleguemos a obtener las características  
deseadas ha menester que su dosificación sea llevada con --  
precisión, velocidad y reproductividad aceptable.

De acuerdo a como se ejecute la dosificación se  
tienen 3 clasificaciones:

1. Los que se adicionan en la mezcla en estado lí-  
quido, dosificados por volumen.
2. Minerales pulverizados, dosificados por peso.
3. Los que se dosifican mezclados con materiales -  
inertes para abultarlos y facilitar el pesado,  
favoreciendo de esta manera, la completa distri  
bución del elemento activo de la mezcla.

Tanto la adición como la velocidad de descarga .  
del aditivo deberán ser sincronizados dentro del proceso de

fabricación del mortero de modo que se logre un ritmo adecuado ya que de esto depende que el aditivo desarrolle sus propiedades oportunamente. Se tiene por experiencia que la totalidad del aditivo debe ingresar a la mezcla antes que concluya la adición del agua. Los aditivos no deberán ser premezclados antes de su introducción en el concreto. Cuando dos o más aditivos no sean compatibles no se usarán dentro del mismo concreto a menos que, mediante pruebas, se demuestre esta posibilidad, estos se adicionarán a la mezcla a lo largo de su preparación o durante el mezclado pero en distintos momentos.

Los aditivos inclusores de aire, reductores de agua, reductores de agua acelerante, tienen su presentación en forma líquida y su dosificación varía de  $3 \text{ cm}^3$  hasta  $1900 \text{ cm}^3$  por 45 kg. de cemento. No deberá estar en contacto directo con el cemento seco.

Los aditivos con presentación en seco se manejarán con las mismas observaciones que para el cemento Portland seco, en su almacenaje, conducción y dosificación.

En general los aditivos se usan para:

- Aumentar la resistencia
- Reducir la permeabilidad de los líquidos
- Mejorar la penetración y el bombeo
- Reducir el costo unitario del concreto
- Retardar o reducir el desarrollo de calor
- Modificar la velocidad a la aptitud de sangrado o ambos
- Acelerar la velocidad de desarrollo de resistencia a edades tempranas
- Aumentar la adherencia del concreto y el acero
- Obtener concretos con propiedades fungicidas, germici-

das o insecticidas

- Reducir o evitar el asentamiento o para originar una -  
leve expansión en concretos o morteros usados para re-  
llenar huecos y otras aberturas en estructuras de con-  
creto y en rellenos para cimentación de maquinaria, --  
columnas o trabes, o para rellenar ductos de cables de  
concreto postensado o varios en agregado precolado.
- Producir concreto o mortero de color
- Inhibir la corrosión de metales sujetos a corrosión -  
embebidos en el concreto
- Controlar la expansión causada por la reacción de los  
álcalis con ciertos constituyentes de los agregados
- Aumentar la trabajabilidad sin aumentar el contenido  
de agua
- Retardar o acelerar el fraguado inicial
- Aumentar la adherencia entre concreto viejo y nuevo
- Reducir el asentamiento, especialmetne en mezclas para  
rellenos
- Para producir concreto celular
- Aumentar la durabilidad o resistencia a condiciones se  
veras de exposición incluyendo la aplicación de sales  
para quitar el hielo.
- Reducir el flujo capilar de agua

Será de gran utilidad remitirse a las especificaciones  
siguientes que se refieren a los tipos de aditivos más comu  
nes.

ASTM C618 "F1 y Ash" y puzolanas naturales o calcinadas

CRD C13 Aditivos inclusores de aire

CRD C87 Aditivos químicos

AST C494 Aditivos químicos

USBR Aditivos reductores de agua y para controlar el fragua  
do

ASTM C98 Cloruro de calcio  
CRD C262 Puzolanas  
AASH ó M154 Aditivos inclusores de aire  
ASTM C260 Aditivos inclusores de aire

#### ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE

Este aditivo es empleado para aumentar la trabajabilidad y resistencia durante el congelamiento del concreto. El aire en el cemento hidráulico o en un concreto o mortero, ingresa formando pequeñas burbujas con un diámetro menor de 1 mm.

Su uso permite disminuir el contenido de agua conservando la plásticidad y trabajabilidad mejorando así uniformidad en la colocación y compactación reduciendo la segregación. El sangrado también se limita. Como aumenta el volumen de vacíos el peso unitario sufre un decremento, aunque por lo mismo también afecta su resistencia, nunca excediendo un 15% de la resistencia a la compresión.

Un concreto con aire incluido presenta un mejor comportamiento que otro sin aire en su masa, ante el fenómeno de filtraciones de agua.

Se recomienda este aditivo en mezclas pobres para facilitar su manejo.

Para el proporcionamiento de concreto con este tipo de aditivo deberán observarse las especificaciones de la ACI-211, en general es igual al de concreto sin aire incluido.

Uno de los parámetros que influyen en la cantidad de aire incluido son las impurezas orgánicas, también - puede deberse a la forma de las partículas y la composición granulométrica de los agregados que componen el concreto. Mientras más esféricas sean las partículas finas, menos cantidad de aditivo requerirá. También dependerá de la cantidad de cemento utilizado si la cuantía de cemento se incrementa, la cantidad de aire incluido potencial por una cantidad específica de aditivo, tiende a disminuir. La presencia de alcalis en el cemento influye inversamente en la cantidad de aire incluido.

Los cementos Portland-puzolánico y de alta resistencia rápida hace necesaria mayores cantidades de este tipo de aditivo.

Si el efecto que se desea es una mayor uniformidad del concreto con aire incluido se preferirá que se mezcle en soluciones.

#### ADITIVOS ACELERANTES

Este se adiciona al concreto con la finalidad - de reducir el tiempo de fraguado y para acelerar el desarrollo temprano de resistencia del concreto.

De este tipo de aditivos el que más se ha venido usando es el cloruro de calcio, no obstante de que existe conocimiento de otros productos químicos con las mismas propiedades.

Dentro de los usos que se le asignan estos aditivos se mencionan las más comunes: Para abreviar el tiempo de curado y protección, aumentar la velocidad de desarrollo de resistencia, mejorar la resistencia al peso de agua en elementos de contención, facilitar la iniciación de operaciones de acabado y cuando sea necesario aplicar un aislamiento protector; en la producción de concreto en climas fríos.

Se enlistan a continuación los efectos que se podrán obtener del uso de este tipo de aditivos:

- Obtención del desarrollo del calor más temprano
- La resistencia al ataque de sulfatos se disminuye
- Mayor expansión producida por la reacción álcalis-agregados.
- Tiempo de fraguado; inicial y final, se reducen.
- Se requerirá menor proporción de aditivo inclusor de aire para obtener la misma cantidad que si no tuviera acelerante
- Incrementa la resistencia a la compresión a edades tempranas.
- Los cambios volumetricos aumentan.

Dentro de las precauciones que habrán de observarse esta la de no usar este aditivo como anticongelante para el concreto. Cuando el curado debe hacerse mediante vapor no se usará cloruro de calcio, ya que se propicia la corrosión de la cimbra (cuando es metálica) e incluso del acero de refuerzo cuando el recubrimiento que lo protege no es de espesor adecuado.

Por regla general los acelerantes se dosifican del 1 al 25% del peso del cemento usado en la mezcla modi-

ficandose estos límites si las condiciones ambientales son extremas.

Cuando se use cloruro de calcio se preferirá en estado de solución.

## REDUCTORES DE AGUA Y CONTROL DE FRAGUADO

Este tipo de aditivos se componen de materiales orgánicos o una combinación de orgánicos e inorgánicos que provocan dos efectos, reducir la cantidad de agua para determinada consistencia y modificar la velocidad de fraguado o endurecimiento del concreto. Se consideran a los inclusores de aire y los acelerantes como aditivos reductores de agua con funciones particulares.

Tanto los aditivos reductores de aire como los utilizados para el control del fraguado usan para su composición: sales de los ácidos carboxílicos hidroxilados, derivados o modificaciones de estas sales, sales de ácidos lignosulfónicos, modificaciones y derivados o formulaciones de ácidos lignosulfónicos y sus sales, carbohidratos, boratos, fosfatos, sales de zinc, cloruros, aminas y sus derivados, éteres de celulosa, derivado de melamina.

La utilidad de estos aditivos puede ponderarse si vemos que para un revenimiento y contenido de aire fijos, la cantidad de agua puede reducirse, sin perjuicio de la calidad del concreto, en un 10%.

Dependiendo del material o materiales, las con-

diciones ambientales y las propiedades del cemento utilizadas; la velocidad de fraguado o endurecimiento pueden corregirse en grados variables ya sea acelerando o retardándola.

Respecto a las sales de ácido lignosulfónico se sabe que comunmente reduce el sangrado y, según sea el aditivo usado, produce cierta inclusión de aire.

Las sales de ácido carboxílico hidroxilado contrariamente a los lignosulfonatos no incluyen aire y provocan un amento de sangrado.

Este tipo de aditivos aumentan para un mismo -- contenido de agua el revenimiento de la mezcla pudiendo prolongar así el lapso de tiempo que transcurre entre el mez--clado y su colocación. Además su uso aventaja con mucho su trabajabilidad facilitando la colocación y disminuyendo la tendencia de material de relleno a segregarse durante el - vibrado.

Se ha observado que con la inclusión de estos - aditivos se reduce el aumento adiabático de temperatura y el calor de hidratación.

Concretos con aditivos reductores de agua y retardantes con iguales contenidos de cemento, revenimiento y contenido de aire que cumplen con el tiempo de fraguado, presentan por lo general una resistencia a la compresión -- comparable a la que arrojaría un concreto sin aditivo a edades de 16 ó 18 a 48 horas, sin embargo a 28 días dicha re--sistencia puede aumentar del 15 al 25%, después el porcentaje del incremento de resistencia es menor.

Con estos aditivos se mejora la resistencia a la abrasión y el módulo de elasticidad, aumenta la adherencia al acero de refuerzo, disminuye el flujo plástico y -- también la permeabilidad. Todo este beneficio en sus propiedades se le atribuyen al aumento de la resistencia y su reducción en el contenido de agua del concreto.

Las que siguen son las aplicaciones más usuales en el retardo del fraguado del concreto:

- Cuando el clima es caliente, su presencia alivia sus efectos adversos permitiendo una fácil colocación y óptimo acabado. También controla la aceleración de -- temperaturas altas.
- Permiten controlar el fraguado en elementos masivos y conservar manejable el concreto mientras dura su colocación; se logra atenuar los efectos nocivos de la aceleración de temperaturas altas.

Respecto al control del fraguado es importante mencionar sus beneficios al evitar agrietamientos, efecto de flexión en la cimbra o vibraciones y movimientos ocasionados por colados contiguos. Para concluir mencionaré que es especialmente utilizado para eliminar juntas frías.

Aplicaciones en el uso de reductores de agua:

- Permite, para una resistencia dada, un proporcionamiento económico del cemento y evita tener que adicionar -- agua para atenuar deficiencias granulométricas del agregado.
- Dada su poca cantidad de cemento puede usarse la mezcla

en secciones grandes y elementos masivos.

- Se vuelve un aliado del constructor al desarrollar -- temprano su resistencia y módulo de elasticidad, y se aviene a la estipulación especificada de máxima relación agua/cemento.
  
- Permite, también, una reducción del contenido de agua para una consistencia dada. El problema del reveni--- miento se minimiza y se mejora la calidad del concreto fresco como efecto de la trabajabilidad lograda. Esto es muy ventajoso en concretos que van a hacer bombea-- dos, se emplearán bajo el agua o en elementos con un - gran porcentaje de acero.

## VI. CONCLUSIONES

A pesar de los esfuerzos para adoptar a la práctica todos los conocimientos relativos al uso de los componentes del concreto, las posibilidades de falla y, por consiguiente de errores o defectuosa ejecución de los trabajos, son numerosas, aún en el caso de emplear técnica y materiales irreprochables.

La gama de usos del concreto es múltiple, especiales u ordinarios; necesitando formas distintas de puesta en obra que serán factores de respuesta a productos de características más o menos pronosticables.

La clasificación que da la normalización americana que precisa los tipos de cemento Portland, facilita con mucho la elección del constructor; de no ser por esta se procedería para satisfacer un producto, a recurrir al testimonio de otras obras realizadas con este o aquel cemento.

Para garantizar una buena respuesta del elemento por construir se deben recurrir a los ensayos recomendados, pruebas a los materiales y reunir el mayor número de características deseables en sus componentes.

Generalmente los reproches de los constructores van dirigidos a la manifestación de la retracción del concreto: las grietas, éste comportamiento ocasiona, en primer lugar demerito a la estética; interrupción en la conservación del acero de refuerzo; favorece las filtraciones y provoca desconfianza en la estabilidad de la obra. En realidad el origen del agrietamiento puede situarse por: el tipo de cemento elegido, tamaño máximo y forma del agregado grueso, -

pureza y granulometría del agregado fino, heterogeneidad del concreto, dosificación del cemento, relación agua-cemento, -curado, condiciones de conservación, etc.

Para poder considerar como idónea la composición del concreto, de cualquier elemento -en su conjunto como en sus partes constitutivas- deberá responder al objeto para el cual se ejecutó con un adecuado margen de resistencia, además que se realice con un consumo mínimo de material y trabajo.

Su respuesta deberá ser satisfactoria ante solicitudes en compresión, flexión, agentes atmosféricos, --impermeabilidad, resistencia al desgaste para un determinado tráfico y protección al acero de refuerzo contra oxidación; no obstante que estas características se estipulan en las especificaciones habrá que meditar si son suficientes o si es necesario tomar precauciones adicionales.

En último término, el conocimiento de todo cuanto concierne a la construcción con concreto, contribuirá seguramente a una visión más profunda y comprensiva de nuestras --obras.

## BIBLIOGRAFIA

## CARTILLA DEL CONCRETO

(F.R. Mc. Millan y Lewis H. Tuthill)

Traducido por: Ing. Manuel Dondé G.

1975, IMCYC

## CONSTRUCCION DE LOSAS Y PISOS DE CONCRETO

(ACI 302 IR-80)

Traducido por: Héctor Beltrán

1981, IMCYC

## EL CONCRETO EN LA OBRA, TOMOS I, II y III

Traducido por: Ermilo Molina

1982, IMCYC

## GUIA PARA EL EMPLEO DE ADITIVOS EN EL CONCRETO

(Reporte preparado por el Comité ACI-212)

Traducido por Ing. J. Antonio Pardo B.

1983, IMCYC

## PRACTICA PARA DOSIFICAR CONCRETO NORMAL, CONCRETO PESADO Y CONCRETO MASIVO

(ACI 211)

Traducido por: Ermilo Molina

1983, IMCYC

## PRACTICA RECOMENDABLE PARA LA MEDICION, MEZCLADO, TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO

(Revisión del documento ACI 614-59 por el Comité ACI-304)

Traducido por: Ing. David Martínez e Ing. Raúl Huerta M.

1974, IMCYC

**ASPECTOS FUNDAMENTALES DEL CONCRETO REFORZADO**

Oscar M. González Cuevas, Francisco Robles F.V., Juan Casillas G. de L,  
Roger Díaz de Cossio.  
Limusa, 1981.