



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**"METODO NUMERICO PARA EL DISEÑO OPTIMO
DE MEZCLAS DE CONCRETO"**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

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

P R E S E N T A :

ENRIQUE MARTIN ALATORRE YAÑEZ

México, D. F.

1 9 8 8



Universidad Nacional
Autónoma de México



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

pág.

I . - INTRODUCCION

I.1.- Resena Histórica	2
I.2.- El Concreto Premezclado	4
I.3.- Referencia a métodos comunes de diseño de mezclas	6
I.4.- Importancia del estudio de nuevos métodos	11

II . - CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

II.1.- Materiales del Concreto	13
II.2.- El Cemento	14
II.3.- Los Agregados	18
II.4.- Los Aditivos	32
II.5.- El Agua	34

III . - PROCEDIMIENTO DE MEZCLA HUMEDA

III.1.- Objetivo	37
III.2.- Procedimiento	37
III.3.- Elaboración de pruebas	39
III.4.- Resultados	45

IV . - DESARROLLO DEL METODO NUMERICO

IV.1.- Origen del Método	52
IV.2.- Obtención de la información necesaria	52
IV.3.- Modelos Matemáticos	57
IV.4.- Proceso de cálculo preliminar	78
IV.5.- Resultados	84

V . - AJUSTES AL METODO

V.1.- Ajustes internos	87
V.2.- Ajustes externos	98
V.3.- Proceso de cálculo definitivo	100
V.4.- Resultados	108

VI . - CONCLUSIONES

CAPITULO I
INTRODUCCION

CAPITULO I

INTRODUCCION

I.1.- Reseña Histórica

El empleo de materiales cementantes es muy antiguo; los Egipcios ya utilizaban yeso calcinado impuro, los Griegos y Romanos utilizaban caliza calcinada y, posteriormente, aprendieron a mezclar cal con agua, arena y piedra triturada o ladrillo y tejas quebradas. Este fué el primer concreto de la historia.

Para referirnos a la evolución del concreto, tenemos que hablar básicamente del material que hace posible su fabricación, es decir, tenemos que ver como evolucionó el cemento; el concepto en sí, más que una definición de cemento, se puede definir como la substancia adhesiva capaz de agregar fragmentos o masas de materias sólidas, que se emplean para efectuar la aglomeración o agregación de piedras y otros. "La Historia del Concreto va de la mano con la Historia del Cemento".

Por lo que se refiere a su desarrollo, se ha podido constatar que para que se iniciara el uso del cemento en la construcción, se ha requerido primeramente de un grado de civilización bastante avanzado, ya que como se ha observado en las estructuras prehistóricas megalíticas y ciclópeas de Grecia, estas primeras construcciones se hacían solo con tierra a base de tapias con sucesivas capas de barro bien apisonadas o con muros de piedra sin adición de aglomerante alguno.

Es también en algunos edificios egipcios en donde se ha encontrado ya el actual sistema de trabajar con aglomerante en edificios entre los bloques y losas de piedra, con la salvedad de que el yeso utilizado se cocía muy imperfectamente por lo que obtenía una mezcla mineral sin cocer con yeso muerto, de tal manera que un mortero así tenía que endurecer de manera muy irregular y con ello dificultar la buena marcha de su aplicación.

Es bien cierto el hecho de que, tanto los Griegos como los Romanos, se dieran cuenta de que ciertas materias volcánicas al ser molidas finamente y mezcladas con cal y arena, proporcionaban un mortero, no sólo de elevada resistencia sino, capaz de resistir la acción del agua.

Después de la época romana empezó a decaer la calidad de los morteros y tal decadencia continuó durante la edad media, sin embargo, a partir del siglo XII la calidad va mejorando, observándose que la cal está bien cocida y tamizada, tan es así, que a fines del siglo XIV se encuentran morteros excelentes, viéndose que se tenía ya la precaución de lavar la arena para quitar la suciedad o la tierra que podían impedir la adherencia del aglomerante.

Pasando ya a épocas recientes, el progreso más importante sobre el desarrollo del cemento es indudablemente la investigación llevada a cabo por John Smeaton, que al ser llamado en 1756 para construir un nuevo faro en las rocas de Eddystone, sustituyendo al que había sido destruido por un incendio, se dedicó primeramente a efectuar investigaciones acerca de cuales eran los mejores materiales de construcción que resistieran condiciones tan duras, descubriendo así, por primera vez, las magnificas propiedades de la cal hidráulica.

Aproximadamente en 1818, L.J. Vicat realizó investigaciones sobre cales hidráulicas que concluyeron en la preparación de una cal hidráulica artificial, calcinando una mezcla de caliza y arcilla que las molía juntas en un molino de vía húmeda. Este proceso puede ser considerado como el principal precursor de la fabricación del Cemento Portland, sin embargo, es hasta 1824 en que se presenta su primera patente de fabricación, por Joseph Aspdin, en la cual se menciona una caliza dura como la que se empleaba en ese entonces en la reparación de carreteras, la cuál era machacada y calcinada para después mezclarla con arcilla, moliéndose con agua hasta quedar reducida a una pasta fina.

El principal inconveniente de este proceso era que se empleaba una temperatura muy baja en la etapa de cocimiento, por lo que el producto resultaba de baja calidad. Se le dió a este producto el nombre de Cemento Portland, debido a un cierto parecido, en su color, al de la piedra de Portland.

En el transcurso de los últimos años, los perfeccionamientos introducidos en los hornos y los dispositivos mecánicos y electrónicos de la Industria del Cemento, así como el conocimiento más completo de los límites de composición, han dado lugar a que se fabriquen cementos superiores al Portland corriente de hace treinta años, que la comparación de éste es del mismo orden que la comparación del Cemento Portland con los cementos primitivos naturales.

Citemos ahora a la evolución del concreto, el cuál se viene aplicando también desde muy remota antigüedad, la mayor parte de estos concretos se hacían con cascote de ladrillo, cal y puzolanas, a excepción de las grandes obras en las cuales se solía reemplazar los trozos de ladrillo por tobas volcánicas.

Es observable el uso de concreto también en los muros de edificios de la edad media, aunque de manera menos sistemática y con un menor conocimiento del material que los tiempos de los romanos.

Se dió gran impulso al uso del concreto cuando se difundió, como ya lo señalamos, el empleo del Cemento Portland, ya que éste ha sido la base, en la mayoría de las

Veces, de la elaboración de dicho producto, y solo en casos excepcionales el concreto se ha fabricado con cal hidráulica.

Sin embargo, al inventarse el concreto armado, que reúne las características de la resistencia a la compresión del concreto bien amasado y fraguado y la resistencia a la tensión del acero se ha incrementado aún más el empleo de este producto que se ha traducido además, en una mejora progresiva de la calidad del cemento.

I.2.- El Concreto Premezclado

La Norma Oficial Mexicana N.O.M. C-155 establece la siguiente definición:
Concreto Premezclado.- Es el concreto hidráulico, dosificado y mezclado por el fabricante, el cuál se entrega al comprador para su utilización en estado plástico.

Hace cuarenta y cinco años se fundó la primera compañía de concreto premezclado en México. Entonces, solo algunos visionarios alcanzaron a comprender que aquella rudimentaria planta y sus dos camiones revolvedora, darían origen a una de las más avanzadas y progresistas industrias de los 80's.

En la actualidad, la Industria del Concreto Premezclado ha sabido capitalizar toda la experiencia de cuatro décadas y convertirla en una tecnología altamente sofisticada al servicio del país.

En los modernos laboratorios de control y análisis de calidad, con complejos sistemas, equipos e instrumentos de medición, técnicas de muestreo, estadísticas, estudios especiales e investigación de nuevas formulaciones y materiales, se contribuye día a día a conseguir mayores beneficios en calidad, uniformidad y economía para los cada vez más numerosos consumidores de concreto premezclado.

La creciente demanda nacional de este producto ha dado origen a la investigación y desarrollo de maquinaria y equipos con capacidades de producción y transporte cada vez mayores, más precisos, versátiles y eficientes.

Las treinta y cinco empresas que conforman esta pujante industria nacional, representan una inversión de más de 6 mil millones de pesos en 135 plantas localizadas en 22 estados de la república, con más de mil unidades para transporte de concreto premezclado.

Esta enorme capacidad instalada generó, en 1979, 4.5 millones de metros cúbicos de concreto premezclado, lo que significó el 98% del concreto que se produjo industrialmente para fines comerciales.

En 1980, la producción mensual superó, en el primer

semestre, los 400 mil metros cúbicos, para lograr una meta propuesta de 5 millones de metros cúbicos de concreto al final del año.

Con esta producción, dicha industria contribuye decisivamente en el crecimiento de México: escuelas, universidades y otros centros de enseñanza; hospitales, clínicas y otros centros de salud; estadios y otros centros recreativos, viviendas, presas, acueductos, puertos marítimos, aeropuertos, estaciones de autobuses, instalaciones petroleras, puentes y otras muchas obras de infraestructura urbana y rural.

Uno de los aspectos más importantes de esta industria, es el empeño que ha puesto en la generación de fuentes de trabajo estables, la capacitación de sus técnicos y obreros y en términos generales, el mejoramiento de vida de los 30 mil mexicanos que dependen de ella directamente.

Además, cabe mencionar las ventajas que se tienen en el medio de la construcción, gracias a la existencia de esta industria, como son:

- La disposición de grandes volúmenes de concreto en un momento dado.
- La existencia de laboratorios de control que garantizan la calidad del producto.
- Manejo de información estadística que permite que los parámetros utilizados para el control de calidad sean fidedignos.
- Apegamiento a un cuerpo normativo, que estandariza los procedimientos y equipos de pruebas de materiales constitutivos, así como del producto mismo, con los que se fijan criterios de comparación.
- Uniformidad en la producción.
- La elaboración de estudios e investigaciones.
- El beneficio económico que les proporciona a los constructores ya que no hay que invertir en gastos de: maquinaria y equipo, mano de obra, administrativos, etc., para la elaboración del concreto.
- La eficientización de los equipos de bombeo, lo cual permite colocar el concreto en alturas considerables o en accesos difíciles.
- Colocación del concreto en una forma rápida y efectiva.

En síntesis, la industria del concreto premezclado proporciona ahorros de tiempo, dinero y esfuerzo, además de

garantía de calidad y la disposición de grandes volúmenes de concreto.

I.3.- Referencia e métodos comunes de diseño de mezclas

El diseño de una mezcla de concreto no es más que encontrar el proporcionamiento de las cantidades de cada ingrediente de que se compone éste, el cual debe ser balanceado cuidadosamente a fin de satisfacer lo siguiente:

CALIDAD adecuada; el cemento y los agregados originan resistencia, durabilidad y estabilidad de volumen. Un exceso de agua deteriora la calidad del concreto.

TRABAJABILIDAD adecuada para el mezclado, transporte, colocación y acabado del concreto en forma satisfactoria. La pasta de cemento y agua proporciona la trabajabilidad del concreto. Un exceso de agregados hace que el concreto no sea manejable.

ECONOMIA óptima con los materiales disponibles. Los agregados y el agua son los ingredientes menos costosos del concreto. El empleo de un exceso de cemento hace al concreto antieconómico.

En los albores del concreto, la selección de las proporciones era muy arbitraria y los resultados fueron más o menos casuales. Con el descubrimiento primordial de la relación agua/cemento (Ley de Abrams), el desarrollo de equipos para procesos de agregados, mezclado y manejo de mayores volúmenes de concreto y con el mejoramiento de los cementos, se ha avanzado hasta poder determinar las proporciones de ingredientes que cumplan con las exigencias del producto ya mencionadas. Al transcurso de los años se han ideado algunos métodos o procedimientos para llegar a dicho objetivo, así, encontramos desde métodos muy sencillos aplicables o utilizados (más que nada en obras pequeñas y no muy importantes) por la facilidad de recordarlos y porque quizá no se requiera o exijan las características de un buen concreto.

Por citar un ejemplo, nos referiremos a un método llamado en algunas ocasiones METODO 1 2 3, y consiste más o menos en los siguientes pasos:

- 1.- Según se "sienta" la grava (ligera o pesada) "suponer" un peso volumétrico (P.V.) para el concreto entre 2,000 y 2,300 kgs./m³.
- 2.- Según se "aprecie" la humedad de los materiales (muy húmedos o secos) "suponer" un consumo de agua entre 180 y 200 lts./m³
- 3.- Con la ayuda de la regla: $fcr = (2/3)C$, donde,

fcr; es la resistencia a compresión requerida y esperada del concreto en kgs./cm².

C; cantidad de cemento en kgs. por m³

"calcular" la cantidad de cemento como: $C = (3/2)fcr$

- 4.- Calcular la cantidad de agregados como: $Agr = P.V.-W-C$ donde,

Agr; es la cantidad de grava + arena, en kgs.

P.V.; es el peso volumétrico, en kgs/m³ (ver punto 1)

W; es la cantidad de agua, en kgs/m³ (ver punto 2)

- 5.- Si es grava 3/4" utilizar la relación G/A = 1 lo cual significa igual cantidad de grava y arena.

Si es grava 1 1/2" utilizar relación G/A = 1.5 y calcular la cantidad de grava como: $G = (1.5/2.5)Agr$, y la cantidad de arena: $A = Agr-G$ donde,

G; es la cantidad de grava en kgs por m³

A; es la cantidad de arena en kgs por m³

- 6.- Convertir a volúmenes para dosificar en unidades de dicha magnitud, dividiendo las cantidades de cada material, excepto el agua, entre 1.3, que es el peso volumétrico suelto de los materiales, aproximadamente.

Existen métodos que se basan en tablas y gráficas, elaboradas, a base de la experiencia, por constructores que han requerido de elaborar concreto en la misma obra. Aún en las Premezcladoras se utilizan tablas de referencia a diferentes resistencias, diferentes características de agregados, diferentes revenimientos y otros.

El método más empleado y aceptado universalmente es el del ACI (del American Concrete Institute) publicado en 1954 y que ha tenido sus respectivas actualizaciones. A grandes rasgos este criterio para diseño de mezclas de concreto tiene el siguiente procedimiento:

Se obtienen previamente los siguientes datos:

- La granulometría de los agregados.
- Peso unitario de la grava.
- Densidades, absorciones y humedades (al momento de aplicarse) de los agregados.
- Requerimiento de agua, determinado por la experiencia con los agregados disponibles Ver tabla T.I.3.1.
- Las relaciones de resistencia - agua/cemento TABLA T.I.3.2.

PASO 1.- Se selecciona el revenimiento según la estructura, ver TABLA T.I.3.3.

PASO 2.- Se selecciona el tamaño máximo del agregado (TMA).

PASO 3.- Se estima el agua de mezclado y el ctdo. de aire. ver TABLA T.I.3.1

PASO 4.- Según la resistencia requerida seleccionar la relación agua/cemento ver TABLA T.I.3.2.

PASO 5.- Cálculo del contenido de cemento: PASO 3/PASO 4 .

PASO 6.- Estimación del contenido de gravas: (T.I.3.4.)

PASO 7.- Estimación del contenido de arenas:

a) Por volumen absoluto: Transformar los pesos obtenidos, de los demás materiales, por m^3 , al volumen que ocupan, dividiendo entre su densidad correspondiente, se suman estos y el resultado se resta del metro cúbico, la diferencia es el volumen de arena, que, multiplicado por su densidad, nos da el peso.

b) Por peso.- Cuando se puede estimar por experiencia suponer el peso unitario del concreto, el peso requerido de arena será la diferencia de este peso y la suma de los pesos de otros materiales.

PASO 8.- Ajustes por humedad de los agregados.

PASO 9.- Ajustes de la mezcla tentativa:

La mezcla calculada se debe verificar por medio de revolturas tentativas, preparadas y ensayadas según la norma ASTM C-192 o con revolturas de campo a escala natural, se debe ajustar el agua a dar sólo el revenimiento requerido; aumentar o restar en $2kg/m^3$ por cada cm. faltante o sobrante del revenimiento. Cuidar que la mezcla conserve una manejabilidad libre de segregación.

Una vez hechos los ajustes necesarios, se dosifica una nueva mezcla, procediendo desde el paso 4, modificando el volumen de gravas de la tabla T.I.3.4, si es necesario, para obtener la manejabilidad adecuada.

T.I.3.1.

CANTIDAD APROXIMADA DE AGUA DE MEZCLADO,
PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS Y TMA.

Revenimiento cm	Agua en kg\m ³ , para los tamaños máximos de agregados indicados:						
	3\8" 10mm	1\2" 13mm	3\4" 20mm	1" 25mm	1 1\2" 40mm	2" 50mm	3" 75mm
	concreto sin aire incluido						
3 - 5	205	200	185	180	160	155	145
8 - 10	225	215	200	195	175	170	160
15 - 18	240	230	210	205	185	180	170
ctdo. de aire %	3	2.5	3	1.5	1	0.5	0.3
	concreto con aire incluido						
3 - 5	180	175	165	160	145	140	135
8 - 10	200	190	180	175	160	155	150
15 - 18	215	205	190	185	170	165	160
ctdo. de aire %	8	7	6	5	4.5	4	3.5

T.I.3.2.

CORRESPONDENCIA DE RESISTENCIA
vs. RELACION AGUA\CEMENTO

Resistencia a compresión a 28 días kg\cm ²	Relación Agua\Cemento (en peso)	
	con aire incluido	sin 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

T.I.3.3. REVENIMIENTOS RECOMENDADOS PARA VARIOS TIPOS DE CONSTRUCCION

TIPO DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO, cm.	
	Máximo	Mínimo
- Muros y zapatas de cimentaciones reforzadas	8	2
- Muros, zapatas y cajones de cimentaciones sin refuerzo	8	2
- Vigas y muros reforzados	10	2
- Columnas de edificios	10	2
- Pavimentos y losas	8	2
- Construcción pesada de concreto masivo	8	2

revenimientos recomendados para concreto compactado por vibración

T.I.3.4 VOLUMEN DE GRAVAS POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO

tamaño máximo de la grava	VOLUMEN DE GRAVA COMPACTADO, POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO, PARA DIFERENTES MODULOS DE FINURA DE ARENAS:						
	pulg.	mm	m.f. =)	2.40	2.60	2.80	3.00
3\8	10		0.50	0.48	0.46	0.44	
1\2	13		0.59	0.57	0.55	0.53	
3\4	20		0.66	0.64	0.62	0.60	
1	25		0.71	0.69	0.67	0.65	
1 1\2	40		0.75	0.72	0.71	0.69	
2	50		0.78	0.76	0.74	0.72	
3	75		0.82	0.80	0.78	0.76	

Además existen otros métodos con diferentes bases, buscando el mismo fin, por ejemplo métodos como el de mezcla húmeda* mezcla seca*, procedimiento empirico, etc.

* Como referencia estos métodos se explican en el libro: Manual del concreto - tomo I - de la S.R.M.

1.4. Importancia del estudio de nuevos metodos de disenno

Aún cuando se cuenta con métodos para diseños de mezclas de concreto, como los descritos anteriormente, todos ellos tienen el inconveniente de que se necesitan realizar ajustes, y luego ajustes de ajustes de mezclas tentativas, estos ajustes no tendrían tanto problema, si fuera un ajuste "al instante" o para muchos años, pero como son ajustes de carácter verificativo, requieren de mayor inversión en tiempo, dinero y esfuerzo para poder llegar a una mezcla óptima y confiable. Además de que los parámetros de diseño no se conservan constantes por largos periodos de tiempo, sino que, por el contrario, las características de los agregados cambian a cada momento, pues ya que de hecho se cambia el uso de un cierto agregado por otro; la calidad del cemento varía por periodos, pues depende de los bancos de materia prima, de las temperaturas en los hornos, del tiempo de molienda, etc.

Es por ello que se ha querido:

- RECOPIAR las experiencias de muchos años en el campo del concreto.
- ESTUDIAR las características de los diferentes materiales constitutivos de este producto.
- INVESTIGAR comportamientos de: las relaciones agua/cemento - resistencia a compresión y flexión, del uso de aditivos, relaciones grava\arena-tipos de agregados, etc., para poder llegar a un METODO NUMERICO que nos conduzca a un diseño que contemple la mayor parte de los parámetros que intervienen, y que nos lleve a cumplir los requisitos que exige un BUEN CONCRETO, es decir, obtener un diseño óptimo para una mezcla en particular, lo cual pretende ser de gran utilidad sobre todo al campo de la industria del concreto PREMEZCLADO, que es en donde se ponen de manifiesto todas las variaciones de que se ha hablado y es donde más se requiere un BUEN CONCRETO dado que es, mediante esta industria, como se generará el mayor porcentaje del concreto utilizado en las obras de todos tipos y tamaños, pero principalmente en las grandes obras del país.

CAPITULO II

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

CAPITULO II

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL CONCRETO

II.1.- Materiales del concreto.

"El CONCRETO es la mezcla homogénea de cemento hidráulico, agregado fino y grueso, agua y aditivo en su caso, en proporciones definidas, el cual, en una primera etapa (algunas horas) se encuentra en estado plástico no endurecido y por lo tanto manejable y moldeable y, en la segunda etapa se endurece y forma una masa sólida que alcanza su máxima resistencia mecánica a los 28 días".

En la definición anterior podemos observar que son 5 los elementos del concreto:

- CEMENTO
- AGREGADO FINO O "ARENA"
- AGREGADO GRUESO O "GRAVA"
- AGUA
- ADITIVOS

Hay quienes cuentan al aire como un elemento mas, por considerar que el contenido del mismo en mayor o menor porcentaje, influye en las características del producto en sus dos etapas:

En la primera etapa, a mayor contenido de aire incluido, es mayor la trabajabilidad.

En la segunda etapa, a mayor contenido de aire incluido, será mayor la protección contra agrietamiento en zonas de heladas, pero se deteriora la resistencia mecánica.

En ocasiones se ha hablado de que se puede hacer concreto con fibras sintéticas, fibra de vidrio, desechos sólidos industriales, como ciertos metales, etc. pero muchas veces estos elementos se tratan como ADITIVOS o se habla de concretos "muy especiales", lo cual no es nuestro caso.

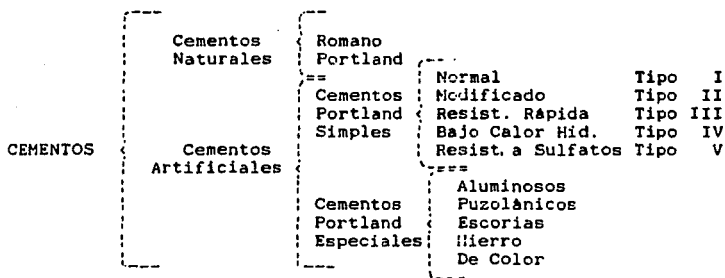
A continuación se presenta una descripción y características de cada uno de los materiales principales, ya citados al principio:

II.2.- Cemento

Definición: La A.S.T.M. (American for Testing and Materials) dá una definición de Cemento Portland Artificial, la cual es universalmente aceptada:

"Cemento Portland es el producto obtenido por molienda fina de clinker producido por calinación hasta la temperatura de fusión incipiente, de una mezcla íntima, rigurosa y homogénea de materiales arcillosos y calcáreos, sin adición posterior a la calcinación excepto yeso calcinado o no y en cantidad no mayor que el 3%"

Se ha dado en clasificar al cemento de varias formas, el cuadro C.II.2.1 muestra una forma:



Cuadro C.II.2.1. Clasificación de cementos

Las características de un cemento y otro, estarán dadas según la variación de sus principales componentes.

PRINCIPALES COMPONENTES DEL CEMENTO

	fórmula simplificada
Silicato Tricálcico	C_3S
Silicato Dicálcico	C_2S
Aluminato Tricálcico	C_3A
Ferro Aluminato Tetracálcico	C_4AF

Estos elementos constituyen alrededor del 90% del cemento.

Las principales Materias Primas que se requieren para la elaboración de un Cemento Portland como ya se dijo son:

- 1.- Materiales Calcáreos (Caliza o Margo)
- 2.- Materiales Arcillosos (Barro o Pizarra)
- 3.- Yeso

Los primeros proporcionan cal, los Arcillosos: sílice, alúmina y óxidos de hierro, por último el yeso será responsable del tiempo de fraguado.

Para el caso de cementos especiales, habrá necesidad de dosificar materiales como: material silíceo, cuarzo, arena, cenizas, escorias de alto horno, etc. Estos materiales y la cantidad a dosificar, dependerán primordialmente de las propiedades que se quiere tenga el cemento especial por fabricar.

La elaboración de 1 ton. de cemento requerirá, en promedio, las siguientes cantidades de materia prima.

Caliza	1,200 kg.
Arcilla	370 kg.
Yeso	60 kg.

Decíamos que el 90% del cemento lo constituyen el C_3S , el C_2S , el C_3A y el C_4AF , el otro 10% lo constituyen elementos como: yeso, cal libre, magnesio, álcalis, etc.

La función de cada uno de los componentes mencionados se puede resumir como sigue:

C_3S Silicato tricálcico.- De éste elemento dependen las resistencias que se obtengan hasta los 28 días aproximadamente.

C_2S Silicato Dicálcico.- De éste dependerán las resistencias que se obtengan a partir de los 28 días.

C_3A Aluminato tricálcico.- Es el elemento que más calor genera en el cemento. De éste dependen las variaciones del volumen del cemento y la formación de grietas. Este elemento es el más vulnerable al ataque de los sulfatos.

C_4AF FerroAluminato retracálcico.- Ayuda a acelerar la hidratación en el concreto.

SO_4Ca Yeso.- Regula la acción química entre el cemento y el agua y controla el tiempo de fraguado.

Pero aun cuando quimica y fisicamente se puede dar la variedad de tipos de cemento, en nuestro medio las "Políticas" de producción estan enfocadas a que una misma planta o fábrica de cemento elabore cemento sólo de un cierto tipo, siendo los más comunes, el cemento Tipo I o NORMAL, el Tipo II o MODIFICADO y el BLANCO, ya que resulta más factible técnica y económicamente la elaboración de un sólo producto en forma constante, ya que un cambio de tipo de cemento en una misma Planta, implica, modificaciones en el sistema de fabricación, como lo son los ajustes de las cantidades de materia prima, lo cual complica el control de calidad de producto.

De ahí que en las Plantas de Concreto Premezclado se utilice más comunmente, el cemento Tipo I o el Tipo II.

Ya sea que se emplee uno u otro tipo de cemento durante la producción de concreto, es indispensable conocer la calidad del mismo, pues sucede que, aun cuando haya un buen control de calidad en las fábricas productoras de cemento, la calidad de este elemento varia de un día a otro, de un lote a otro. La principal causa de estas variaciones son; el comportamiento químico de sus componentes y las propiedades físicas del material terminado como son : la finura, la sanidad, el tiempo de fraguado, la resistencia a compresión, el falso fraguado, el calor de hidratación, etc.

Breve resumen de las propiedades físicas:

- 1.- FINURA: A mayor finura, la velocidad de hidratación del cemento se incrementará y el calor se generará más rápidamente, en consecuencia la resistencia inicial será mayor, aunque si se tratara del mismo cemento, en cuanto a su composición química, pero que fuera más grueso, a edades posteriores la resistencia sería mayor.

Por otro lado, moler partículas de cemento hasta obtener mayor finura representa un costo considerable; Además, cuanto más fino sea un cemento, se deteriorará con mayor rapidez por la atmósfera. Los cementos más finos experimentan una reacción más fuerte con los agregados reactivos alcalinos y forman una pasta, aunque no necesariamente de concreto, con mayor contracción y más susceptible al agrietamiento, sin embargo un cemento fino sangra menos que uno más grueso.

- 2.- SANIDAD: Sanidad es la propiedad que tiene una pasta de cemento fraguado a permanecer constante en sus dimensiones.
- 3.- FRAGUADO FALSO: Es un fenómeno que se presenta a pocos minutos de que el cemento hace contacto con el agua, y consiste en el endurecimiento casi inmediato de la mezcla, al presentarse este

fenomeno, es recomendable dejar reposar la mezcla durante 5 minutos y volver a remezclar.

El fraguado falso afecta al concreto con los siguientes efectos:

- a) se requerirá más agua en la mezcla
- b) consecuentemente la resistencia disminuirá
- c) la cohesión entre agregados o entre el acero de refuerzo y el concreto se reducirá
- d) existirá mayor tendencia al agrietamiento.

4.-CALOR DE HIDRATACION: a la reacción química del cemento y el agua se le llama hidratación. La hidratación produce una cantidad considerable de calor, al cual se le denomina calor de hidratación, este es de fundamental importancia y es proporcional al volumen de concreto colocado, por ello en grandes masas de concreto, la hidratación puede alcanzar altas temperaturas; los efectos se traducirán en serios agrietamientos debido a contracciones.

5.- RESISTENCIA A COMPRESION: Es la prueba que más nos dice acerca de la calidad del cemento. Para definir dicha calidad, se establecieron los rangos de resistencia a la compresión en cubos estándar a los 28 días, como se muestra en la tabla T.II.2.1.

CALIFICACION DE LA CALIDAD DEL CEMENTO			
a).	EXCELENTE	350	$< F_{cem}$
b).	MUY BUENO	336	$< F_{cem} < 350 \text{ kg/cm}^2$
c).	BUENO	321	$< F_{cem} < 335$ "
d).	MEDIO	306	$< F_{cem} < 320$ "
e).	REGULAR	291	$< F_{cem} < 305$ "
f).	MALO	276	$< F_{cem} < 290$ "

tabla T.II.2.1

La importancia de un cemento de mejor calidad es que se requerirá menos cantidad de este material, en una mezcla de concreto para proporcionar una resistencia requerida, que si se usara un cemento de más baja calidad aunque el costo fuera el mismo, lo que significa un beneficio económico.

II.3.- Los agregados

Anteriormente los agregados eran tratados solo como materiales para aumentar el volumen y reducir el costo del concreto y se le asignaba a la pasta de cemento la responsabilidad del comportamiento del producto. Pero actualmente los agregados han adquirido la categoría de materiales de construcción, cuyas propiedades físicas y químicas normalmente influyen en el comportamiento del concreto desde su fabricación hasta el término de su vida útil.

Clases de agregados

Los agregados para concreto consisten en partículas de roca cuyas dimensiones varían desde unas micras hasta el tamaño máximo permitido o especificado.

La primera clasificación de los agregados es de acuerdo a su tamaño:

Agregado Fino (arena) es la fracción compuesta por partículas que pasan a través de la malla No.4, que tiene una abertura libre de 4.76 mm.

Agregado Grueso (grava) es la fracción retenida en la malla No.4.

Otra clasificación es la que se refiere al origen de la fragmentación de las partículas de roca; así, hay agregados naturales y manufacturados.

Finalmente, es común clasificar a los agregados de acuerdo con su forma de partículas; desde los naturales de formas muy redondeadas y superficies muy lisas, hasta los fragmentos manufacturados de formas muy angulosas, con aristas vivas y superficies ásperas.

Se considera que los agregados naturales son más ventajosos que los manufacturados por su obtención más fácil, procesamiento más sencillo, instalaciones menos costosas, producto más económico, menores riesgos de producir agregados de mala calidad y partículas con forma y superficies más convenientes, etc., aunque hay excepciones.

Naturaleza de las rocas.

Los agregados, ya sea naturales o manufacturados, proceden de rocas que, según su origen, se clasifican en 3 grupos principales:

- a) Rocas Igneas: producidas por solidificación a partir de un estado de fusión, por lo general ofrecen muy diversas propiedades físicas (densidad, dureza y resistencia), excepto las tobas y escorias volcánicas que son porosas y de escasa resistencia.
- b) Rocas Sedimentarias: formadas por sedimentos transportados por agua, aire, hielo o gravedad, la hay de todos tipos en cuanto a su características (densidad, dureza, etc.). predominan las areniscas y calizas que cuando son duras y densas, suministran buenos agregados. En cambio, las lutitas son vistas con desconfianza.
- c) Rocas Metamórficas: proceden de rocas ígneas o sedimentarias modificadas por condiciones de presión y temperatura, entre estas también hay gran variedad de características. El cuarzo casi siempre es de buena calidad, pero las pizarras normalmente son de calidad dudosa.

La tabla T.II.3.1. muestra una clasificación general de las rocas.

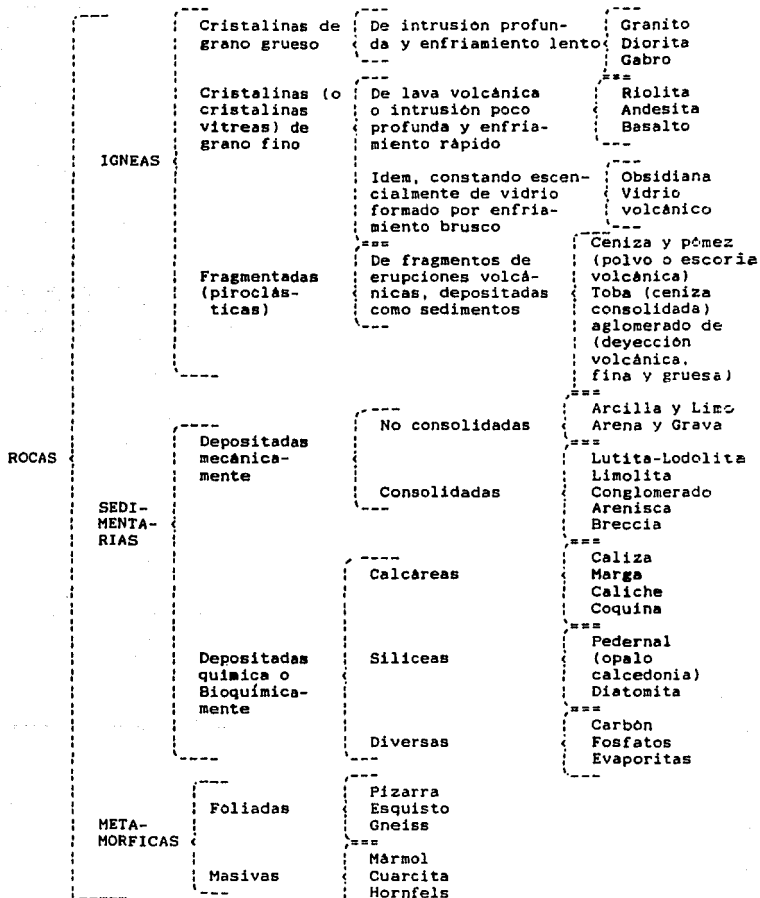
Características físicas de los agregados

a) Composición granulométrica.- Es la característica que resulta de la distribución de los tamaños de las partículas que lo constituyen. Este rasgo tiene una influencia notable en el comportamiento de las mezclas de concreto en estado fresco. Esta composición denominada "granulometría" se determina separando el material por medio de mallas con aberturas cuadradas, de dimensiones establecidas. De este "análisis granulométrico" se obtienen:

- Proporción de arena y grava
- Granulometría de la arena
- Granulometría de la grava
- Tamaño máximo de las partículas.

La proporción de arena y grava se obtiene separando en 2 fracciones el material, empleando la malla no.4 (4.76 mm.). Ahora bien, si partimos de que ya tenemos definidas nuestras fracciones de grava por un lado y arena por el otro, resultará entonces que, según procedimientos de obtención, clasificación, acarreo y manejo de los agregados, la grava podrá contener partículas que pasan de la malla no.4, es decir, tenemos contaminación de Arena en Grava, así como que la arena puede contener partículas que se retienen en la malla no.4, siendo esto contaminación de Grava en la Arena.

TABLA T.II.3.1 CLASIFICACION GENERAL DE LAS ROCAS



Para efecto de un diseño de mezclas, es importante cuantificar las contaminaciones en los agregados correspondientemente, como un porcentaje del peso total: para proceder a hacer las correcciones apropiadas, como ya se verá en su oportunidad en el desarrollo del método numérico del capítulo IV.

La granulometría de la arena, se determina separándola en fracciones usando como es común en el medio nacional, la serie de mallas u.s. standard, cuyas denominaciones y aberturas libres, en milímetros son:

MALLA	ABERTURA LIBRE (mm.)
No. 4	4.76 C. de Gr.en Ar.
8	2.38
16	1.19
30	0.595
50	0.297
100	0.100
CH	0.00

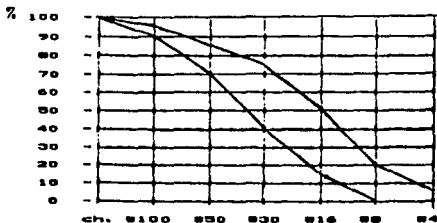
Los resultados de estas determinaciones se resumen en el dato de módulo de finura de la arena (m.f.a), que es igual a la suma de los porcentajes acumulados en las mallas 8,16,30,50 y 100, dividida entre 100, y con ello se puede clasificar a la arena como se ve en la tabla T.II.3.2.

m.f.a.	clasificación
< 2.0	muy fina
2.0 - 2.0	fina
2.3 - 2.6	medio fina
2.6 - 2.9	media
2.9 - 3.2	medio gruesa
3.2 - 3.5	gruesa
3.5 <	Muy gruesa

Siendo aceptables como arenas para concreto, las que presentan módulos de finura entre 2.3 y 3.2, las arenas finas y gruesas deben emplearse mediante ensayos previos y las muy finas o muy gruesas resultan objetables para esta aplicación.

Pero muchas veces, el dato de módulo de finura no basta para definir la aptitud granulométrica en la arena, siendo necesario, y útil, comparar los porcentajes parciales y acumulados, retenidos en cada malla, contra límites establecidos recomendados por la práctica, como los de la especificación ASTM C-33 figura F.II.3.2.

F.II.3.2. Límites recomendados en la granulometría de las arenas



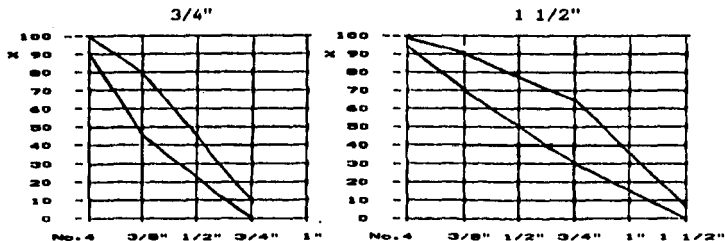
La granulometría de la grava también se determina separándola en fracciones con el uso de mallas estándar,

MALLA	ABERTURA LIBRE (mm)
2"	50.8
1 1/2"	38.1
1"	25.4
3/4"	19.0
1/2"	12.7
3/8"	9.51
No. 4	4.76
CH	0

« « « « C. de Ar en Gr.

Por lo que respecta a la grava, también puede calcularse el módulo de finura que, en este caso es igual a la suma de los porcentajes acumulados en cada una de las mallas desde la de mayor abertura (puediendo ser cualquiera, según el tamaño máximo del agregado) hasta la malla no.4 dividida entre 100 y sumándole cinco unidades para diferenciarla del de la arena.

Lo mismo que para la arena conviene comparar los retenidos acumulados contra límites establecidos, sólo que en este caso vamos a definir 2 tipos de límites según el tamaño máximo del Agregado (T.M.A.). fig. F.II.3.3.



F.II.3.3. Límites recomendados de granulometrías de gravas

Se considera como tamaño máximo el que corresponde a la abertura de la malla superior por donde pasarán todas las partículas.

Combinación de gravas y/o arenas

Puede suceder que el resultado de la granulometría del material analizado sea una curva que cae por encima o por debajo, es decir fuera, de los límites ya mencionados (este caso se presenta comunmente con el agregado de T.M.A. de 40 mm., en que la curva cae por arriba de los límites, indicando con ello que tenemos un material "grueso" y al que le hacen falta proporciones de agregado más fino para mejorar su granulometría y si nuestra intención es precisamente mejorar este rasgo, se presentan las siguientes alternativas:

- Cambiar de banco donde el material "salga" con mayor calidad en cuanto a esta característica.
- Mejorar o utilizar otro equipo de obtención de agregados.
- Recribar ajustando porcentajes.
- Conseguir un agregado de diferente granulometría del que ya se tiene de tal forma que si se combinan en ciertos porcentajes de uno y otro, nos dé como resultado un material de mejor distribución granulométrica.

Si se decide por lo último, lo cual es más común y factible y además provechoso, pues se utiliza un material ya disponible, una buena combinación o digamos la óptima será aquella que nos dé una curva granulométrica resultante que pase por el centroide del área comprendida entre los límites establecidos, es decir que corte al área total A_0 en 2 áreas iguales a_1 y a_2 , sea por donde sea que pase dicha curva resultante.

Por ejemplo suponiendo que se van a mezclar la grava x (gruesa) y la grava y (más fina) cuyas curvas granulométricas se muestran en la fig. F.II.3.4.a).

El método para lograr la combinación óptima consiste en:

- 1) proporcionar un determinado porcentaje de grava x (70%) y el complemento (30%) de grava y;
- 2) calcular y graficar la curva granulométrica (obteniendo los porcentajes retenidos acumulados) resultante.
- 3) calcular las áreas comprendidas entre esta nueva curva y cada uno de los límites a_1 y a_2 como se ve en la fig. F.II.3.4.b.

- 4) si las áreas a_1 y a_2 son iguales tomar esos porcentajes como buenos para después calcular los valores ponderados de densidad, absorción, m.f. etc. como se verá en el método de cálculo del capítulo IV;
- 5) si las áreas a_1 y a_2 no son iguales proporcionar otros porcentajes de cada material y repetir los pasos anteriores.

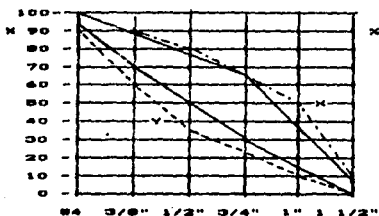
Repetir este proceso hasta que $a_1=a_2$ ver fig. F.II.3.4 c), d)

Las áreas se obtienen fácilmente ya que tenemos figuras geométricas bien definidas tomando la distancia entre malla y malla como la unidad (eje abscisas) y el valor de los porcentajes como alturas constantes (eje ordenadas).

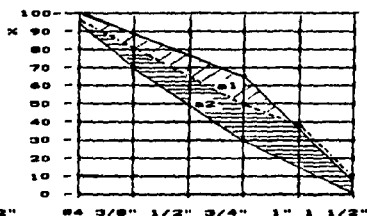
Este procedimiento se simplifica si se cuenta con un instrumento o herramienta de cálculo y se programa un método de aproximaciones sucesivas para finalmente llegar a los porcentajes óptimos con que se deben combinar cada una de las gravas y/o arenas.

F.II.3.4. a), b), c), d)

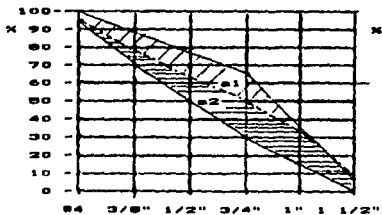
a) gravas X y Y



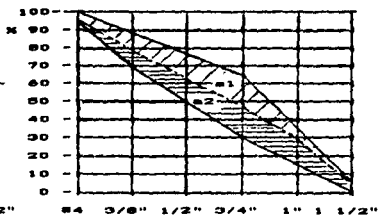
b) (70-30%) $a_1 < a_2$



c) (60-40%) $a_1 > a_2$



d) (54.7-45.3) $a_1 = a_2$



b) Densidad. En alguna literatura técnica extranjera a la densidad se le conoce como peso específico en masa o peso específico aparente, en condición saturada y superficialmente seca.

Según ASTM E 12 La densidad se define como la masa de un volumen unitario del material, a una temperatura especificada, donde, si el material es un sólido, el volumen debe ser de la porción impermeable.

Los agregados para concreto contienen vacíos permeables e impermeables; cuando un agregado se satura, el agua ocupa prácticamente todos los vacíos que son permeables, como esta cantidad de agua, llamada de absorción, no participa en la reacción con el cemento, se considera parte del agregado.

Para el diseño de mezclas de concreto y el cálculo de consumo de materiales en el concreto interesa conocer el volumen de cada uno de los elementos componentes, lo que resulta posible al conocer su densidad o peso específico aparente. En el caso de agregados, la determinación se hace por inmersión en agua con el material en condición saturada y superficialmente seca (sss), por ello el volumen considerado incluye los vacíos impermeables y permeables (estos últimos llenos de agua).

El peso específico aparente. (P.E.A.) de los agregados no siempre es un buen índice de su calidad; de ahí que no se acostumbre limitarlo en especificaciones, excepto en el caso de estructuras en que el peso del concreto es importante. Sin embargo, un descenso significativo en el P.E.A. de agregados que provienen de un mismo origen puede ser síntoma de baja calidad que conviene investigar.

La tabla T.II.3.3. incluye valores de pesos específicos que son comunes en agregados que se utilizan en concretos para usos diversos.

CLASE DE ROCA	P.E.A.	APLICACION
Pómez	1.2 - 1.8	concreto ligero
Escoria volc.	1.6 - 2.2	
Caliza	2.3 - 2.8	concreto normal
Arenisca	2.3 - 2.6	
Cuarzo	2.4 - 2.6	
Granito	2.4 - 2.7	
Andesita	2.4 - 2.7	
Basalto	2.5 - 2.9	
Limonita	3.0 - 3.8	concreto pesado
Barita	4.0 - 4.5	
Magnesita	4.5 - 5.0	

tabla T.II.3.3 Usos de Rocas de diferentes densidades.

c) Absorción. Esta característica suele depender del tamaño del agregado, de su continuidad y de la cantidad total de vacíos permeables que contienen. Igual que la densidad, la absorción no es una característica que sea definitiva para calificar a los agregados, si bien a mayor absorción (en nuestro método consideramos después del 5%) se considera normalmente menor calidad.

Distinción de agua de absorción y contenido de humedad en los agregados

El agua de absorción corresponde a la que un agregado es capaz de absorber por inmersión durante 24 horas sin contar el agua superficial, o sea en la condición saturado y superficialmente seco (sss).

El contenido de humedad corresponde a la cantidad total de agua que contiene un agregado en un momento dado, puede ser menor o mayor que la absorción. En el primer caso se dice que el agregado está subsaturado y en el segundo, sobresaturado.

Si un agregado al emplearse está subsaturado, se supone que tiene capacidad para absorber agua del concreto y, si está sobresaturado, que es capaz de ceder agua. Para estimación de los consumos en ambos casos, se considera que, antes que el concreto fragüe, los agregados absorben o ceden el agua faltante o excedente para quedar teóricamente en la condición sss, en que solo contienen su agua de absorción.

$$\text{La absorción se calcula como } \% \text{ ABS} = \frac{(P_{sss} - P_s) \cdot 100}{P_s}$$

donde: P_{sss} ; Peso material saturado y superficialmente seco.
 P_s ; Peso del material totalmente seco.

d) Sanidad. La sanidad de los agregados define su aptitud para resistir y permanecer inalterables bajo condiciones de servicio que generan acciones destructivas promovidas por cambios de volumen en el concreto de que forman parte, como efectos de congelación y deshielo, periodos alternados de humedecimiento, secado y variaciones extremas de temperatura. Sólo por referencia se menciona que existe una prueba que mide esa aptitud de los agregados y se denomina intemperismo acelerado.

e) Sustancias deletéreas. Son las sustancias que estando presentes en los agregados pueden ser perjudiciales para la obtención de propiedades físicas o químicas en el concreto fresco o en su comportamiento posterior:

- Materiales muy finos; son tres formas: arcilla, limo y polvo de trituración que a pesar de ser indeseables, se toleran en cierta proporción. Los efectos pueden ser: aumento en el requerimiento de agua del concreto (consecuencias: disminución de resistencia y aumento de contracción), o bien, interferencia con la adherencia entre agregado y pasta, o con el proceso de hidratación del cemento. Se cuantifican por el tamizado por la malla 200 ó, en el caso de la arcilla en la arena, con la prueba del equivalente de arena.

La Norma Oficial Mexicana N.O.M. C-111 permite las siguientes cantidades de materiales más finos que la malla No. 200 (en % máximo): (ver tabla T.II.3.5.)

Agregado	a) concreto expuesto a la abrasión	b) concreto no expuesto a la abrasión
Arena natural	3	5
Arena triturada	5	7
Grava natural	1	1
Grava triturada	1.5	1.5

tabla T.II.3.5.

-Impurezas orgánicas: Algunos tipos de materia orgánica pueden causar interferencia en la hidratación normal del cemento. La presencia de estas impurezas es más frecuente y difícil de eliminar en la arena que en la grava, de ahí que las pruebas usuales de cuantificación se hagan en la arena, siendo la más común la prueba de la colorimetría.

- Partículas suaves, desmenuzables y ligeras. Aquí se agrupan todas las partículas que por su escasa resistencia pueden constituir una limitación para la resistencia y durabilidad del concreto, o bien partículas que al no deshacerse durante el mezclado del concreto pueden producir elementos perjudiciales.

Las partículas suaves se detectan principalmente en la grava donde sus efectos son más notables. Las partículas desmenuzables son generalmente terrones de arcilla encontrados en la grava o en la arena, los más perjudiciales son aquellos que no se rompen en el mezclado y después ocasionan problemas al concreto endurecido, se le limitó con mucha rigidez (1% máximo) y se cuantifican por lavado en la malla 200.

f) Forma y textura de partículas. Estas características, poco atendidas, de los agregados suelen influir en el comportamiento del concreto fresco y endurecido, en la

manejabilidad o trabajabilidad y en la adherencia posterior, respectivamente.

Hay ocasiones en que las partículas trituradas muy alargadas y las excesivamente esféricas son igualmente indeseables: las primeras por sus efectos adversos sobre la manejabilidad del concreto y las segundas porque por falta de adherencia limitan la posibilidad de obtener resistencias muy altas. En ambos casos, los agregados son susceptibles de mejorarse: en el primero, seleccionando un equipo adecuado de trituración acorde con las características de la roca y en el segundo, triturando una determinada proporción de las partículas para obtener un agregado mixto.

Si definimos al coeficiente de forma como: La relación entre el volumen de un fragmento de roca (v) cuya dimensión mayor es "L" y el volumen de una esfera (V) cuyo diámetro sea también "L".



$$c.f. = v/V = 6v/(L^3 \cdot \pi)$$

Tendremos la siguiente tabla T.II.3.6.a)

De forma práctica para nuestro método de diseño de mezclas clasificamos como:

C.F.	Forma	C.F.	Tipo grava
1	Esférico	> 0.36	Canto rodado
2	Cúbico	0.31 - 0.35	Natural
$\frac{2}{\pi} \cdot 3$		0.26 - 0.30	Semitriturada
1	Tetraedro regular	0.21 - 0.25	Triturada
$\frac{1}{\pi} \cdot 2$		0.15 - 0.20	Triturada Angulosa
0.07	Lajas *		
0.01	Agujas *		

tabla T.II3.6.b)

- * Prohibidos por las normas de calidad de agregados

g) Resistencia. No se acostumbra establecer un procedimiento para determinar la resistencia del agregado, pues existe dificultad para medir con certeza esta característica, sobre todo cuando se trata de partículas pequeñas y el material es heterogéneo, se prefiere atenerse a la información que

suministra el ensaye de especimenes de concreto hechos con los agregdos en cuestión. Afortunadamente la mayoría de las rocas que constituyen los agregados para concreto manifiestan resistencias a compresión de un orden muy superior al que se requiere en el concreto (pensemos en 500 kg./cm²).

Como información se incluyen datos de resistencias a compresión, aproximadas, de algunos tipos de rocas tabla T.II.3.7

Tipo de roca	fc max. kg/cm ²	fc min. kg/cm ²	fc prom. de varias muestras
-Granito	2622	1167	1842
-Basalto	-	-	2000
-Felsita	5365	1223	3304
-Trapa	3846	2053	2890
-Caliza	2454	949	1617
-Arenisca	2447	450	1336
-Mármol	2489	520	1188
-Cuarcita	4310	1265	2566
-Gneis	2397	956	1498
-Esquistó	3030	928	1730

tabla T.II.3.7 Resistencias a compresión de rocas

Existen, además, otras características físicas como son:

- Expansión térmica que es la aptitud de experimentar cambios de volumen por variaciones de temperatura. Y se mide por el coeficiente de expansión térmica, dado en millonésimas entre grados centígrados algunos ejemplos son los mostrados en la tabla T.II.3.8.

ROCAS	Coefficiente de expansión térmica (10 ⁻⁶ /°C)
Basalto	5.4
Mármol	7.0
Caliza	7.9
Granito	7.9
Arenisca	10.0
Cuarcita	10.5

tabla T.II.3.8.

- Resistencia a la abrasión. Esta característica se considera importante cuando el concreto estará expuesto a cualquier acción que produzca desgaste o erosión y se determina con ensayos como el de la máquina de los Angeles.

- Elasticidad. La capacidad de un material para deformarse bajo carga progresiva y recuperarse en la descarga, se expresa por medio del módulo de elasticidad, el cual puede ser a tensión o compresión y estático o dinámico. En el caso de rocas para agregados se aplica el módulo de elasticidad estático a compresión determinándolo con la técnica usual (N.C.M.) labrando especímenes de roca o bien embebiendo las partículas en una matriz de propiedades conocidas.

Por último cabe mencionar algo sobre CARACTERISTICAS QUIMICAS; se puede decir que los agregados para concreto guardan una buena estabilidad física y química dado que han resistido edades geológicas, pero existen diversos agregados que pueden manifestar cambios o conducir a reacciones químicas con la pasta de cemento y afectar el comportamiento del concreto; existen 2 casos que son los más conocidos y mencionados por su frecuencia, en los que interviene el ataque de soluciones alcalinas derivadas de la hidratación del cemento, hacia 2 clases de agregados; algunas rocas silíceas y ciertas calizas dolomíticas. En el primer caso se trata de una reacción Alkali-silice y en segundo Alkali - carbonato.

Como todas las características y propiedades de los agregados influyen en el concreto fresco y/o endurecido, como se resume en la tabla II.3.8, y dado que algunas pueden influir negativamente, se justifican todos los estudios que se hagan para seleccionar adecuadamente los agregados.

TABLA T.II.3.9

Propiedades del concreto influenciadas por los agregados.

Propiedad del concreto	Propiedad el agregado
Durabilidad	Sanidad Porosidad, Permeabilidad, Estructura interna Grado de saturación Resistencia a tensión Forma y textura Limpieza, presencia de acilla
Resistencia a humedecimiento y secado	Estructura interna Módulo de elasticidad
Resistencia a calentamiento y enfriado	Coefficiente de expansión térmica
Resistencia a la abrasión	Dureza
Reacción álcalis-silice Reacción álcalis-carbonato	Presencia de mineral reactivo Presencia de mineral activo
Resistencia a compresión	Resistencia a compresión Textura y Forma Limpieza Tamaño máximo
Peso unitario	Peso específico Forma Granulometría Tamaño máximo
Módulo de Elasticidad	Módulo de elasticidad Relacion de Poisson
Economía	Forma Granulometría Tamaño máximo Procesamiento requerido Disponibilidad
Impermeabilidad	Porosidad Sanidad Peso específico Granulometría Estructura interna Tamaño máximo Limpieza Textura

II.4.- Aditivos

Un aditivo es un producto o un material aparte del cemento, agregados y agua que se le adiciona al concreto para inducir un comportamiento requerido por éste ya sea en estado fresco y/o endurecido, el cual no se puede conseguir con los materiales mencionados disponibles o se logra a un costo muy elevado.

Existe en el mercado un gran número de productos recomendados como aditivos para concreto. Algunos producen efectos más o menos proporcionales a las cantidades que se emplean, otros no. Además un aditivo puede manifestar efectos secundarios que no siempre son deseables, de aquí surge la conveniencia de recomendar el ensaye de cualquier aditivo antes de su aplicación en obra.

A continuación se muestra una relación de los aditivos más comunes, describiendo el objeto de su aplicación:

Acelerantes.- Aceleración del tiempo de fraguado y/o de la velocidad de adquisición de resistencia en las primeras edades.

Retardantes.- Retardado del tiempo de fraguado.

Fluidizantes.- Reducción del agua de mezclado (aumento de la resistencia, o aumento de la fluidez, o reducción en el contenido de cemento).

De este aditivo hablaré más ya que es el que más se emplea en el medio de la industria del concreto premezclado y de hecho es aplicable en forma sistemática en el concreto, como se podrá apreciar en el desarrollo de nuestro método de diseño de Mezclas del Capítulo IV, donde se explica como se realizan correcciones (ahorros) de cemento en caso de emplearse un aditivo de este tipo y de acuerdo con su calidad.

Existen sustancias químicas que, al ser adicionadas a una mezcla de concreto fresco, incrementan su fluidez como si aumentara el contenido de agua. Por ello, como permiten incrementar la fluidez sin aumentar el agua, se les llama fluidizantes o también llamados reductores de agua por considerar que permiten tener una fluidez dada con menor cantidad de agua.

De tal modo, esos efectos se canalizan hacia tres finalidades principales:

- a) Incrementar la fluidez de la mezcla, sin aumentar el agua, o sea, dejando constantes la cantidad de pasta de cemento y su relación w/c, con lo cual no debe haber cambio en el consumo de cemento y en la resistencia a compresión.
- b) Conservar la misma fluidez, reduciendo el agua sin variar el contenido de cemento (menor rel. w/c), en cuyo caso debe aumentar la resistencia a compresión sin incrementar el consumo de cemento.
- c) Conservar la misma fluidez, reduciendo el agua y el cemento, de modo que se mantenga igual la rel. w/c, para conservar aproximadamente la misma resistencia, con un menor consumo de cemento.

Las principales sustancias que se utilizan en la actualidad para estos propósitos son los ácidos lignosulfónicos o sus sales y los ácidos hidroxilcarboxílicos o sus sales, su acción consiste en una combinación de efectos físico-químicos sobre partículas de cemento, entre los que destacan los efectos humectantes, lubricantes y de dispersión, mediante los cuales las partículas adquieren más movilidad y se expone a la hidratación mayor área superficial de cemento.

Inclusor de aire. - Aumento de la durabilidad en condiciones de congelación y deshielo, aumento de la manejabilidad, reducción del agua y sangrado máximo 6%.

Estabilizadores de volumen. - Producción de una expansión ajustada para contrarrestar la contracción y obtener un volumen estabilizado en espacios abiertos.

Expansores. - Producción de una expansión incrementada para favorecer el empaque a presión en espacios confinados o para reducir el peso volumétrico (expansión libre).

Puzolanas. - Fijación de la cal liberada durante la hidratación del cemento, aumento de la manejabilidad, reducción del agua de sangrado y control de la expansión Alkali - agregado.

II.5.- Agua

Normalmente, las fuentes de agua que se encuentran al alcance para la fabricación del concreto son aceptables, pero en general se recomienda que toda agua que no haya sido aprobada previamente, se someta a un análisis comparativo de laboratorio, que consistirá en hacer ensayos de fraguado y resistencia a compresión con los materiales que se van a emplear; una serie con el agua por probar y otra con agua previamente aceptada (puede ser agua destilada); el fraguado inicial no deberá variar considerablemente y la resistencia a compresión a la edad de 28 días, deberá ser mayor que el 90% de la obtenida con los especímenes hechos con el agua aceptada.

Como guía para la selección del agua de mezclado apropiada se recomienda lo siguiente:

- a) Las aguas potables de las ciudades están aceptadas para su empleo en el concreto. Salvo aquellos casos en que el contenido de cloro sea extraordinariamente grande, debido a que ayuda a la corrosión excesiva del acero.
- b) Una agua clara, que no tenga sabor salado ni mal olor, es adecuado para el concreto. La materia en suspensión puede perjudicar al concreto.
- c) El azúcar es una de las sustancias más perjudiciales al concreto. Un 0.03% a 0.15% de azúcar respecto al peso del cemento, generalmente retarda el fraguado y puede reducir las resistencias a la edad de 7 días aunque, a los 28 días, las puede mejorar.

Para el abastecimiento de agua es frecuente disponer de tanques de almacenamiento que regulen el suministro y permitan, en algunos casos, la sedimentación de elementos en suspensión y eliminación de cuerpos flotantes. Es necesaria la limpieza periódica de estos tanques para eliminar el material depositado, resultando preferible disponer de varios tanques menores en vez de uno de mayor capacidad, pues de este modo se facilita la renovación total del agua cuando permanezca algunos días sin emplearse y sus características pudieran haberse modificado por la evaporación.

En ocasiones, mediante las pruebas necesarias, y no existiendo otra fuente disponible, se admite el uso de un agua que en condiciones normales se vería con desconfianza (agua de mar y aguas freáticas en terrenos salinos, por ejemplo). En estos casos, la excesiva evaporación, en un

cierto volumen de agua almacenado, puede aumentar considerablemente la concentración de sales respecto a las condiciones normales que permitieron su aceptación original, y el agua puede volverse inaceptable; de tal suerte que no basta con reponer el volumen evaporado sino que es necesario renovar todo el volumen almacenado.

También sucede que la falta de limpieza de los tanques permite la reproducción de organismos vegetales acuáticos (algas). Algunas pruebas han indicado que la introducción de estos organismos en la mezcla de concreto produce gases y reduce la resistencia, y además como se vio en los agregados, la presencia de materia orgánica puede causar interferencia en la hidratación normal del cemento.

Por último cabe mencionar que el punto 6 de la Norma Oficial Mexicana NOM C-155 ("CONCRETO PREMEZCLADO") señala las especificaciones de los materiales que integran el concreto premezclado:

6.1 CEMENTO

El cemento debe cumplir con las especificaciones de las Normas Oficiales Mexicanas NOM C-1 o NOM C-2 (calidad para cementos Portland y calidad para cemento Portland Puzolana, respectivamente)

6.2 AGREGADOS

Los agregados deben cumplir con los que se especifica en la Norma Oficial Mexicana NOM C-111 (agregados para concreto).

6.3 AGUA

El agua de mezclado debe ser limpia. Si contiene cantidades de sustancias que enturbien o produzcan olor o sabor fuera de lo común, se considerará sospechosa y no debe ser usada, a menos que exista información que indique que no perjudica la calidad del cemento.

6.3 ADITIVOS

Cuando se haga uso de aditivos estos deben cumplir con la Norma Oficial Mexicana NOM C-255 (Aditivos químicos que reducen la cantidad de Agua y/o modifican el tiempo de Fraguado del concreto).

CAPITULO III
PROCEDIMIENTO DE
MEZCLA HUMEDA (P.M.H)

CAPITULO III

PROCEDIMIENTO DE MEZCLA HUMEDA (P.M.H)

El procedimiento de mezcla húmeda es un caso particular de diseño de mezclas de concreto.

III.1.- Objetivo

Se ha querido utilizar este método para llevar a cabo la realización de dos series de pruebas de mezclas a nivel laboratorio, cada serie correspondiendo a materiales de diferente mina y cuyos resultados sirvan de apoyo sólido al método numérico para diseño de mezclas de concreto que se pretende desarrollar.

Señalaremos a los materiales de cada mina como AGREGADOS A (Grava A y Arena A para la mina A) y como AGREGADOS B (Grava B y Arena B para la mina B) , más adelante se darán las características de cada uno de ellos y la forma en que se llevarán a cabo las pruebas.

III.2.- Procedimiento

- Consiste en determinar el contenido más bajo de arena (experimentalmente) para obtener una mezcla de concreto de consistencia y manejabilidad requerida. El éxito depende entonces, de la proximidad de la estimación de esas características de la masa ensayada.
- La consistencia se define por el revenimiento (5 a 15 cm.)
- La manejabilidad no se puede estimar .
- La mezcla debe ser plástica y cohesiva (que no se segregue).

El P.M.H se apoya en 3 bases de apreciación de consistencia y de manejabilidad, cuya secuencia de operación es sencilla:

- a) se elige la calidad de pasta, definida por su rel. agua/cemento, en función de la resistencia mecánica requerida, o de las condiciones de exposición y servicio.
- b) se prevén determinadas cantidades de los tres componentes (grava, arena y pasta de cemento).
- c) se combina en seco toda la grava con una baja proporción de arena (25 a 30% por ejemplo) y se añade pasta de cemento hasta alcanzar la consistencia deseada. Se determina el revenimiento y se califica si la mezcla es plástica y cohesiva (por medio de golpes a la masa).

- d) si la mezcla no es satisfactoria, por estar piedruda, adicionar arena, y luego pasta de cemento para reponer la consistencia deseada, se repite lo anterior hasta que llega el momento en que se aprecia la plasticidad, cohesión o moldeabilidad requerida, en este punto se considera que la mezcla posee las condiciones especificadas, con el mínimo contenido de arena. La figura F.III.2.1. presenta esquemáticamente el aspecto de la masa revenida cuando pasa por la etapa de transición entre mezcla segregable y cohesiva.
- e) se determina el Peso Volumétrico de la mezcla final, y se cuantifican las cantidades consumidas de grava, arena y pasta de cemento. Con estos datos, y con los pesos específicos de los materiales se determinan sus consumos por volumen unitario de concreto, conforme al procedimiento siguiente:

El volumen efectivo de la revolutura de concreto se obtiene dividiendo el peso total de sus componentes entre el Peso Volumétrico determinado.

$$\text{Vol. de concreto} = \frac{\text{SUM Peso de componentes}}{\text{Peso volumétrico}}$$

El consumo de cada uno de los componentes por volumen unitario de concreto se obtiene dividiendo el peso en que intervienen en la revolutura entre el volumen efectivo de la misma, por ejemplo:

$$\text{Consumo unitario de cemento} = \frac{\text{Peso del cemento en la revolutura}}{\text{volumen de la revolutura}}$$

El volumen de cada componente será el resultado de dividir el peso entre su densidad correspondientemente.

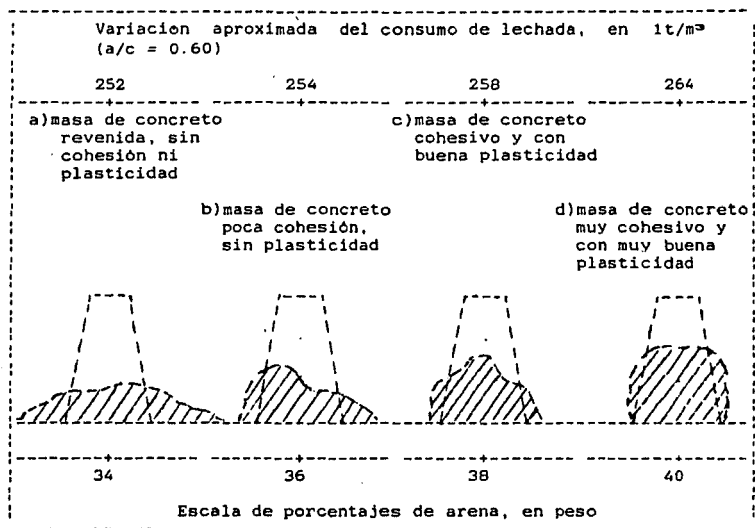


figura F.III.2.1. Aspecto de la masa de concreto en pruebas sucesivas de revenimiento con porcentajes crecientes de arena.

III.3.- Elaboración de pruebas

III.3.1. Características físicas de los materiales.

Antes de pasar a realizar pruebas de mezclas es necesario conocer las características fundamentales de las gravas y de las arenas de las diferentes minas a fin de llevar a cabo una comparación adecuada de los resultados que se obtengan del concreto al haber utilizado uno u otro tipo de agregados, así mismo conocer el rango de calidad del cemento a emplear. Cabe señalar que estas pruebas se realizan sin aditivo.

De las pruebas de resistencia a compresión del cemento en cubos estandar (NOM C-1), llevadas a cabo periódicamente se tiene que, en promedio, el cemento tiene una F_{c-cm} de 300 kg/cm^2 .

ANALISIS DE AGREGADOS.

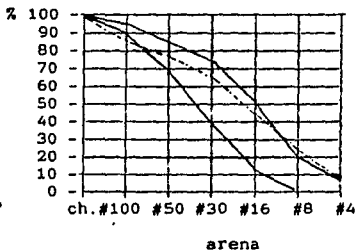
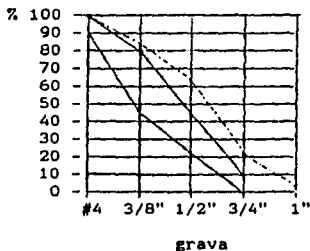
GRAVA DE LA MINA A;

- DENSIDAD	: 2.21								
- ABSORCION	: 6.19 %								
- HUMEDAD									
EN BANCO	: 6.00 %								
- TIPO	: Semitriturada								
- M.F.	: 5.7								
- P.V.S.	: 1260 kg/m3								
- P.V.C.	: 1414 kg/m3								

			GRANULOMETRIA						
			mallas	peso	peso	peso			
				ret.	ret.	acum.			
				(gr.)	(%)	(%)			
			1 1/2"	-	-	-			
			1"	372	3.87	3.87			
			3/4"	1700	17.70	21.57			
			1/2"	4020	41.81	63.44			
			3/8"	2000	20.83	84.27			
			No.4	1510	15.73	100.00			
			CHAROLA	570	-	-			

observación : Baja Densidad y Alta Absorción

CURVAS GRANULOMETRICAS DE MATERIALES DE MINA A



ARENA DE LA MINA A;

- DENSIDAD	: 2.38								
- ABSORCION	: 6.04 %								
- HUMEDAD									
EN BANCO	: 7.82 %								
- TIPO	: De mina natural								
- M.F.	: 3.02								
- P.V.S.	: 1182 kg/m3								
- P.V.C.	: 1393 kg/m3								

			GRANULOMETRIA						
			mallas	peso	peso	peso			
				ret.	ret.	acum.			
				(gr.)	(%)	(%)			
			No. 4	88	-	-			
			No. 8	221	24.23	24.23			
			No. 16	201	22.04	46.27			
			No. 30	185	20.29	66.56			
			No. 50	102	11.18	77.74			
			No.100	86	9.43	87.17			
			No.200	54	5.92	93.09			
			CHAROLA	63	6.92	100.00			

observación : Densidad media y Alta Absorción

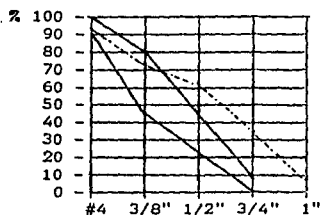
ANALISIS DE AGREGADOS.

GRAVA DE LA MINA B:

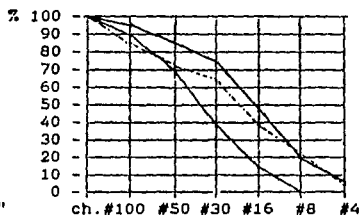
		GRANULOMETRIA		
		peso ret. (gr.)	peso ret. (%)	peso acum. (%)
- DENSIDAD	: 2.31			
- ABSORCION	: 3.75 %			
- HUMEDAD		malla		
EN BANCO	: 2.58 %	1 1/2"	-	-
- TIPO	: Semitriturada	1"	830	8.30
- M.F.	: 7.68	3/4"	2580	25.80
- P.V.S.	: 1300 kg/m3	1/2"	2690	26.90
- P.V.C.	: 1448 kg/m3	3/8"	1150	11.50
		No. 4	1950	19.50
		CHAROLA	660	-

observación : Material de mejor apariencia y características que el material A

CURVAS GRANULOMETRICAS DE MATERIALES DE MINA B



grava



arena

ARENA DE LA MINA B:

		GRANULOMETRIA		
		peso ret. (gr.)	peso ret. (%)	peso acum. (%)
- DENSIDAD	: 2.39	malla		
- ABSORCION	: 5.13 %			
- HUMEDAD				
EN BANCO	: 6.83 %	No. 4	47	-
- TIPO	: De mina natural	No. 8	201	21.09
- M.F.	: 2.74	No. 16	179	18.78
- P.V.S.	: 1205 kg/m3	No. 30	163	17.10
- P.V.C.	: 1434 kg/m3	No. 50	128	13.43
		NO.100	141	14.80
		No.200	74	7.76
		CHAROLA	63	6.92

observación : Mejor material que el A

III.3.2.- Realización de pruebas

Para cada una de las series A Y B se planeó realizar mezclas que abarcaran las siguientes relaciones agua/cemento:

1.- 1.30	5.- 0.90	9.- 0.50
2.- 1.20	6.- 0.80	10.- 0.40
3.- 1.10	7.- 0.70	
4.- 1.00	8.- 0.60	

- Considerando 3 mezclas por cada relación agua/cemento, nos dá un total de $10 \times 3 = 30$ pruebas, cada prueba se elabora según el procedimiento de mezcla húmeda (P.M.H.) explicado en el inciso anterior (III.2.) como sigue;

-- Se elige la calidad de la pasta (paso a) , es decir la proporción de cemento y de agua , definida por su relación agua/cemento la cuál será alguna de la lista anterior.

--Se preveen cantidades de componentes como sigue; (paso b)
GRAVA .- se prepara un peso fijo de 40 kgs.; este peso se considera la base de la mezcla.

ARENA .- se alista una cantidad suficiente , previniendo posibles consumos mayores de este material que de grava.

Se debe procurar que la humedad de los materiales esté muy cercana a la de absorción, es decir que se encuentren en la condición de saturados y superficialmente secos (sss) para así tener la corrección mínima en la determinación de los consumos de cada material.

PASTA DE CEMENTO .- en base a la relación agua/cemento correspondiente, se pesan cantidades de agua y de cemento, estimando que esa cantidad de pasta así formada sea suficiente para obtener una consistencia final para una mezcla ya equilibrada en sus contenidos de grava y arena. esa consistencia estará expresada mediante un revenimiento de 10 cms.

-- Como lo marca el paso c) del P.M.H. se combina toda la grava (los 40 kgs.) con una baja proporción de arena (30% del volumen total de agregados) y se añade pasta de cemento hasta alcanzar la consistencia deseada :determinando el revenimiento (Norma Oficial Mexicana NOM C-156) y calificando si la mezcla es plástica y cohesiva.

-- Continuamos con el paso d) : Si la mezcla no es satisfactoria, por estar pedruda, adicionar arena y luego pasta de cemento para reponer la consistencia deseada, repitiendo esto hasta que se aprecia la plasticidad, cohesión o moldeabilidad requerida, en ese punto se considera que la mezcla posee las condiciones especificadas con el MINIMO CONTENIDO DE ARENA.

-- Se determina el Peso Volumetrico de la mezcla final (según la Norma Oficial Mexicana NOM C-162) y se cuantifican las cantidades consumidas de Grava, Arena y de Pasta de Cemento, de ésta última se obtienen las cantidades de Agua y Cemento por separado;

$$\frac{W}{C} = \text{cte} \dots 1$$

$$W + C = P \dots 2$$

W: Peso de Agua
 C: Peso de Cemento
 P: Peso total de la pasta
 cte: Valor de la rel. agua/cemento

de 1 ; $W = \text{cte} \cdot C$

sust. en 2; $(\text{cte} \cdot C) + C = P \dots 3$

despejando C de 3;

$$C = \frac{P}{(\text{cte} + 1)} \qquad W = P - C$$

- Para cada mezcla se elaboran, además, 5 cilindros de concreto (según la Norma Oficial Mexicana NOM C - 160) para determinación de la resistencia a compresión (NOM C - 83) a las edades de 3, 7, 14, 28 y 28 días respectivamente.

- Por cada 3 mezclas, es decir para cada relación agua/cemento, se elabora una viga para determinación de resistencia a flexión (NOM C - 191) a la edad de 28 días . .

- Se anotan algunas observaciones pertinentes de cada prueba.

Con los datos de Peso Volumétrico y de la cuantificación de los consumos de materiales se determinan los consumos por volumen unitario de concreto:

primero).- se calcula el volumen efectivo de la revoltura:

$$\text{Vol. Rev.} = \frac{\text{sum (pesos de componentes)} \quad [\text{kg}]}{\text{Peso volumétrico} \quad [\text{Kg/m}^3]} \quad [\text{m}^3]$$

segundo).- El consumo de cada material por volumen unitario (m^3) de concreto, será el resultado de dividir el peso en que intervienen en la revoltura, entre el volumen efectivo de la misma.

$$\text{consumo unitario de cada componente} = \frac{\text{Peso del componente}}{\text{Vol. Rev.}} \quad [\text{kg}]$$

tercero).- Se deben corregir los consumos de materiales :

Por humedad:

Si la humedad de los agregados es mayor al % de absorción, quiere decir que hay agua libre que pasa a formar

parte del agua de mezcla considerada en la relación agua/cemento, y por ello ésta última se verá incrementada y el peso de los agregados es menor.

Si el % de humedad es igual al % de absorción, no hay corrección de los pesos de agregados ni de la relación agua/cemento.

Si el % de humedad es menor que el % de absorción, los agregados "tomarán" el agua que les haga falta, para quedar saturados, del agua de la pasta de cemento por lo que esa agua absorbida ya no se considerará como agua de mezcla y de ésta manera nuestra relación agua/cemento se ve disminuida al tiempo que el peso de agregados se incrementará.

sean; P_G ; Peso cuantificado de grava
 P_A ; Peso cuantificado de arena
 P_W ; Peso cuantificado de agua
 P_C ; Peso cuantificado de cemento

% HUM_G; Porcentaje de humedad de la grava
 % HUM_A; Porcentaje de humedad de la arena

entonces, El peso de grava corregido por humedad será ;

$$P_{HG} = P_G + P_G (\%ABS_G - \%HUM_G) \text{ el de arena ;}$$

$$P_{HA} = P_A + P_A (\%ABS_A - \%HUM_A) \text{ el de agua ;}$$

$$P_{HW} = P_W - P_G (\%ABS_G - \%HUM_G) - P_A (\%ABS_A - \%HUM_A)$$

por lo que la relación agua/cemento real es;

$$(W/C)_R = \frac{P_{HW}}{P_C}$$

Por contaminaciones;

A la grava se le resta el % de arena que contiene y a su vez se le suma el % de grava que trae la arena, lo mismo para la arena, recordando que grava es toda partícula retenida en la malla No. 4 y arena lo que pasa dicha malla.

$$P_{HVG} = P_{HG} + P_{HA} (\%Cont. G \text{ en } A) - P_{HA} (\%Cont. A \text{ en } G)$$

$$P_{HVA} = P_{HA} + P_{HG} (\%Cont. A \text{ en } G) - P_{HG} (\%Cont. G \text{ en } A)$$

donde; P_{HVG} ; Peso de grava final corregido por humedad y contaminación.

P_{HVA} ; Peso de arena final corregido por humedad y contaminación.

% Cont A en G; porcentaje de contaminación de arena en la grava.

% Cont G en A; porcentaje de contaminación de grava en la arena.

De esta forma en cada prueba iremos calculando y acumulando los siguientes resultados:

- Cantidades consumidas de cada material por volumen unitario
- Peso volumetrico
- Revenimiento obtenido
- Relación agua/cemento real final
- Podemos calcular además el volumen de grava y el de arena dividiendolos entre su respectiva densidad, el volumen total de agregados como la suma de ambos, el porcentaje de cada uno de ellos dividiendo el respectivo volumen entre el total, llegando finalmente a la relación grava/arena dividiendo precisamente el % de grava entre el % de arena.
- Nos restará esperar las fechas indicadas para la determinación de las resistencias a compresión y/o flexión de los cilindros y/o vigas correspondientes a las edades señaladas .

III.4.- Obtención de resultados

Una vez realizadas las pruebas se extraen y resumen los resultados más importantes, se tabulan, se gráficas, se analizan, etc. como se ilustra en las tablas y gráficas de a continuación, formando con ello un archivo de información importante que sirve de apoyo para el método de diseño de mezclas de concreto que se pretende desarrollar en los siguientes capítulos. (ver tablas T.III.4.1. y T.III.4.2.)

RESULTADOS OBTENIDOS CON MATERIAL DE LA MINA (A)															
MUESTRA No.	REL W/C	REL W/C	CONSUMOS POR METRO CUBICO				REL G/A PESO VOL.		REV.		RESISTENCIA A COMPRESION (fc)				
	TEORICA	REAL	CEMENTO	GRAVA	ARENA	AGUA	% DE	EN	OBTENIDO	OBTENIDO	3	7	14	28 DIAS	28 DIAS
	EN PESO	EN PESO	KG.	KG.	KG.	KG.	GRAVA VOLUMEN	kg/m3	cm.	(kg / cm2)					
2	1.30	1.580	117	958	883	186	55.14	1.229	2144	14.0	14	25	33	51	
1	1.30	1.586	122	948	830	194	53.87	1.168	2094	9.0	14	25	36	54	
4	1.20	1.433	127	900	953	182	50.43	1.017	2162	10.0	19	33	48	72	
5	1.20	1.421	135	883	957	192	49.8	0.992	2167	8.0	22	36	51	69	
3	1.30	1.375	122	1012	857	168	55.97	1.271	2159	10.0	17	30	45	65	10
12	1.00	1.170	168	866	938	196	49.87	0.995	2168	10.0	36	61	79	115	17
11	1.00	1.166	174	835	945	203	48.78	0.952	2157	10.0	33	56	73	98	
6	1.20	1.152	143	900	959	165	50.26	1.010	2167	10.0	39	52	75	95	13
8	1.10	1.114	168	820	977	187	47.46	0.903	2152	10.0	36	52	79	105	
9	1.10	1.104	158	892	919	175	51.09	1.045	2144	9.0	33	46	76	105	16
10	1.00	1.076	174	848	943	187	49.23	0.970	2152	10.0	30	56	77	107	
7	1.10	1.059	161	842	986	170	47.91	0.920	2159	8.0	41	55	89	109	
14	0.90	0.981	193	875	901	189	51.08	1.044	2158	10.0	41	71	88	122	
13	0.90	0.976	208	842	895	203	50.31	1.012	2148	11.5	51	76	97	129	
15	0.90	0.895	205	885	884	184	51.87	1.078	2158	10.0	70	99	130	174	20
16	0.80	0.797	234	857	881	187	51.18	1.048	2159	10.5	73	124	147	187	
17	0.80	0.775	253	852	872	196	51.27	1.052	2173	10.5	102	134	168	196	
18	0.80	0.774	239	859	883	185	50.95	1.039	2166	10.0	96	122	150	188	29
21	0.70	0.689	287	861	829	198	52.8	1.119	2175	10.0	113	170	198	239	31
20	0.70	0.686	259	875	861	178	52.26	1.095	2173	10.0	96	140	182	225	
24	0.60	0.661	307	847	816	203	51.85	1.077	2173	9.0	118	171	204	257	36
23	0.60	0.661	310	832	832	205	52.79	1.118	2179	10.0	-	174	215	259	
22	0.60	0.660	318	822	835	210	51.45	1.060	2185	10.0	145	184	218	273	
19	0.70	0.658	285	845	862	188	51.39	1.057	2180	10.0	105	150	192	229	
25	0.50	0.495	427	803	738	211	53.95	1.172	2179	10.0	158	237	276	335	
26	0.50	0.495	413	805	758	204	53.34	1.143	2180	10.5	201	257	302	351	
27	0.50	0.494	391	833	764	193	54.01	1.174	2181	10.0	201	257	296	345	
30	0.40	0.423	498	866	619	211	60.11	1.507	2194	10.0	297	339	395	471	44
29	0.40	0.422	499	884	601	211	61.27	1.582	2195	10.0	277	318	384	446	39
28	0.40	0.404	550	825	596	223	59.84	1.490	2194	10.0	288	331	390	459	

tabla T.III.4.1 Obtencion de resultados.

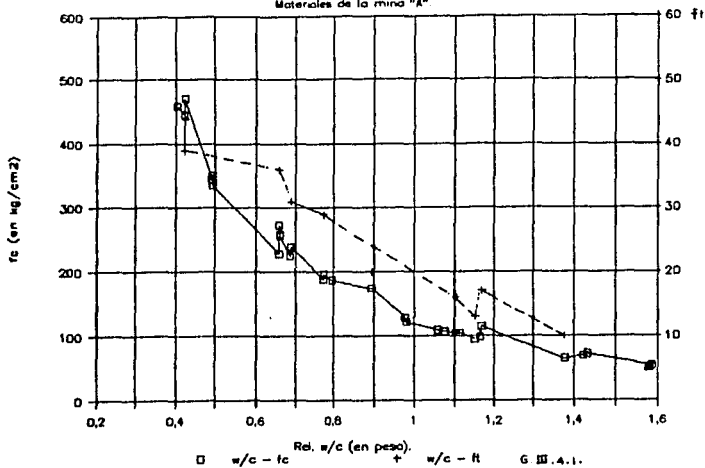
RESULTADOS OBTENIDOS CON MATERIAL DE LA MINA (B)

MUESTRA No.	REL. W/C		CONSUMOS POR METRO CUBICO					REL. G/A PESO VOL. REV.		RESISTENCIA A COMPRESION (fc)					
	TEORICA	REAL	CIMENTO	GRAVA	ARENA	AGUA	% DE	EN	OBTENIDO	REV.	3	7	14	28 DIAS	28 DIAS
	EN PESO	EN PESO	KG.	KG.	KG.	KG.	GRAVA VOLUMEN	kg/m3	ca.		[kg / cm2]				
2	1.30	1.550	131	869	959	283	48.29	0.934	2162	12.5	23	48	62	98	
6	1.20	1.540	126	878	957	194	48.60	0.946	2155	10.0	25	48	62	78	16
4	1.20	1.449	136	883	950	197	48.91	0.957	2166	10.0	25	47	68	84	
5	1.20	1.448	134	879	947	194	48.81	0.954	2154	10.0	28	51	71	90	
7	1.10	1.332	147	878	934	203	49.18	0.968	2162	10.0	28	54	79	95	
1	1.30	1.355	125	883	986	169	47.99	0.923	2163	9.0	28	51	71	93	
9	1.10	1.248	145	917	926	180	50.49	1.020	2168	10.0	37	62	85	112	22
8	1.10	1.224	160	902	910	196	50.54	1.022	2168	10.0	40	73	90	108	
11	1.00	1.098	170	906	913	186	50.56	1.023	2175	10.0	76	105	134	168	
10	1.00	1.079	191	900	878	206	51.37	1.056	2175	10.0	67	102	133	162	
12	1.00	0.984	191	907	878	188	51.56	1.064	2164	10.0	65	99	138	172	31
17	0.80	0.945	221	885	875	208	51.03	1.042	2189	11.0	96	124	160	197	
18	0.80	0.944	215	884	865	203	51.29	1.053	2167	10.0	79	105	134	172	29
13	0.90	0.914	214	895	873	196	51.35	1.055	2178	10.0	71	113	134	173	
14	0.90	0.890	215	901	876	198	51.45	1.060	2182	10.0	78	113	135	168	
15	0.90	0.887	215	879	879	191	50.74	1.030	2164	10.5	85	133	160	194	32
16	0.80	0.791	242	900	845	191	52.31	1.097	2178	10.0	90	150	160	200	
19	0.70	0.739	264	896	837	195	52.43	1.102	2192	12.0	110	169	199	252	
20	0.70	0.739	264	907	822	195	53.19	1.136	2188	10.0	107	169	188	244	
21	0.70	0.731	252	908	841	185	52.67	1.113	2186	12.0	113	167	193	246	34
23	0.60	0.675	290	904	804	195	53.67	1.158	2193	9.0	110	175	212	262	
24	0.60	0.646	294	902	818	190	53.15	1.134	2204	10.0	116	181	257	305	37
22	0.60	0.612	313	903	797	191	53.82	1.165	2204	10.0	161	237	288	346	
27	0.50	0.504	389	893	729	196	55.72	1.258	2207	11.0	215	282	333	384	43
26	0.50	0.485	406	894	721	197	56.07	1.276	2218	9.5	240	311	373	441	
25	0.50	0.485	408	903	709	190	56.74	1.312	2218	10.5	246	312	351	422	
30	0.40	0.410	500	871	649	205	58.00	1.381	2225	10.5	308	365	427	499	47
29	0.40	0.399	541	860	618	216	58.80	1.432	2235	10.5	311	356	424	489	
28	0.40	0.398	540	873	610	215	59.55	1.472	2238	10.0	305	361	429	496	

tabla T.III.4.2 Obtencion de resultados.

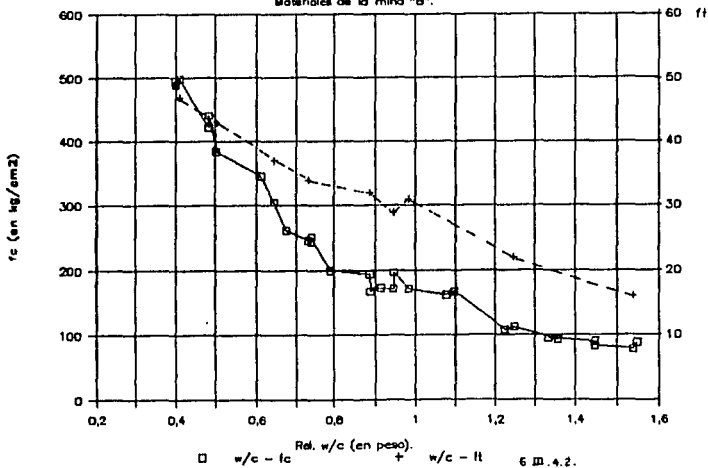
Rel. w/c vs. f_c y ft.

Materiales de la mina "A"



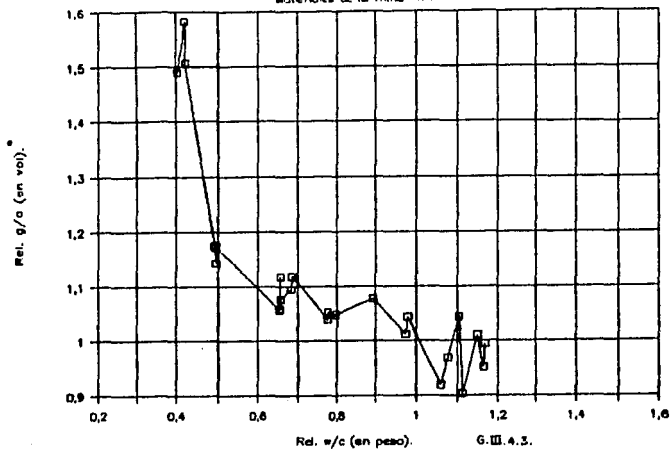
Rel. w/c vs. f_c y ft.

Materiales de la mina "B"



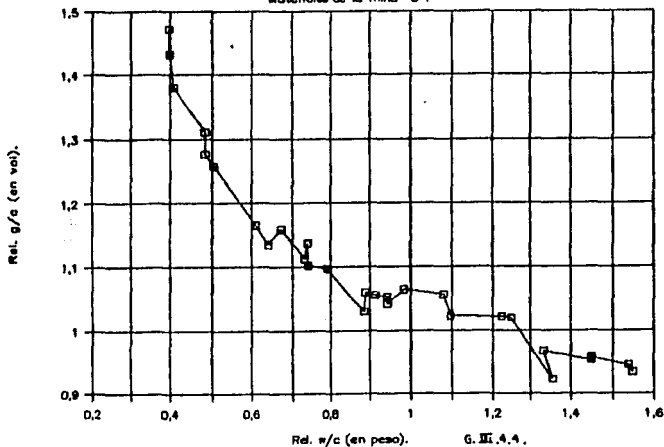
Rel. w/c vs. Rel. g/a

Materiales de la mina "A"



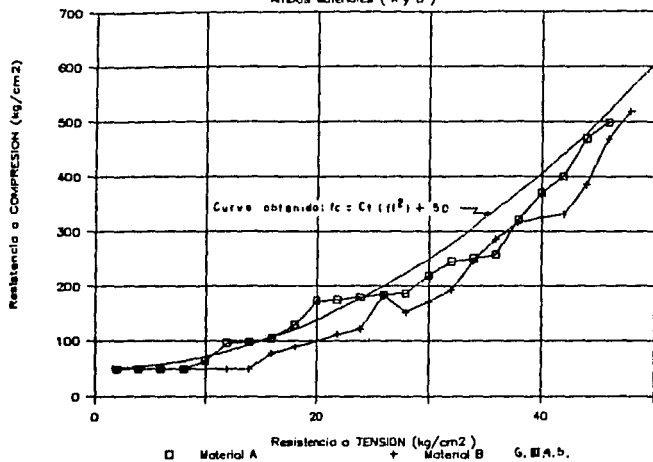
Rel. w/c vs. Rel. g/a

Materiales de la mina "B"



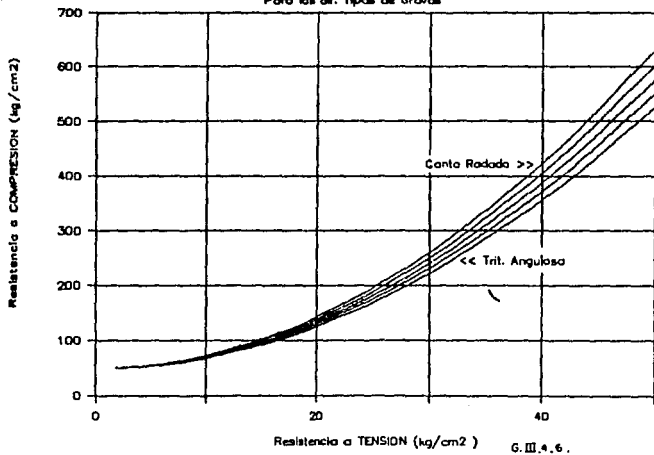
Correlacion Tension - Compression

Ambos Materiales (A y B)



Curvas Tension - Compression

Para los dif. Tipos de Gravas



CAPITULO IV
DESARROLLO DEL METODO NUMERICO

CAPITULO IV

DESARROLLO DEL METODO NUMERICO

IV.1.- Origen

Ante el deseo y la conveniencia de contar con un método para diseñar mezclas de concreto que fuera más universal, es decir aplicable en cualquier lugar, básicamente de la República Mexicana, pero con tendencia a ser usado en otros países; un método que fuera confiable y óptimo de acuerdo a los recursos disponibles, o sea que nos lleve a producir concretos con calidad adecuada en sus dos fases, en estado fresco y en estado endurecido y que sea económico. Además, tomando como base algunos métodos usuales, la experiencia de muchos años de producir este producto, la elaboración de un sinnúmero de pruebas de laboratorio y el apoyo de las matemáticas para definir modelos de comportamiento de los factores que intervienen en un diseño, se originó la decisión de desarrollar el siguiente METODO NUMERICO PARA OBTENER EL DISEÑO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO:

IV.2.- Recopilación de la información necesaria.

Se presenta, ahora, el primer paso del algoritmo del método numérico;

Paso 1.- Obtención previa de todos los datos necesarios.

1.1.- Definir si el diseño de la mezcla se hará partiendo de un valor dado de:

1.1.1.- Resistencia a compresión ($f'c$) entre 100 y 350 kg/cm².

1.1.2.- La relación agua/cemento.

1.1.3.- Resistencia a tensión ($f't$) entre 10 y 45 kg/cm².

Y una vez definido, proporcionar dicho valor correspondiente.

1.2.- Escoger el tipo y grado de calidad del concreto que se quiere según la tabla T.IV.2.1.

TIPO	GRADO DE CALIDAD
Normal	A
Normal	B
Resistencia Rápida	A
Resistencia Rápida	B

tabla T.IV.2.1. Tipos y grados de calidad de concreto.

El tipo Normal significa que el concreto alcance la Resistencia de diseño a los 28 días, mientras que el Resistencia Rápida lo hará a los 14 días.

Por otro lado la N.O.M. C-155, establece que para cumplir los requisitos de resistencia que marca dicha norma, con un nivel de confianza del 98%, los resultados de todas las pruebas de resistencia deben ser suficientes para asegurar que se alcancen los grados de calidad.

Grado de calidad A

El concreto debe cumplir con lo siguiente:

- a) Se acepta que no más del 20% del número de pruebas de resistencia tengan valor inferior a la resistencia especificada $f'c$, se requiere un mínimo de 30 pruebas.
- b) No más del 1% de los promedios de 7 pruebas de resistencia consecutiva será inferior a la resistencia especificada.
- c) No más del 1% de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada a compresión menos 50 kg/cm^2 .

Grado de calidad B

El concreto debe cumplir con lo siguiente:

- a) Se acepta que no más del 10% del número de pruebas de resistencia tengan valores inferiores a la resistencia especificada $f'c$, se requiere de un mínimo de 30 pruebas.
- b) No más del 1% de los promedios de 3 pruebas de resistencia consecutivas puede ser igual o menor que la resistencia especificada.
- c) No más del 1% de las pruebas de resistencia puede ser menor que la resistencia especificada a compresión menos 35 kg/cm^2 .

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

1.3.- Seleccionar el revenimiento, este dato depende del tipo de estructura y de si el concreto será bombeado o no, como se puede ver en la tabla T.IV.2.2.

Tipo de estructura	Revenimiento recomendado (en cm.)
-Pavimentos, banquetas, losas, cimentaciones, concreto masivo, y en general donde no se requiere bombeo y no hay refuerzo o éste es mínimo.	10
-Vigas, muros, losas, columnas y estructuras reforzadas que pueden, o no, requerir bombeo.	10, 14 y 14 bomba
-Estructuras con armado excesivo y estrecho como muros altos y esbeltos, vigas, columnas, etc...	18 y 18 bomba

tabla T.IV.2.2. Selección de revenimiento.

1.4.- Definir, con la ayuda de la tabla T.IV.2.3. en que rango de calidad se óbica el cemento que se empleará, esto se califica de acuerdo a la resistencia promedio a compresión en cubos estandar a 28 días en kg/cm².

RANGO	CALIDAD
350 < F_{cubo}	Excelente
336 < F_{cubo} < 335	Muy Bueno
321 < " < 335	Bueno
306 < " < 320	Medio
291 < " < 305	Regular
276 < " < 290	Malo o desconocido
260 < " < 275	Muy Malo

1.5.- Al igual que con el cemento, definir la calidad del aditivo con el que se cuenta, si es que éste se va a usar, esto se puede medir de acuerdo al porcentaje de ahorro de cemento que se puede tener, ver la tabla T.IV.2.4.

% DE AHORRO DE CEMENTO	CALIDAD
- Sin aditivo -	-
2.50 - 5.00	Malo
5.0 - 10.00	Bueno
10.0 - 20.00	Muy Bueno

tabla T.IV.2.4. Calificación del aditivo

1.6.- Señalar en que proporción (1/1000), con respecto al cemento, se usará de aditivo (por lo general se aplica entre 2 y 6).

1.7.- Indicar la desviación estandar (S) que se espera tener durante la producción del concreto, la tabla T.IV.2.5. señala algunos valores

GRADO DE CONTROL	(S)
Excelente	30
Bueno	35
Regular	40
Desconocido	50
Malo	60

tabla T.IV.2.5. Desviación estandar

1.8.- Señalar el tamaño máximo del agregado grueso (T.M.A.). Para efectos de este método se establecen 2 casos:

MALLA pulg.	T.M.A. mm.
3/4	20
1 1/2	40

tabla T.IV.2.6. Tamaño máximo del agregado.

Recomendaciones;

- Recordar que el T.M.A. no debe ser mayor que:

Un quinto de la menor distancia horizontal entre caras de los moldes. - Un tercio del espesor de las losas. - Dos tercios de la separación horizontal libre mínima entre barras, paquetes de barras o tendones de preesfuerzo; estos requisitos pueden omitirse cuando las condiciones del concreto fresco y los procedimientos de compactación utilizados, permitan colocar el concreto sin que queden huecos.

- Cuando se vaya a utilizar concreto con T.M.A. de 40 mm., además de contar con la grava de dicho tamaño, es conveniente contar con una grava de 20 mm. más fina para combinar con la primera, a fin de mejorar la distribución granulométrica del agregado grueso, ya que es muy común, dada la forma de producción del agregado grueso de 40, que éste tenga una granulometría muy cargada hacia el límite superior, o inclusive por arriba de dicho límite superior recomendado (ASTM) para gravas con T.M.A. de 1 1/2", siendo por lo tanto un material grueso.

1.9.- Calificar el Tipo de Grava, según su forma, de acuerdo a la tabla T.IV.2.7.

TIPOS DE GRAVAS	tabla T.IV.2.7. Tipos de Gravas.
Canto Rodado	
Natural	
Semitriturada	
Triturada	
Triturada Angulosa	

1.10.- Obtener la granulometría de la grava única o de las gravas, cuando sean 2 (dos), que se van a combinar (de 40 y 20 mm.).

tabla T.IV.2.8 GRANULOMETRIA DE GRAVAS

40 mm.		20 mm.	
Malla	peso (gr.)	Malla	peso (gr.)
1 1/2"	-----	1"	-----
1"	-----	3/4"	-----
3/4"	-----	1/2"	-----
1/2"	-----	3/8"	-----
3/8"	-----	# 4	-----
# 4	-----	Charola	-----
Charola	-----	Charola	-----

1.11.- Obtener la densidad, absorción y humedad (esta última al momento de aplicarse) de la(s) grava(s), sola o ambas, según corresponda.

tabla T.IV.2.9. DENSIDADES, ABSORCIONES Y HUMEDADES

Den Gra 20	-----	Den Gra 40	-----	kg/m ³
Abs Gra 20	-----	Abs Gra 40	-----	%
Hum Gra 20	-----	Hum Gra 40	-----	%

CARACTERISTICAS DE LA ARENA:

1.12.- Definir si se va a utilizar una sola arena, o bien se van a combinar 2 de ellas, pues puede ser el caso de que se cuente con una arena gruesa y se requiera una más fina para combinarse, con el fin de mejorar la distribución granulométrica.

1.13.- Clasificar la arena, según su origen, de acuerdo a la tabla T.IV.2.10.

De mina natural	tabla T.IV.2.10. Tipos de Arenas.
De trituración	
De río	

1.14.- Obtener la granulometria de la arena unica o las arenas, cuando sean 2 (dos), que se van a combinar (gruesa y fina).

tabla T.IV.2.11 GRANULOMETRIA DE ARENAS

Gruesa		Fina	
Malla	peso (gr.)	Malla	peso (gr.)
# 4	-----	# 4	-----
# 8	-----	# 8	-----
# 16	-----	# 16	-----
# 50	-----	# 50	-----
# 100	-----	# 100	-----
# 200	-----	# 200	-----
Charola	-----	Charola	-----

1.15.- Obtener la densidad, absorción y humedad (esta última al momento de aplicarse) de la(s) arena(s), sola o ambas, según corresponda.

tabla T.IV.2.12. DENSIDADES, ABSORCIONES Y HUMEDADES

Den Are Gru	-----	Den Are Fin	-----	kg/m ³
Abs Are Gru	-----	Abs Are Fin	-----	%
Hum Are Gru	-----	Hum Are Fin	-----	%

IV.3.- MODELOS MATEMATICOS

Antes de seguir adelante, con los pasos del algoritmo, se hace un paréntesis, para tratar acerca de como actúan y como varían los diferentes parámetros y variables que intervienen en un diseño de mezcla.

Gracias a la experiencia y a pruebas especiales, elaboradas con ese fin, como se vió en el capítulo III, se han podido definir y reafirmar esos comportamientos a través de modelos matemáticos.

Señalemos 4 casos;

CASO 1.- Relación Agua/Cemento vs. Resistencia a Compresión.
(W/C --- fc).

La base de este estudio es el modelo propuesto por Abrams, llamado "Ley de Abrams", es una curva de tipo logaritmico cuya ecuación es;

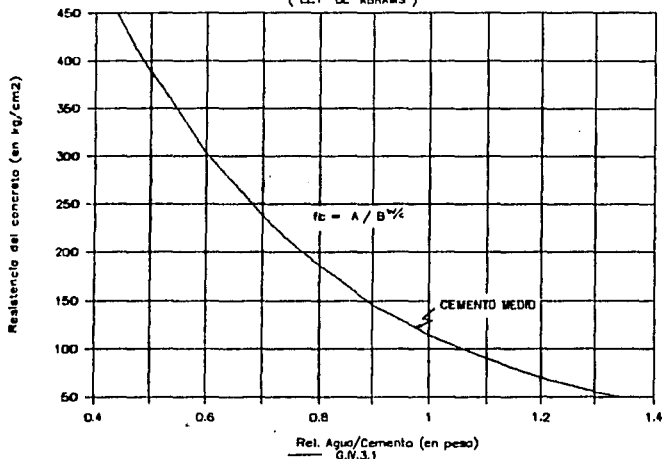
$$fc = \frac{A}{B \cdot w/c} \quad \dots \quad \text{IV.3.1}$$

Y, es la función más verídica y vigente en la actualidad, su representación se muestra en la gráfica G.IV.3.1.

- f_c : Es la resistencia a compresion, en kg/cm^2 .
 W/C: Es la relación agua/cemento que se debe dar, en peso.
 A,B: Constantes que definen la curva de Abrams y dependen de la calidad del cemento (Abrams consideró $A=987$ y $B=7$).

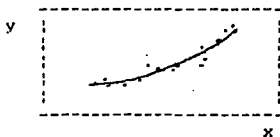
Curva Rel W/C vs. Resistencia

(LEY DE ABRAMS)



Para poder obtener un modelo matemático, es decir, la fórmula o ecuación que mejor nos describa como se van moviendo unas variables con respecto a otras, existen métodos de CORRELACION o REGRESION que consisten en que, en base a una cierta cantidad de puntos, obtenidos de la realización de algún experimento, algunas pruebas, o simplemente de alguna observación, graficados en un sistema de ejes cartesianos, nos dan a obtener una curva que pase por el centroide de todos los puntos, es decir, la más cercana a todos ellos, como se ve en la gráfica G.IV.3.2.

G.IV.3.2. La curva de ajuste puede ser una RECTA, PARABOLA, HIPERBOLA, una CURVA EXPONEN - CIAL, LOGARITMICA, etc.



Curva de correlación.

Para el caso que ahora nos ocupa se han obtenido, por el Metodo Libre de Ajuste de Curvas, y por el Metodo de Minimos Cuadrados, algunas expresiones de curvas que asemejan el comportamiento de puntos obtenidos mediante pruebas, encontrando que, en efecto, se tienen dichas curvas del tipo logaritmico (o exponencial, pues son funciones inversas y tienen, por lo tanto, la misma excentricidad) encontradas por Abrams a principios del siglo.

Mediante la realizaci3n de las pruebas mencionadas en el Capitulo III y con informaci3n tomada de la producci3n diaria real de muchos a~os, se obtuvieron una serie de datos, los cuales se analizar3n, elaborando algunas curvas y tratando de definir su comportamiento, tomando como base a la teoria de regresi3n, pero, siendo uno de los objetivos el tratar de simplificar el estudio sin descuidar el fondo matemático, se busc3 y encontr3 la forma de poder obtener las constantes A y B de la ecuaci3n tratada y se estableci3 lo siguiente:

- 1).- Se forman 2 ecuaciones pertenecientes a la misma curva:

$$fc_1 = \frac{A}{B^{(w/c)_1}} \dots\dots IV.3.2$$

$$fc_2 = \frac{A}{B^{(w/c)_2}} \dots\dots IV.3.3$$

- 2).- Se establece, en base a los estudios y a la experiencia, 2 puntos caracteristicos de la curva (básicamente puntos casi extremos). P y Q:

$$P ((W/C)_1 , fc_1) \text{ y } Q ((W/C)_2 , fc_2)$$

- 3).- Se trabaja con el sistema de 2 ecuaciones con 2 inc3gnitas, del inciso 1), para despejar A y B:

$$\text{de IV.3.2} \quad A = (fc)_1 B^{(w/c)_1} \dots\dots IV.3.4$$

$$\text{de IV.3.2} \quad A = (fc)_2 B^{(w/c)_2} \dots\dots IV.3.5$$

$$\text{igualando:} \quad (fc)_1 B^{(w/c)_1} = (fc)_2 B^{(w/c)_2} \dots IV.3.6$$

despejando:

$$B = \left(\frac{(fc)_2}{(fc)_1} \right)^{\frac{1}{(w/c)_1 - (w/c)_2}} \dots\dots IV.3.7$$

luego se sustituye IV.3.7 en IV.3.2 o en IV.3.3 para hallar el valor de la constante A.

A su vez los puntos P y Q varían de acuerdo a la calidad del cemento (inciso IV.1.4), la tabla T.IV.3.1. muestra dichos puntos.

tabla T.IV.3.1. Puntos para formar las curvas de Abrams, según la calidad del cemento

CALIDAD DEL CEMENTO	PUNTOS EXTREMOS	
	P [(W/C) ₁ , fc ₁]	Q [(W/C) ₂ , fc ₂]
Excelente	(0.541 , 369)	(1.280 , 72)
Muy Bueno	(0.534 , 369)	(1.250 , 72)
Bueno	(0.527 , 369)	(1.220 , 72)
Medio	(0.520 , 369)	(1.199 , 72)
Regular	(0.508 , 369)	(1.110 , 72)
Malo	(0.496 , 369)	(1.030 , 72)
Muy Malo	(0.484 , 369)	(0.950 , 72)

Y quiere decir que, por ejemplo, con un cemento excelente se requiere de una relación W/C = 1.280 para dar una resistencia de 72 Kg/cm², y de una relación W/C = 0.541 para dar una resistencia de 369 kg/cm², mientras que con un cemento muy malo se requiere de una relación W/C = 0.950 y de 0.484 para dar esas mismas resistencias respectivamente, lo cual se traduce en mayores consumos de cemento para un volumen unitario de concreto.

De esta forma, dependiendo de la calidad del cemento, disponemos de 7 curvas para calcular la relación W/C en función de la resistencia fc, para ello bastará con despejar la relación W/C, para que ésta sea la variable dependiente, como se ve en la gráfica G.IV.3.3.

Visto de otra manera, tomemos un ejemplo:

Sea un cemento excelente cuyos puntos característicos para formar la curva de comportamiento son:

P	Q
[(W/C) ₁ , fc ₁]	[(W/C) ₂ , fc ₂]
(0.541 , 369)	(1.280 , 72)

Encontrando las constantes A y B como se explicó atrás:

$$B = \left(\frac{(fc)_2}{(fc)_1} \right)^{\left(\frac{1}{(w/c)_1 - (w/c)_2} \right)}$$

$$A = (fc)_1 B^{(w/c)_1}$$

Sustituyendo valores:

$$B = \left(\frac{72}{369} \right)^{\left(\frac{1}{0.941 - 1.200} \right)} = 9.127$$

$$A = 369 (9.127)^{0.941} = 1220.596$$

Entonces la ecuación de la curva es:

$$fc = \frac{1220.596}{9.127^{w/c}}$$

Pero de acuerdo a nuestro sistema, nos interesará calcular la relación Agua/Cemento en función de la resistencia fc , por lo que tenemos que despejar (W/C) de la ecuación obtenida.

$$\text{Sea: } fc = A/B^{w/c}$$

$$\implies B^{w/c} = fc = A$$

$$\implies B^{w/c} = A/fc$$

$$\text{sacando logaritmos: } \text{LOG } B^{w/c} = \text{LOG } (A/fc)$$

$$\text{por propiedades de logaritmos: } w/c \text{ LOG } B = \text{LOG } A - \text{LOG } fc$$

$$\text{finalmente despejando } w/c: \quad w/c = \frac{\text{LOG } A - \text{LOG } fc}{\text{LOG } B}$$

para nuestro caso del cemento excelente:

$$w/c = \frac{\text{LOG } (1220.596) - \text{LOG } fc}{\text{LOG } (9.127)} = \frac{3.0865 - \text{LOG } fc}{0.9603}$$

con la fórmula anterior podemos calcular algunos valores:

fc	w/c
100	1.131
150	0.948
200	0.818
250	0.717
300	0.692
350	0.565

En el caso del cemento medio y siguiendo el mismo procedimiento tenemos la ecuación:

$$w/c = \frac{\text{LOG}(1289.836) - \text{LOG } fc}{\text{LOG}(11.097)} = \frac{3.1105 - \text{LOG } fc}{1.0452}$$

de la misma manera si calculamos puntos intermedios obtendremos la nueva curva ajustada.

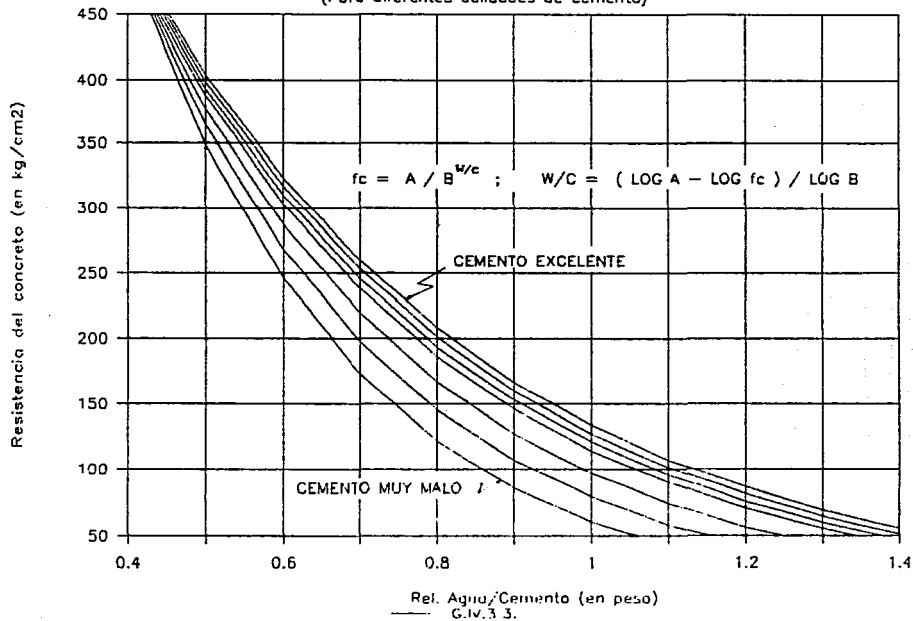
fc	w/c
100	1.063
150	0.894
200	0.774
250	0.681
300	0.606
350	0.542

Con esto se quiere poner de manifiesto que en el cálculo de una curva, a partir de los nuevos puntos característicos citados, dicha curva se ajusta así mismo en los puntos intermedios, lo cual se ha podido constatar con los estudios de correlación que se han efectuado para concluir esta afirmación (ver la gráfica G.IV.3.3.).

Y, una situación que es muy importante y útil para nuestro método es que los puntos, que ahora se han establecido para calcular las curvas de comportamiento, funcionan como claves o llaves para materiales en un cierto medio, esto quiere decir que si en algún momento o en algún otro lugar se llegará a tener, por ejemplo, un cemento de calidad muy superior a los que se fabrican en nuestro país (por exagerar, pensemos en 600 kg/cm²), entonces bastaría con modificar dichos puntos y, automáticamente, todo el Método de cálculo se ajustaría.

Curvas Rel W/C vs. Resistencia

(Para diferentes calidades de cemento)

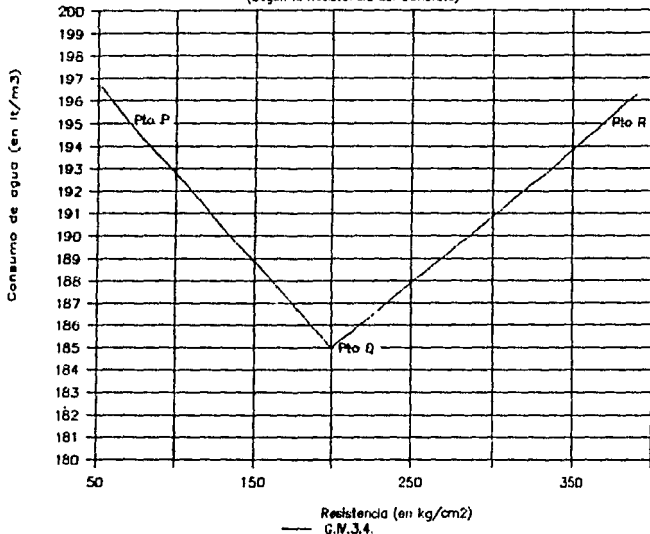


CASO. 2.- Resistencia a compresion vs. Requerimiento de agua por volumen unitario de concreto.

La experiencia y las pruebas, nos dicen que el comportamiento es el que se aprecia en la siguiente gráfica:

VARIACION DEL CONSUMO DE AGUA

(Segun la Resistencia del Concreto)



Explicación de la gráfica G.IV.3.4:

- En el eje de las ordenadas (y) tenemos el agua estimada por metro cúbico de concreto, dada en lt., la cual es el "agua base".
- En el eje de las abscisas (x) tenemos el valor de resistencia a compresión, en kg/cm².

- La estimación es para la condición de estado saturado y superficialmente seco (sss) de los agregados (HUM=ABS). grava del tipo semiriturada y un módulo de finura medio de la arena.
- La curva se ha dividido en dos tramos para su definición; tramo a; es una curva del tipo logarítmico descendente comprendida entre los puntos P (72 kg/cm², 195 lt.) y Q (200 kg/cm², 185 lt.) tramo b; del mismo tipo de a, pero ascendente, comprendida entre los puntos Q (200 kg/cm², 185 lt.) y R (369 kg/cm², 195 lt.)

Ambos tramos tienen como ecuación;

$$W = \frac{A}{B^{x^m}}$$

Para encontrar las constantes A y B se procede como se explicó en el CASO 1, donde los puntos característicos de cada tramo serán; PQ y QR para a y b respectivamente, de tal forma que si $f_c > 200 \text{ kg/cm}^2$ entramos al tramo b para calcular el agua.

A esta primera estimación de agua le llamaremos Agua₁ o W₁.

CASO 3.- Relación Agua/Cemento vs. Relación Grava/Arena (W/C --- G/A)

Este tercer caso que nos ocupa es muy importante en cuanto a lograr una buena trabajabilidad del concreto de una forma óptima, es decir con la menor cantidad de arena posible.

Básicamente una Relación Grava/Arena óptima en un concreto depende de;

- Tipo de Grava
- Módulo de finura de la arena
- Módulo de finura de la grava
- Resistencia a compresión requerida
- Revenimiento especificado.

Sea la tabla T.IV.3.2 de Tipos de Gravas, designadas por números y de Rangos de módulos de Finura de Arena, designados por letras:

TIPO DE GRAVA	No.	MODULO DE FINURA DE ARENA			LETRA
Canto Rodado	1	m.f.a	< 2.00	Muy Fina	A
Natural	2	2.31 <	m.f.a < 2.30	Fina	B
Semitriturada	3	2.61 <	" < 2.60	Medio Fina	C
Triturada	4	2.91 <	" < 2.90	Medio Gruesa	D
Trit. Angulosa	5	3.21 <	" < 3.20	Gruesa	E

tabla T.IV.3.2. Tipos de Gravas y Módulos de Finura de Arena

de ésta, se obtienen 25 combinaciones diferentes; 1A, 1B, 1C...5E., la relación grava/arena, de cada una de estas combinaciones, estará a su vez en función de la resistencia; Un concreto de mayor resistencia requerirá de una lechada más rica en cemento, que un concreto de menor resistencia y por lo tanto será más viscosa, este fenómeno físico provocará que no se requiera de más arena que nos dé una cantidad suficiente de mortero para cubrir la superficie y "pegar" el agregado grueso, por lo que podemos aumentar la cantidad de grava con respecto a la de arena para un volumen unitario de concreto y de esta manera tendremos relaciones grava/arena mayores, logrando con ello la optimización citada.

Al realizar pruebas experimentales, uno de los objetivos fue, precisamente, cuidar que se tuviera una relación grava/arena adecuada, conociendo de antemano las características de los materiales, la relación agua/cemento, etc..

Las observaciones cuidadosas de estas pruebas de concretos con diferentes materiales, diferentes resistencias, diferentes revenimientos, en conjunto con la vasta experiencia de producir concreto durante muchos años, han servido para confirmar y aceptar las hipótesis de dicho fenómeno, lo cual nos condujo a tener la posibilidad de poder seleccionar, de una forma óptima, la relación grava/arena para cualquier concreto en especial, a continuación se explica el comportamiento.

El primer paso es referirnos a los casos de condiciones extremas;

1A -Combinación de Grava de Canto Rodado (1) y Arena Fina (A)

Como se vió en el Capítulo II, esta grava es la que presenta la menor superficie específica, y la arena la mayor superficie, por lo que podemos decir que con menos arena "cubrimos" más grava para dar trabajabilidad.

Recordemos que SUPERFICIE ESPECIFICA de un conjunto de partículas (de grava, de cemento, de arena, etc.), se entiende como el área, de las capas superficiales de las partículas, dividida entre el peso de las mismas, es decir, imaginemos que podemos desenvolver a las partículas y a las "envolturas" las extendemos en un plano, todas ellas sumarán una cierta área, la cual la dividimos entre el peso de las partículas, obteniendo con ello la SUPERFICIE ESPECIFICA, así, por ejemplo, hablamos que el cemento tiene una Superficie Especifica de $4000 \text{ cm}^2/\text{gr}$.

Ahora bien, regresando a nuestro caso de la combinación de una grava de Canto Rodado con una Arena Fina, refiriendonos a la grava, encontramos que para una misma granulometría y un mismo peso (considerando igual Peso Volumétrico), este tipo de grava es el de menor superficie específica, ya que una envoltura "tersa y estirada" es de menor área que una rugosa. Por otro lado una arena fina, entre más fina es, y hablando del mismo peso, es la que mayor superficie tiene, de esta forma la hipótesis que se hace es que ésta es la combinación en la que se requiere la menor cantidad de arena.

Después de ajustar algunas curvas, se estableció que los porcentajes de grava, en volumen, serán para este caso;

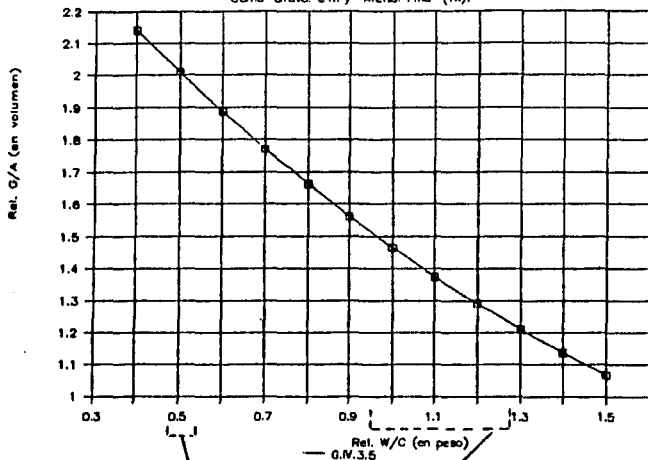
- 66.50%, lo cual dá una Rel. $G/A = 66.50/33.50 = 1.985$, para una Rel. W/C correspondiente a una resistencia requerida $fcr = 369 \text{ kg/cm}^2$ y;
- 56.50%, lo cual dá una Rel. $G/A = 56.50/43.50 = 1.299$, para una Rel. W/C correspondiente a una resistencia requerida $fcr = 72 \text{ kg/cm}^2$. (Recordar que la Rel. W/C depende de la calidad del cemento).

Notese que entre una resistencia y otra, de 369 y 72, hay una diferencia de 10 unidades en el porcentaje de grava; es decir $66.50 - 56.50 = 10$, esta consideración se aplicará a cada una de las combinaciones, dicha consideración tiene por objetivo simplificar el método, pero está bien fundamentada en múltiples pruebas, inclusive, realizando algunas pruebas al azar se tuvieron resultados satisfactorios.

La variación anterior se aprecia en la gráfica G.IV.3.5. y es del mismo tipo de curva que hemos venido manejando en los casos anteriores, de tipo logarítmico, y de igual forma se procede a encontrar las constantes A y B en base a nuestros puntos extremos que han sido explicados, renglones atrás.

Curva Rel. W/C vs. G/A

Comb Grava: C.R. y Arena: Fina (1A).



CALIDAD DE CEMENTO	REL.W/C tal que; fc = 369 kg/cm ²	REL.W/C tal que; fc = 72 kg/cm ²
Excelente	0.541	1.280
Muy Bueno	0.534	1.250
Bueno	0.527	1.220
Medio	0.520	1.190
Regular	0.508	1.110
Malo	0.496	1.030
Muy Malo	0.484	0.950

gráfica G.IV.3.5. Rel. W/C vs. Rel. G/A comb. 1A

De esta forma tenemos la primera curva.

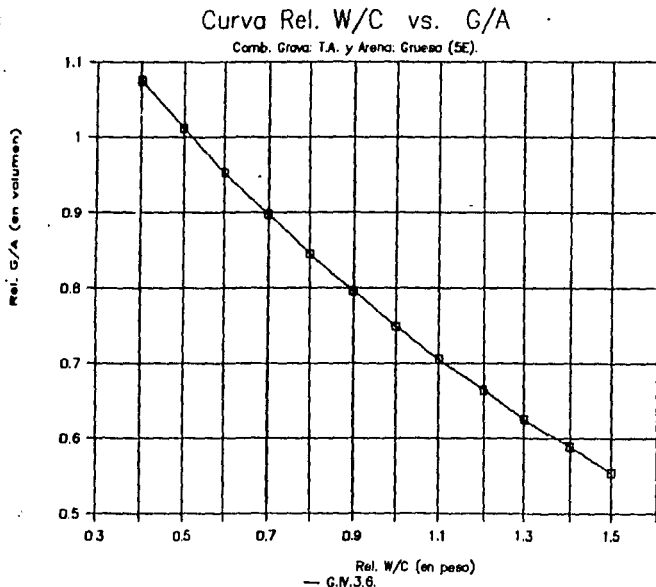
SE.- Combinación de una Grava Triturada Angulosa (5) con una Arena Gruesa (E).

La grava es la que presenta la mayor superficie específica y la arena es la de menor superficie, aquí el desplazamiento de una partícula, con respecto a otra, es más difícil, por su forma más áspera, y se requiere de más arena para que la grava sea "cubierta" y para que las partículas resbalen en una cama o capa más ancha de arena y así poder garantizar la trabajabilidad adecuada del concreto.

Después de ajustar algunas curvas, se estableció que los porcentajes de grava, en volumen, serán para este caso;

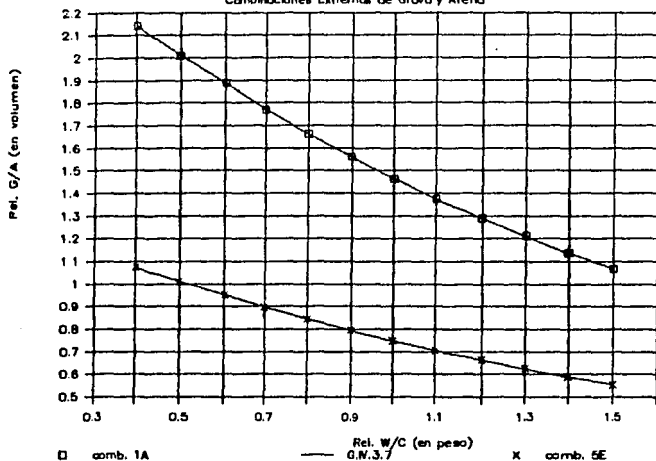
- 50.00%, lo cual da una Rel. G/A = 50.00/50.00 = 1.000, para una Rel. W/C correspondiente a una resistencia requerida $f_{cr} = 369 \text{ kg/cm}^2$ v;
- 40.00%, lo cual da una Rel. G/A = 40.00/60.00 = 0.667, para una Rel. W/C correspondiente a una resistencia requerida $f_{cr} = 72 \text{ kg/cm}^2$. (Recordar que la Rel. W/C depende de la calidad del cemento)

Procediendo en forma idéntica al caso anterior, de la comb. 1A, obtenemos la curva para la comb. 5E, mostrada en la gráfica G.IV.3.6.



Curva Rel. W/C vs. G/A

Combinaciones Extremas de Grava y Arena



La gráfica G.IV.3.7. nos muestra las curvas 1A y 5E correspondientes a la 1a. y a la 25a. curvas respectivamente, entre una y otra habrán de alojarse las 23 curvas restantes: en este caso la variación obtenida fué simplemente una variación lineal, la cual cumple muy bien para definir el comportamiento de las diferentes combinaciones de gravas y arenas.

Por lo tanto, a partir de las combinaciones 1A y 5E, definidas por los puntos extremos siguientes:

comb.	No.curva	pto.P (fc , %GR)	pto.Q (fc , %GR)
1A	1	369 , 66.50	72 , 56.50
5E	25	369 , 50.00	72 , 40.00

Se pueden obtener los puntos extremos que definan las curvas intermedias, en función lineal como sigue:

comb.	No.curva	pto.P (fc , %GR)	pto.Q (fc , %GR)
gr-ar	X	369 , Y	72 , Y'

la ecuación de la recta es;

$$\frac{Y - Y_1}{X - X_1} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

despejando Y;

$$Y = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} (X - X_1) + Y_1$$

donde;

Y ; Es el porcentaje de grava (%GR) que queremos conocer.

X ; Número de curva de la cual queremos conocer el %GR.

Y₁ ; %GR de la curva 1 = 66.50 para fc = 369 kg/cm²
= 56.50 para fc = 72 kg/cm²

X₁ ; Número de la primera curva = 1

Y₂ ; %GR de la curva 25 = 50.00 para fc = 369 kg/cm²
= 40.00 para fc = 72 kg/cm²

X₂ ; Número de la última curva = 25

Para fc = 369 kg/cm² tendremos que el porcentaje de grava para la curva "n" será;

$$\%GR_n = \frac{50.00 - 66.50}{25 - 1} (X - 1) + 66.50$$

finalmente;

$$\%GR_n = 67.1875 - (0.6875 X)$$

procediendo de igual forma para fc = 72 kg/cm²

$$\%GR_n' = 57.1875 - (0.6875 X')$$

De esta manera, %GR_n y %GR_n' serán nuestros puntos llaves con los cuales podremos formar la curva correspondiente que define el comportamiento de la Relación Agua/Cemento vs. Relación Grava/Arena.

Una vez obtenidos los porcentajes de grava, los porcentajes de arena serán el complemento, luego obtendremos la Relación Grava/Arena, de esta forma estamos obteniendo los valores extremos que servirán para calcular las constantes A y B, las cuales a su vez nos definen la ecuación de la curva (lo mismo será para cada una de las 25 diferentes combinaciones).

Para sintetizar y visualizar más claramente lo expuesto, se elaboró la tabla T.IV.3.2.a) en la que se enlistan las diferentes combinaciones, el número que se les asigna, los porcentajes de grava y arena, las relaciones G/A máximas y mínimas, las relaciones W/C correspondientes y el cálculo de las constantes A y B.

Tabla (T.IV.3.2.a) que muestra la variación de los puntos claves con los cuales se calcula la Rel. Grava/Arena en función de la Rel. Agua/Cemento mediante la ecuación logarítmica:

$$\text{Rel G/A} = \frac{A}{B \cdot \frac{w}{c}}$$

Comb.	# de curva	Punto P				Punto O				Valor de la cte. B $\frac{y_2}{y_1} \left(\frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_2} \right)$	Valor de la cte. A $y_1 \cdot x_1$
		- X1 - Rel. W/C tal que fc = 369	GR1 %	AR1 %	- Y1 - Rel. G/A Para X1	- X2 - Rel. W/C tal que fc = 72	GR2 %	AR2 %	- Y2 - Rel. G/A Para X1		
1A	1	1.190	56.50	43.50	1.299	0.520	66.50	33.50	1.985	2.142	1.288
1B	2	1.190	55.81	44.19	1.263	0.520	65.81	34.19	1.925	2.104	1.260
1C	3	1.190	55.13	44.87	1.229	0.520	65.13	34.87	1.868	2.068	1.234
1D	4	1.190	54.44	45.56	1.195	0.520	64.44	35.56	1.812	2.033	1.209
1E	5	1.190	53.76	46.24	1.162	0.520	63.76	36.24	1.759	1.999	1.185
2A	6	1.190	53.07	46.93	1.131	0.520	63.07	36.93	1.708	1.966	1.162
2B	7	1.190	52.38	47.62	1.100	0.520	62.38	37.62	1.658	1.934	1.140
2C	8	1.190	51.70	48.30	1.070	0.520	61.70	38.30	1.611	1.903	1.118
2D	9	1.190	51.01	48.99	1.041	0.520	61.01	38.99	1.565	1.874	1.098
2E	10	1.190	50.33	49.67	1.013	0.520	60.33	39.67	1.521	1.845	1.078
3A	11	1.190	49.64	50.36	0.986	0.520	59.64	40.36	1.478	1.817	1.058
3B	12	1.190	48.95	51.05	0.959	0.520	58.95	41.05	1.436	1.790	1.040
3C	13	1.190	48.27	51.73	0.933	0.520	58.27	41.73	1.396	1.764	1.022
3D	14	1.190	47.58	52.42	0.908	0.520	57.58	42.42	1.357	1.738	1.004
3E	15	1.190	46.90	53.10	0.883	0.520	56.90	43.10	1.320	1.714	0.987
4A	16	1.190	46.21	53.79	0.859	0.520	56.21	43.79	1.284	1.690	0.971
4B	17	1.190	45.52	54.48	0.836	0.520	55.52	44.48	1.248	1.666	0.955
4C	18	1.190	44.84	55.16	0.813	0.520	54.84	45.16	1.214	1.644	0.939
4D	19	1.190	44.15	55.85	0.791	0.520	54.15	45.85	1.181	1.622	0.924
4E	20	1.190	43.47	56.53	0.769	0.520	53.47	46.53	1.149	1.600	0.910
5A	21	1.190	42.78	57.22	0.748	0.520	52.78	47.22	1.118	1.579	0.896
5B	22	1.190	42.09	57.91	0.727	0.520	52.09	47.91	1.087	1.559	0.882
5C	23	1.190	41.41	58.59	0.707	0.520	51.41	48.59	1.058	1.539	0.869
5D	24	1.190	40.72	59.28	0.687	0.520	50.72	49.28	1.029	1.520	0.856
5E	25	1.190	40.03	59.97	0.668	0.520	50.03	49.97	1.001	1.501	0.843

Lo dicho hasta aquí es aplicable a concretos con revenimiento especificado de 10 cm., por lo que ahora veremos que es lo que sucede cuando se requiere mayor revenimiento.

Como la arena proporciona fluidez, y el revenimiento es, más o menos, una medida de esta característica, decimos que para obtener un mayor revenimiento se requiere mayor porcentaje de arena, máxime si se trató de un concreto que será bombeado, pues entre más arena tenga un concreto menor será su resistencia a "fluir" por las tuberías. en base a los estudios realizados y apoyandose, también, en la experiencia se concluyó la siguiente tabla T.IV.3.3.

Si el revenimiento requerido (en cm.) es;	Calcular la relación G/A en base a la curva;
10	original
14	original + 7
14 bomba y 18 bomba	original + 14

tabla T.IV.3.3. Cambios de curvas Grava/Arena según el revenimiento.

por ejemplo;

Si tomamos la combinación 3A (grava Triturada y arena Fina) y $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$, y según la ec. de %GRn. obtenida;

REV.	UTILIZAR LA CURVA No.;	PORCENTAJE DE GRAVA "n"	%ARn
	n	$67.1875 - [0.6875(n)]$	$\%GRn (100 - \%GR)$
10	11	$67.1875 - [0.6875(11)] = 59.6$	40.4
14	11+7=18	$67.1875 - [0.6875(18)] = 54.8$	45.2
14B. o 18B	11+14=25	$67.1875 - [0.6875(25)] = 50.0$	50.0

Pero ...¿qué pasa si estamos en la curva 25 de entrada (comb. 5E) y el revenimiento especificado es 14-B o 18-B? Sucede que ya no habrá más curvas para recorrerlos, es por esta razón que nos vemos obligados a aumentar nuestra lista de curvas, de 25 a; $25 + 14 = 39$ curvas, a las 14 curvas que sumamos, les llamaremos Curvas Extras por Revenimiento (cer) independientemente de la combinación, lo que se pretende con esto es poder incrementar los porcentajes de arena con respecto a los de grava, para un volumen unitario de concreto, y de esta manera lograr los requisitos que exigen los concretos de mayor revenimiento.

Las Curvas Extras por Revenimiento guardan la misma proporción que las originales y ello se puede ver en la nueva tabla T.IV.3.2.b)

Tabla (7.IV.3.2.b) que muestra la variación de los puntos claves con los cuales se calcula la Rel. Grava/Arena en función de la Rel. Agua/Cemento mediante la ecuación logarítmica:

$$\text{Rel G/A} = \frac{A}{B \cdot \%}$$

Coab.	f de curva	Punto P				Punto Q			Valor de la cte. B	Valor de la cte. A	
		- X1 - Rel. W/C tal que fc = 369	GR1 %	AR1 %	- Y1 - Rel. G/A Para X1	- X2 - Rel. W/C tal que fc = 72	GR2 %	AR2 %			- Y2 - Rel. G/A Para X1
1A	1	1.190	56.50	43.50	1.299	0.520	66.50	33.50	1.985	2.142	1.288
1B	2	1.190	55.81	44.19	1.263	0.520	65.81	34.19	1.925	2.104	1.260
1C	3	1.190	55.13	44.87	1.229	0.520	65.13	34.87	1.868	2.068	1.234
1D	4	1.190	54.44	45.56	1.195	0.520	64.44	35.56	1.812	2.033	1.209
1E	5	1.190	53.76	46.24	1.162	0.520	63.76	36.24	1.759	1.999	1.185
2A	6	1.190	53.07	46.93	1.131	0.520	63.07	36.93	1.708	1.966	1.162
2B	7	1.190	52.38	47.62	1.100	0.520	62.38	37.62	1.658	1.934	1.140
.
.
.
.
5C	23	1.190	41.41	58.59	0.707	0.520	51.41	48.59	1.058	1.539	0.869
5D	24	1.190	40.72	59.28	0.667	0.520	50.72	49.28	1.029	1.520	0.856
5E	25	1.190	40.03	59.97	0.668	0.520	50.03	49.97	1.001	1.501	0.843
Curvas Extras por REVENIMIENTO (cer)											
26	1.190	39.35	60.65	0.649	0.520	49.35	50.65	0.974	1.483	0.831	
27	1.190	38.66	61.34	0.630	0.520	48.66	51.34	0.948	1.465	0.819	
28	1.190	37.98	62.02	0.612	0.520	47.98	52.02	0.922	1.447	0.807	
29	1.190	37.29	62.71	0.595	0.520	47.29	52.71	0.897	1.430	0.796	
30	1.190	36.60	63.40	0.577	0.520	46.60	53.40	0.873	1.414	0.785	
31	1.190	35.92	64.08	0.561	0.520	45.92	54.08	0.849	1.398	0.774	
32	1.190	35.23	64.77	0.544	0.520	45.23	54.77	0.826	1.382	0.764	
33	1.190	34.55	65.45	0.528	0.520	44.55	55.45	0.803	1.366	0.754	
34	1.190	33.86	66.14	0.512	0.520	43.86	56.14	0.781	1.351	0.744	
35	1.190	33.17	66.83	0.496	0.520	43.17	56.83	0.760	1.337	0.735	
36	1.190	32.49	67.51	0.481	0.520	42.49	57.51	0.739	1.323	0.725	
37	1.190	31.80	68.20	0.466	0.520	41.80	58.20	0.718	1.309	0.716	
38	1.190	31.12	68.88	0.452	0.520	41.12	58.88	0.698	1.295	0.707	
39	1.190	30.43	69.57	0.437	0.520	40.43	59.57	0.679	1.282	0.699	

Después de haber identificado con que curva trabajar, calculamos las constantes A y B y con ellas definimos la ecuación para encontrar la Relación Grava/Arena en función de la Relación Agua/Cemento encontrada con el modelo CASO 1.

$$\text{Rel. G/A} = \frac{A}{B \cdot w/c}$$

Una vez calculada la Rel. G/A podemos despejar los porcentajes de grava y de arena, en volumen.

$$\frac{\%GR}{\%AR} = R_{g/a} \quad \dots 1$$

$$\%GR + \%AR = 100 \quad \dots 2$$

de 1 y 2 obtendremos;

$$\%GR = \frac{R_{g/a} \times 100}{(R_{g/a} - 1)} \quad \text{y; } \%AR = 100 - \%GR$$

CASO 4.- Resistencia a compresión vs. porcentaje de incremento de cemento por influencia de aditivos.

En la actualidad el uso de aditivos es muy común; como ya se trató en el capítulo II, existen diferentes tipos de aditivos utilizados para diversos fines siempre buscando la mejoría del concreto así, hablamos de expansores, inclusores de aire, etc...

En el medio de la Industria del Concreto Premezclado el aditivo más empleado es el llamado fluidizante, cuya característica es el permitir una reducción de agua, lo que trae por consiguiente un aumento en la resistencia, su uso se ha generalizado y, de hecho, es aplicable en forma sistemática en el concreto.

Pero no todos los aditivos, de este tipo, tienen el mismo grado de calidad, por lo que se han clasificado en tres grupos que pueden modificar la cantidad de cemento en diferentes porcentajes, como se ve en la tabla T.IV.3.4.

CALIDAD DE ADITIVO	AHORRO DE CEMENTO (%)	
Sin Aditivo	-----	
Malo	2.5 ---	5.0
Bueno	5.0 ---	10.0
Muy Bueno	10.0 ---	20.0

tabla T.IV.3.3. Clasificación del Aditivo.

La ubicación del aditivo se puede hacer después de haber observado el comportamiento de resistencias cuando se utiliza el aditivo con respecto a cuando no se hace.

Por otro lado se hace notar que el porcentaje de cemento ahorrado por uso de aditivo, es variable según la resistencia del concreto, por lo que a continuación se establecen las siguientes consideraciones:

- En 1er. lugar la eficiencia del aditivo es directamente proporcional a la cantidad de cemento que contiene un volumen determinado de concreto, es decir entre mayor sea el contenido de cemento en una mezcla de concreto, el aditivo actuará en una forma más eficiente.
- En 2do. lugar el ahorro de cemento no consistirá en disminuir una cantidad de cemento ya calculada previamente (como se verá más adelante), sino dejar como base dicha cantidad en el caso de usar un aditivo "muy bueno" e incrementarla en los porcentajes ya citados en la tabla, para cuando se un aditivo "bueno", "malo" o no se utilice, esto es para dar garantía en cuanto al consumo de cemento se refiere.

Para encontrar el porcentaje de incremento de cemento por emplear el aditivo calificado como "bueno", uno "malo" o por no emplear ninguno, se obtuvo también en esta ocasión curvas del tipo logarítmico.

$$\% \text{ inc. cem.} = \frac{A}{B^{fcr}}$$

donde:

% inc. cem. ; porcentaje de incremento de la cantidad de cemento previamente calculado.

fcr ; resistencia requerida.

A y B ; constantes de la ecuación, las cuales se calculan como ya se ha visto (CASO 1), tomando como puntos característicos de las curvas los siguientes;

CALIDAD DE ADITIVO	PUNTOS EXTREMOS		CONSTANTES	
	P	Q	A	B
	(X ₁ , Y ₁)	(X ₂ , Y ₂)		
Bueno	(72 , 2.5%)	(369 , 5.0%)	2.113	0.998
Malo	(72 , 5.0%)	(369 , 10.0%)	4.206	0.998
Sin Aditivo	(72 , 10.0%)	(369 , 20.0%)	8.411	0.998

Recordar que las constantes A y B se calculan en base a dos ecuaciones con dos incógnitas quedando:

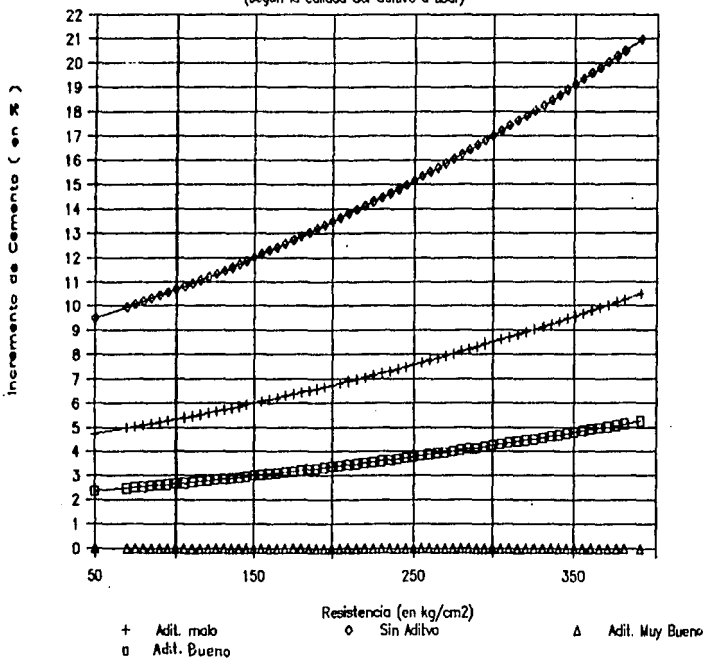
$$B = \left(\frac{Y_2}{Y_1} \right)^{\frac{1}{(1 + (M_1 - M_2))}}$$

$$A = Y_1 B^{M_1}$$

las curvas quedan representadas en la gráfica G.IV.3.8:

fc vs. incremento de Cemento x aditivo

(Segun la calidad del aditivo a usar)



IV.4.- PROCESO DE CALCULO (Preliminar)

Despues de haber estudiado algunos comportamientos de los parámetros de diseño , viendo como quedan representados matemáticamente y pudiendo referirnos a ellos cuando se necesite, haciendo mención como CASO 1, CASO 2.... etc. durante el proceso de cálculo, continuamos con los pasos del algoritmo:

Recordemos que el PASO 1 fué la entrada de toda la información necesaria.

PASO 2.- Si el criterio del Diseño de Mezcla es por resistencia a la compresión pasar directo al PASO 3.

Si el criterio es por Rel. W/G pasar al PASO 4a.

Si el criterio es por resistencia a la tensión, se debe encontrar un valor equivalente de resistencia a la compresión por medio de la siguiente fórmula;

$$f_c = c_t (f'_t) + 50$$

donde;

f_c ; resistencia a compresión de diseño en kg/cm^2 .
 c_t ; variable de fórmula, tiene los siguientes valores;

TIPO DE GRAVA	c_t (adim)
Canto Rodado	0.233
Natural	0.222
Semitriturada	0.211
Triturada	0.201
Triturada Angulosa	0.191

f'_t ; dato de resistencia a tensión en kg/cm^2 .

50 ; constante de fórmula en kg/cm^2 .

NOTA IMPORTANTE:

El comportamiento que se está proponiendo en cuanto a la correlación de las resistencias de Tensión y Compresión, fué obtenido en base a pruebas con Agregado clasificado como ANDESITA, cuya densidad oscila entre 2.3 y 2.4, lo que de alguna manera nos indica que se trata de un material de REGULAR resistencia estructural interna, por lo tanto:

1.- Cuando se vaya a utilizar un Agregado con mayor densidad que la mencionada arriba (y por lo tanto de mejores características mecánicas), como puede ser alguno que esté clasificado dentro del siguiente grupo de clases de rocas;

CLASE DE ROCA	DENSIDAD
Caliza	2.3 - 2.8
Arenisca	2.3 - 2.6
Cuarzo	2.4 - 2.6
Granito	2.4 - 2.7
Andesita	2.4 - 2.7
Basalto	2.5 - 2.9
Limonita	3.0 - 3.8
Barita	4.0 - 4.5
Magnetita	4.5 - 5.0

entonces, podremos estar seguros que los resultados de resistencia a tensión estimados, calculados con el método, serán satisfactorios y estaremos del lado de la seguridad.

2.- Cuando se vaya a emplear una grava de densidad inferior a 2.3 como es el caso de las siguientes clases de roca:

CLASE DE ROCA	DENSIDAD
Pómez	1.2 - 1.8
Escoria Volcánica	1.6 - 2.2

lo aconsejable es: a).- tratar de conseguir otro material de mayor densidad, como los vistos en el punto anterior, o b).- efectuar ensayos previos, pero afectando el valor de la resistencia de diseño a tensión por algún factor de seguridad.

.....

PASO 3.- Con la resistencia a compresión de diseño, calcular el "Sobrediseño" que permita cumplir con la NOM C-155, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

TIPO Y GRADO DE CALIDAD DE CONCRETO	SOBREDISEÑO fcr en kg/cm ²
Normal A	$f'c + [0.842(S)]$
Normal B	$[1.059(f'c) + 34.811] + [0.842(S)]$
Resist. Rápida A	$f'c + [1.282(S)]$
Resist. Rápida B	$[1.059(f'c) + 34.811] + [1.282(S)]$

donde;

fcr ; Resistencia a compresión requerida en kg/cm².
S ; Desviación estandar esperada en kg/cm².

PASO 4a.- Con el dato de la Rel. W/C calcular la resistencia a compresión que se obtendrá:

$$f_c = \frac{A}{B^{W/C}} \quad \text{Recordando que A y B dependeran de la calidad del cemento.}$$

PASO 4b.- Con la resistencia a compresión requerida (f_{cr}) del PASO 3 calcular la Relación Agua/Cemento:

$$(R_{w/c})_1 = \frac{\text{LOG A} - \text{LOG } f_{cr}}{\text{LOG B}}$$

donde;

$(R_{w/c})_1$; Relación agua/cemento original o primera, en peso.
A y B ; Constantes que dependen de la calidad del cemento

(ver CASO 1 de Modelos matemáticos).

PASO 5.- Con al resistencia a compresión requerida (f_{cr}) del PASO 3 calcular la 1a. estimación de agua o agua base (W_x) o (W_x):

$$W_x = \frac{A}{B^{f_{cr}}}$$

donde;

W_x ; Agua base, en litros/metro cúbico.
A y B ; Constantes que dependen de f_{cr} (mayor o menor de 200 kg/cm²).

(ver CASO 2 de Modelos Matemáticos).

PASO 6.- Con el dato de tipo de grava y del Agua₁ del PASO 5, calcular una 2da. estimación de agua (W_{xx}) o (W_{xx}), según la siguiente tabla;

TIPO DE GRAVA	CALCULO DE W_{xx} (en lt./m ³)
Canto Rodado	$W_x - 10$
Natural	$W_x - 5$
Semitriturada	W_x
Triturada	$W_x + 5$
Triturada Angulosa	$W_x + 10$

PASO 7.- Con el dato de T.M.A. el revenimiento y el Agua_{xxx} (W_{xxx}) del PASO 6, calcular la 3a. estimación de agua (Agua_{xxx}) o (W_{xxx}):

T.M.A (mm.)	REVENIMIENTO (cm.)	CALCULO DE W _{xxx} (en lt./m ³)
20	10	W _{xxx}
	14	W _{xxx} + 10
	14 Bomba	W _{xxx} + 20
	18 Bomba	W _{xxx} + 30
40	10	W _{xxx} - 10
	14	W _{xxx}
	14 Bomba	W _{xxx} + 10
	18 Bomba	W _{xxx} + 20

PASO 8.- Con el valor de Agua_{xxx} calculado en el PASO 7 y con la Relación Agua/Cemento calculada en el PASO 4 (RW/c), se calcula un peso de cemento (Cem_x) o (C_x):

de la fórmula: $(RW/c)_x = W_{xxx}/C_x$

despejamos C_x:

$$C_x = \frac{W_{xxx}}{(RW/c)_x}$$

PASO 9.- Se calcula, con el dato de calidad de aditivo y Cem_x, el posible incremento de la cantidad de Cemento (Cem_{xxx}) o (C_{xxx}):

$$C_{xx} = C_x (1 + \%D)$$

donde:

%D ; Es el porcentaje de incremento de cemento por concepto de aditivo, calculado como;

$$\%D = A/B^{fcr}$$

A y B ; Constantes que dependen de fcr del PASO 2.

(ver CASO 4 de Modelos Matemáticos).

PASO 10.- Calcular la cantidad de aditivo, utilizando el dato de la dosificación de 1/1000 (uno al millar), con respecto a la cantidad de cemento.

$$AD_x = (C_{xx} \cdot \text{dosif.})/1000$$

donde:

AD_x ; Cantidad de Aditivo, en lt.
dosif. ; dosificación de Aditivo.

PASO 11.- Con el dato de Tipo de grava, módulo de finura de la arena y el revenimiento, seleccionar el número de curva que se va a utilizar y calcular la Relación Grava/Arena:

$$(R_{G/A})_1 = \frac{A}{B \cdot (R_{G/A})_1}$$

(ver CASO 3 de Modelos Matemáticos).

PASO 12.- Con la $(R_{G/A})_1$ del PASO 11 calcular los porcentajes respectivos de grava y de arena:

$$\%GR_1 = \frac{(R_{G/A})_1}{(R_{G/A})_1 + 100} \quad \text{y} \quad \%AR_1 = 100 - \%GR_1$$

PASO 13.- De haber necesidad de combinar Gravas y/o Arenas, para mejorar la granulometría, realizarla según el procedimiento de igualación de áreas entre límites granulométricos, visto en el capítulo II y obtener;

- Los porcentajes de cada material que se va a combinar.
- Los valores ponderados de;

$$\text{Densidad}_m = \frac{D_1 \cdot D_2}{D_2(\%_1) + D_1(\%_2)} \quad \begin{array}{l} 1 ; \text{grava 1 ó arena 1} \\ 2 ; \text{grava 2 ó arena 2} \end{array}$$

$$\text{Absorción}_m = \text{ABS}_1 (\%_1) + \text{ABS}_2 (\%_2)$$

$$\text{Humedad}_m = \text{HUM}_1 (\%_1) + \text{HUM}_2 (\%_2)$$

$$\text{Granulometría}_m = P_{i1} (\%_1) + P_{i2} (\%_2) \quad \text{Pi ; Peso ret. en c/malla.}$$

de la granulometría se obtiene;

- módulo de finura ponderado.
- contaminación ponderada.

De no haber combinación, se tomarán las características de agregado grueso o de fino, únicas.

PASO 14.- Con los datos de densidades de los agregados, peso de cemento C_{xx} (del PASO 9) y el peso del agua W_{xxx} (del PASO 7), calcular un peso de agregados P_{agr1} .

$$P_{agr1} = \{1000 - [(C_{xx}/3.12) + W_{xxx}]\} \cdot [(\%GR_1 \cdot DGR)/1000] + \{1000 - [(C_{xx}/3.12) + W_{xxx}]\} \cdot [(\%AR_1 \cdot DAR)/1000]$$

donde: $Pagr_1 = \text{Peso de Grava} + \text{Peso de Arena}$

DGR : Densidad de la grava. en kg/m³
 DAR : Densidad de la arena. en kg/m³
 Pagr₁ : Peso de agregados. en kg.

o sea; la Grava Teórica I es:

$$GR_x = \{1000 - [(C_{xx}/3.12) + W_{xxx}]\} * [(\%GR_1 * DGR)/1000]$$

y la Arena Teórica I es:

$$AR_x = \{1000 - [(C_{xx}/3.12) + W_{xxx}]\} * [(\%AR_1 * DAR)/1000]$$

PASO 15.- Corrección de pesos, de grava y arena, teóricos I, por concepto de humedades.

$$GR_{xx} = GR_x - \left[\frac{GR_x}{1 + ABSGR} \right] * (ABSGR - HUMGR)$$

GR_x : Es el peso de grava en la condición de saturada y superficialmente seca.

$$P_{sat} = P_{gra} + P_{gra} (ABSGR) \quad P_{gra} = \frac{P_{sat}}{(1 + ABSGR)}$$

GR_{xx} : Es el peso de grava tomado con la humedad real (kg.)

- si HUM > ABS : G_{xx} > G_x La grava contiene agua libre (se pesará menos agua).
 si HUM = ABS : G_{xx} = G_x Condición de agregado saturado y superficialmente seco (no hay ajuste de agua).
 si HUM < ABS : G_{xx} < G_x La grava tiene capacidad de absorber agua (se pesará más agua).

análogamente:

$$AR_{xx} = AR_x - \left[\frac{AR_x}{1 + ABSAR} \right] * (ABSAR - HUMAR)$$

PASO 16.- Corrección del peso del agua por concepto de humedad de los agregados:

$$W_{xv} = W_{xxx} + [(GR_x + AR_x) - (GR_{xx} + AR_{xx})]$$

si (GR_{xx} + AR_{xx}) > (GR_x + AR_x) : (HUM > ABS) Disminuye la cantidad de W_{xxx}, ya que los agregados contienen agua libre.

si $(GR_{xx} + AR_{xx}) = (GR_x + AR_x)$; (HUM = ABS) No hay ajuste de la cantidad de agua.

si $(GR_{xx} + AR_{xx}) < (GR_x + AR_x)$; (HUM < ABS) Aumenta la cantidad de W_{xxx} , ya que los agregados tienen capacidad de absorber.

PASO 17.- Corrección de los Pesos de Gravas y Arenas, por concepto de contaminaciones:

$$GR_{xxx} = GR_x - \{[(AR_{xx} \cdot C_{RenAR})/DAR] - [(GR_{xx} \cdot C_{RenGR})/DGR]\} \cdot DGR$$

$$AR_{xxx} = AR_x - \{[(GR_{xx} \cdot C_{RenGR})/DGR] - [(AR_{xx} \cdot C_{RenAR})/DAR]\} \cdot DAR$$

IV.5.- RESULTADOS DEL PROCESO PRELIMINAR

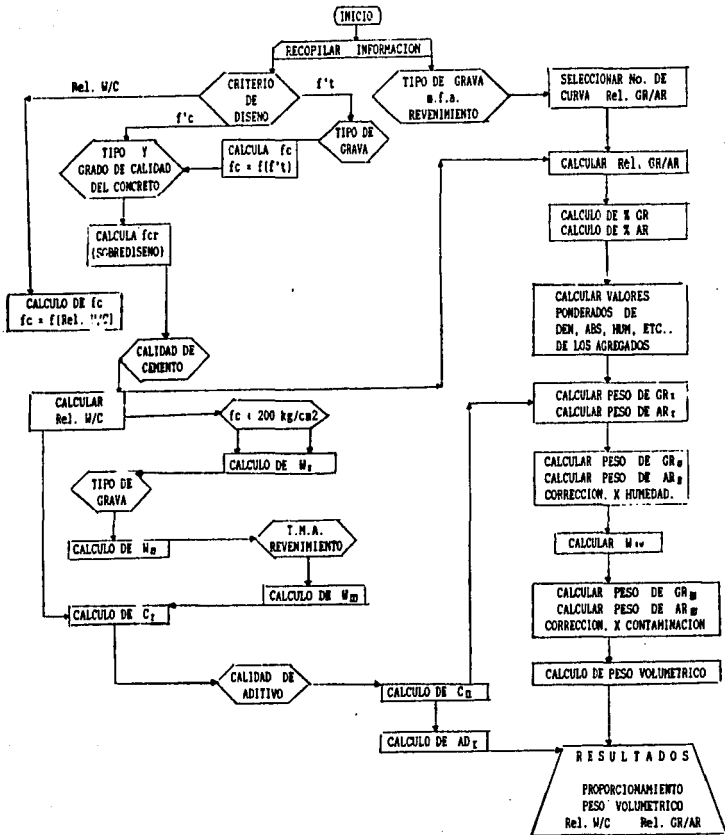
PASO 18.- Finalmente llegamos a nuestro objetivo que es el proporcionamiento de la mezcla de concreto en particular, en este caso dicho proporcionamiento es calculado para un volumen de $1 m^3$ (un metro cúbico), dando las cantidades de materiales para ser dosificadas en peso, inclusive el agua (el peso volumétrico del agua es de $1000 kg/m^3$), el aditivo se marcó en c.c. (centímetros cúbicos).

Se resumen los resultados en una tabla:

MATERIAL	CANTIDAD (Peso en kg.)	
CEMENTO	C_{xx}	[PASO 9]
AGUA	W_{iv}	[PASO 16]
GRAVA 1	GR_{xxx}	[PASO 17] * %GR ₁ [PASO 13]
* GRAVA 2	GR_{xxx}	[PASO 17] * %GR ₂ [PASO 13]
* ARENA 1	AR_{xxx}	[PASO 17] * %AR ₁ [PASO 13]
ARENA 2	AR_{xxx}	[PASO 17] * %AR ₂ [PASO 13] ;
ADITIVO	AD_1	[PASO 10] * 1000. en c.c.
PESO VOLUMETRICO = $C_{xx} + W_{iv} + GR_{xxx} + AR_{xxx}$		
RELACION AGUA/CEMENTO	= $(Rw/c)_1$	[PASO 4]
RELACION GRAVA/ARENA	= $(Rg/a)_1$	[PASO 11]
PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA		[PASO 12]

* nota: De no haber combinación de gravas y/o arenas, se toma el valor del agregado único.

PROCESO PRELIMINAR



CAPITULO V
AJUSTES AL METODO

CAPITULO V

AJUSTES AL METODO

Lo que se ha visto hasta el capítulo IV es lo que forma la base y la estructura del método que se está proponiendo con el presente trabajo, es decir, es lo que vendría a ser la "obra negra" en un edificio.

En este capítulo se tratará acerca del afinamiento del método, podríamos decir que a nuestro edificio lo vamos a acondicionar con instalaciones y acabados para que sea práctico y funcional, para ello veamos los "AJUSTES AL METODO".

V.1.- AJUSTES INTERNOS

Diremos que ajustes internos son aquellos que tienen que ver con la estructura del método, como puede ser el cambio de alguna fórmula, exclusión o inclusión de algún paso del algoritmo, modificación en el proceso de cálculo, es decir, cambio de orden, etc...

Para poder realizar este tipo de ajustes, se llevó a cabo una serie de pruebas de laboratorio apoyadas, también, por las pruebas a escala natural, es decir, ya a nivel producción, evaluando resultados, haciendo correcciones, probando distintos materiales de diversos lugares de la República, ensayando para diferentes revenimientos, granulometrías, etc...

A continuación se presentan algunos ejemplos de pruebas que se elaboraron con la estructura presentada en el capítulo IV y que fueron clave para ajustar o afinar nuestro método:

Ejemplo 1:

Procedencia de los agregados:	Veracruz, Ver.
Datos de la mezcla	
- Resistencia de diseño (f'c)	200 kg/cm ²
- Tipo y Grado de Calidad	Normal "A"
- Revenimiento	10 cm.
- Calidad del Cemento	Bueno
- Calidad del Aditivo	Muy Bueno
- Dosificación de Aditivo	4 al millar
- Desviación Estandar	35 kg/cm ²
- Tamaño Máximo Agregado	20 mm.
- Tipo de Grava	Triturada
- Combinación de Gravas	no
- Combinación de Arenas	no
- Módulo de finura de Arena	1.32

Características de los Agregados			
	Grava	Arena	
Densidad	2.56	2.56	kg/dm ³
Absorción	1.77	3.20	%
Humedad	0.00	4.88	%
Granulometrias			
malla	peso ret. (gr.)	malla	peso ret. (gr.)
1 1/2"	---	No. 4	---
1 "	245	No. 8	---
3/4"	3300	No. 16	1
1/2"	5715	No. 30	16
3/8"	525	No. 50	392
No. 4	150	No. 100	472
CAHROLA	65	No. 200	108
		CHAROLA	6

Resultado del proporcionamiento (Pesos de cada material para un metro cúbico de concreto):

CEMENTO	242 kg.
AGUA	197 lt.
GRAVA	963 kg.
ARENA	892 kg.
ADITIVO	968 c.c.

PESO VOLUMETRICO 2291 kg/m³

Realizando una prueba en el laboratorio para 40 lt. de volumen se observó lo siguiente:

Apariencia de la Rel. Grava/Arena: Muy Buena

Diferencias

Agua real empleada	234 lt.	+ 37
Resultado de fc a 28 días	138 kg/cm ²	- 62
Revenimiento obtenido	12 cm.	+ 2
Peso Volumétrico	2250 kg/m ³	- 41

Ejemplo 2:

En base al ejemplo 1 se decidió ajustar el agua, desde un principio, y por lo consiguiente el cemento, los datos de la mezcla son los mismos; El nuevo proporcionamiento calculado nos dio:

CEMENTO	252 kg.
AGUA	210 lt.
GRAVA	941 kg.
ARENA	875 kg.
ADITIVO	1008 c.c.

PESO VOLUMETRICO 2278 kg/m³

Observaciones en el laboratorio:

Apariencia de la Rel. Grava/Arena: Muy Buena

Diferencias

Agua real empleada	..... 220 lt.	+ 10
Resultado de fc a 28 días	... 164 kg/cm ²	- 34
Revenimiento obtenido	..... 10.5 cm.	+ 0.5
Peso Volumétrico	..... 2250 kg/m ³	- 28

Ejemplo 3:

En base a los ejemplos 1 y 2 se volvió a ajustar el agua, al tiempo que se ajusta automáticamente el cemento, es decir procurando la misma Rel. Agua/Cemento respetando las curvas de ABRAMS, la información de la mezcla se mantiene y el nuevo proporcionamiento que se calculó fué:

CEMENTO	264 kg.
AGUA	220 lt.
GRAVA	923 kg.
ARENA	857 kg.
ADITIVO	1056 c.c.

PESO VOLUMETRICO 2264 kg/m³

Observaciones en el laboratorio:

Apariencia de la Rel. Grava/Arena: Muy Buena

Diferencias

Agua real empleada	..... 220 lt.	+ 0
Resultado de fc a 28 días	... 176 kg/cm ²	- 24
Revenimiento obtenido	..... 10.5 cm.	+ 0.5
Peso Volumetrico	..... 2250 kg/m ³	- 14

El Agua quedo ajustada, pero no así la resistencia de diseño, que es f'c = 200 kg/cm² y mucho menos la resistencia de sobrediseño fcr = 230 kg/cm².

A continuación se hacen algunas consideraciones:

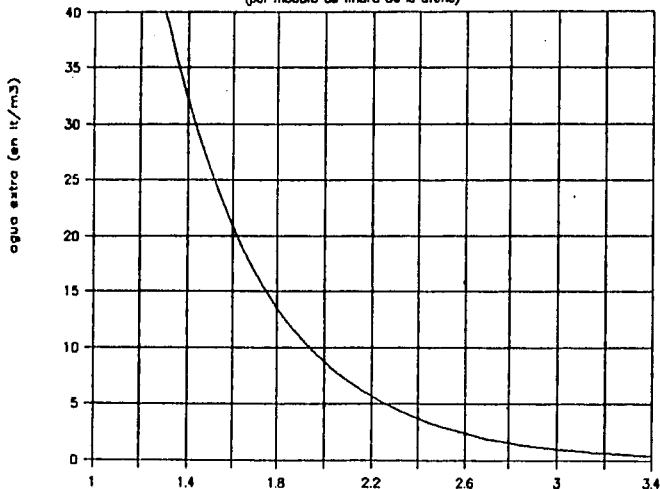
De las observaciones de estas 3 pruebas y de otras con los mismos materiales y para otras resistencias, se pudieron

comprobar algunas hipótesis importantes, como la de que una mezcla hecha con arena de bajo módulo de finura requerirá más agua, entre más bajo sea dicho módulo de finura (m.f.a.), y por consiguiente más cemento, pues se tiene una mayor superficie específica, además ese requerimiento extra de agua está en función del porcentaje de arena que lleve la mezcla (recordar que este porcentaje depende a su vez de la resistencia, tipo de agregados y revenimiento).

En resumen, se obtuvieron algunos puntos para estas muestras mencionadas, los cuales, junto con otros puntos de los que se tiene experiencia, sirvieron para definir el modelo matemático de este fenómeno; En este caso gráficamente algunos de los puntos nos damos cuenta que nos podemos volver a apoyar en el tipo de ecuación logarítmica que ya tanto se ha manejado (ver gráfica G.V.1.1.).

Consumo de agua extra

(por módulo de finura de la arena)



módulo de finura de la arena
— gráfica G.V.1.1.

$$\text{Agua Extra } x \text{ m.f.a.} = \frac{A}{B \text{ m.f.a.}} \dots V.1.I$$

donde:

m.f.a : Módulo de finura de la arena.

A y B : Constantes que se obtienen como ya se ha explicado (capítulo IV, CASO 1), entonces siendo los puntos característicos para obtener estas constantes, el punto P(1.3, 40) y Q(3.0, 1) en este caso las abscisas son módulos de finura y las ordenadas son la cantidad de agua extra.

Falta, ahora, poner esa agua extra en función también del porcentaje de arena, para ese propósito se consiguió después de haber seleccionado algunos puntos claves obtenidos y correlacionarlos, una curva de tipo parabólico.

$$y - k = 4p (x - h)^2$$

Para definir esta ecuación se obtiene el valor de 4p:

$$4p = \frac{y - k}{(x - h)^2}$$

donde (h,k) es el vértice, el cual para nuestro caso es el punto de máximo porcentaje posible de arena que puede tener una mezcla; según lo establecido en nuestro método es del 70% y su consumo de agua correspondiente es un máximo de 40 lt. (x,y) es un punto de la curva, aquí se toma el otro extremo que nos interesa que es para el % mínimo de arena del 33.5 y le corresponde un mínimo de agua extra de 1 lt.

sustituyendo valores:

$$4p = \frac{1 - 40}{(33.5 - 70.0)^2} = \frac{-39}{1332.25} = -0.0292738$$

finalmente queda:

$$y = -0.0293738 (x - 70)^2 + 40 \dots V.1.II$$

(ver gráfica G.V.1.2)

Ahora bien, este valor obtenido con la ec. V.1.II, lo dividimos entre 40 y obtenemos un factor f1, que multiplicado por el valor obtenido con la ec. V.1.I nos dará finalmente el consumo de agua extra por módulo de finura de la arena y por porcentaje de la misma. en la tabla T.V.1.1 se dan algunos puntos.

% Arena	Valor de y ec.V.1.II	Factor f=y/40	m.f.= 1.3 agua=f*40	m.f.= 2.0 agua=f*10	m.f.=3.0 agua=f*1
70	40	1.00	40	10.0	1.00
60	37	0.93	37	9.3	0.93
50	28	0.71	28	7.1	0.71
40	14	0.34	14	3.4	0.34
33.5	1	0.02	1	0.2	0.02

tabla T.V.1.1. Agua extra por módulo de finura de arena y %AR

Podemos resumir lo anterior en la siguiente ecuación de 3 variables:

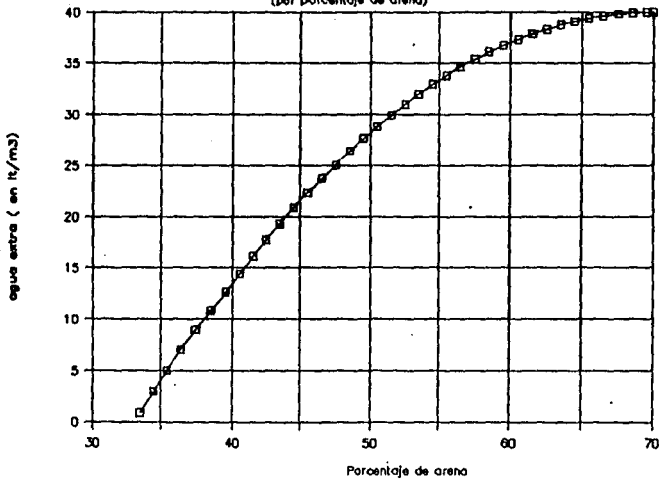
agua extra

$$x \text{ m.f.a y \%AR} = (A/B^{m-c}) = \{-0.0292738 (\%AR - 70)^2 + 40\}/40$$

El resultado obtenido con la fórmula anterior se le sumará al agua W_{xx} , calculada en el PASO 6 del capítulo IV.

Consumo de agua extra

(por porcentaje de arena)



- gráfica G.V.1.2.

De esta forma, con suficientes pruebas como la ejemplificada en el caso anterior (lo llamaremos el CASO 1 de los ajustes internos) se hicieron otros ajustes internos al método, los cuales se explican a continuación:

2.- Ajuste de las curvas Rel. Agua/Cemento vs. Resistencia a compresión, por concepto de tipo de arena.

Recordando que los puntos para formar dichas curvas, que dependen de la calidad del cemento, son los siguientes:

CALIDAD DEL CEMENTO	RANGO	PUNTOS CARACTERISTICOS
Excelente	350 < F_{cem}	(0.541,369) (1.280,72)
Muy Bueno	336 < " < 350	(0.534,369) (1.250,72)
Bueno	321 < " < 335	(0.527,369) (1.220,72)
Medio	306 < " < 320	(0.520,369) (1.190,72)
Regular	291 < " < 305	(0.508,369) (1.110,72)
Malo	276 < " < 290	(0.496,369) (1.030,72)
Muy Malo	260 < " < 275	(0.484,369) (0.950,72)

Pues bien, ahora se hace una modificación que consiste en que, dependiendo del tipo de arena, las ordenadas de estos puntos cambiarán según la tabla T.V.1.2:

TIPO DE ARENA	ORDENADAS DE Ptos. EXTREMOS
Arena de Rio	360 , 60
Arena de Trituración	369 , 72
Arena de Mina Natural	380 , 105

tabla T.V.1.2. Modificación de las curvas de Abrams por Tipos de Arena.

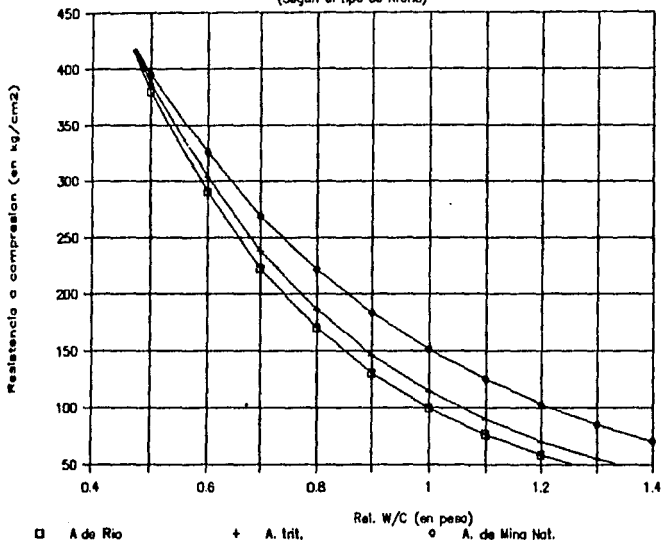
Con lo anterior estamos suponiendo que para relaciones Agua/Cemento iguales, con una arena de río se obtendrá menor resistencia que con una arena de trituración y con ésta a su vez se obtendrá menor resistencia que con una arena de mina natural; Por ello para dar una resistencia requerida f_{cr} , si se utiliza una arena de río, la relación Agua/Cemento tendrá que ser menor, significando mayores consumos de cemento, con respecto a la de trituración y ésta con respecto a la de mina natural.

Es decir, se está haciendo la hipótesis de que una arena de río es poco adherible dentro de la pasta de cemento, debido a su superficie tallada y a la falta de ciertas partículas finas que ayudan al cemento a cubrir espacios libres. Y, por otro lado está la arena de trituración que, por el mismo proceso de obtención, nos da una arena frágil y con exceso de "polvo de trituración" que, en vez de ayudar,

perjudica, pues el efecto es un aumento en el requerimiento de agua, lo cual disminuye la resistencia o bien, una interferencia con la adherencia entre agregado y pasta, o con el proceso de hidratación del cemento, en cambio una arena de mina natural se considerará con buenas cualidades de resistencia y adherencia ya que se ha formado "naturalmente" en la corteza terrestre, donde se há sometido a los fenómenos naturales de presión, desgaste, etc...

Modificación de la curva W/C vs. f_c

(Segun el tipo de Arena)



Rel. W/C (en peso)

□ A. de Río + A. trít. ° A. de Mina Nat.

G.Y.I.S.

3.- Ajuste de la selección de alguna de las curvas de la relación Grava/Arena por concepto de módulo de finura de la grava (m.f.g.)

Una observación importante que se ha hecho es que un mismo tipo de grava requerirá un poco más de arena mientras más fina es ésta, ya que habrá mayor cantidad de partículas,

o sea mayor superficie especifica que cubrir con el mortero.

En el capitulo IV se construyó una tabla formada por 39 curvas de relación Grava/Arena, el número de curva que se escoge depende de: tipo de grava, módulo de finura de la arena y revenimiento.

Para que el número de curva este tambien en función del módulo de finura de la grava se estableció, primero, la siguiente tabla T.V.1.4.

NOTA: Se define el módulo de finura de la grava (m.f.g) como:

$$\frac{\text{SUM \% ret. acum. (mallas: mayor a No.4)}}{100} + 5$$

RANGO	CLASIFICACION	No. de curvas que se recorre en la tabla
7.76 < m.f.g. < 8.10	Muy Gruesa	0
7.41 < " < 7.75	Gruesa	1
7.06 < " < 7.40	Media	2
6.71 < " < 7.05	Fina	3
6.35 < " < 6.70	Muy Fina	4

tabla T.V.1.4. Módulo de finura de las gravas.

Entonces el número de curvas de relación Grava/Arena que se recorre en la tabla del capitulo IV (T.IV.3.2.b) será el número que se marca a la derecha según el rango correspondiente. Para el caso de la última curva, la 39, si la grava es Muy Fina necesitará recorrer a la curva $39 + 4 = 43$, es por ello que como sólo contamos con 39, necesitamos aumentar 4 curvas más. En la tabla siguiente (T.V.1.5.) se muestran las 43 curvas.

Tabla (T.V.1.5.) que muestra la variación de los puntos claves con los cuales se calcula la Rel. Grava/Arena en función de la Rel. Agua/Cemento mediante la ecuación logarítmica:

$$\text{Rel G/A} = \frac{A}{B \cdot \frac{w}{c}}$$

Comb.	# de curva	Punto P			Punto Q			Valor de la cte. B	Valor de la cte. A		
		- X1 - Rel. M/C tal que fc = 369	GR1 %	AR1 %	- Y1 - Rel. G/A Para X1	- X2 - Rel. M/C tal que fc = 72	GR2 %			AR2 %	- Y2 - Rel. G/A Para X1
1A	1	1.190	56.50	43.50	1.299	0.520	66.50	33.50	1.985	2.142	1.288
1B	2	1.190	55.81	44.19	1.263	0.520	65.81	34.19	1.925	2.104	1.260
1C	3	1.190	55.13	44.87	1.229	0.520	65.13	34.87	1.868	2.068	1.234
1D	4	1.190	54.44	45.56	1.195	0.520	64.44	35.56	1.812	2.033	1.209
1E	5	1.190	53.76	46.24	1.162	0.520	63.76	36.24	1.759	1.999	1.185
2A	6	1.190	53.07	46.93	1.131	0.520	63.07	36.93	1.708	1.966	1.162
2B	7	1.190	52.38	47.62	1.100	0.520	62.38	37.62	1.658	1.934	1.140
.
.
5C	23	1.190	41.41	58.59	0.707	0.520	51.41	48.59	1.858	1.539	0.869
5D	24	1.190	40.72	59.28	0.687	0.520	50.72	49.28	1.829	1.520	0.856
5E	25	1.190	40.03	59.97	0.668	0.520	50.03	49.97	1.801	1.501	0.843
Curvas Extras por REVENIMIENTO (cer)											
26	1.190	39.35	60.65	0.649	0.520	49.35	50.65	0.974	1.483	0.831	
27	1.190	38.66	61.34	0.630	0.520	48.66	51.34	0.948	1.465	0.819	
28	1.190	37.98	62.02	0.612	0.520	47.98	52.02	0.922	1.447	0.807	
29	1.190	37.29	62.71	0.595	0.520	47.29	52.71	0.897	1.430	0.796	
.
.
38	1.190	31.12	68.88	0.452	0.520	41.12	58.88	0.698	1.295	0.707	
39	1.190	30.43	69.57	0.437	0.520	40.43	59.57	0.679	1.282	0.699	
Curvas Extras por MÓDULO DE FINURA DE LA GRAVA (m.f.g.)											
41	1.190	29.06	70.94	0.410	0.520	39.06	60.94	0.641	1.257	0.683	
42	1.190	28.37	71.63	0.396	0.520	38.37	61.63	0.623	1.245	0.675	
43	1.190	27.69	72.31	0.383	0.520	37.69	62.31	0.605	1.233	0.667	
44	1.190	27.00	73.00	0.370	0.520	37.00	63.00	0.587	1.222	0.660	

4.- Ajuste de Cemento por absorción de agregados.

Un ajuste interno que se hizo al método, es el correspondiente a incrementar la cantidad de cemento en concretos elaborados con agregados de alto porcentaje de absorción. La razón es que, para un valor alto de esta característica, quiere decir mayor porosidad y por lo tanto se presume de una menor resistencia estructural del agregado en cuestión.

El incremento de cemento se obtendrá de una forma indirecta: Aumentando la cantidad de agua un paso antes de que se calcule la cantidad de cemento la cual está en función del agua y de la Rel. Agua/Cemento ya calculada también, cabe hacer la aclaración de que esa cantidad de agua, de la cual se verá a continuación la forma de calcularla, servirá únicamente para aumentar la cantidad de cemento pero no la del agua propiamente, acusando con ello una Rel. W/C más baja.

El incremento de agua será un porcentaje del peso de agregados, y en tantos puntos como porcentaje de absorción mayor del 5.0%, tengan los agregados, en promedio.

Es decir:

$$\begin{array}{l} \text{kg. de} \qquad \qquad \qquad \text{ABSAR} + \text{ABSGR} \\ \text{incremento} = \{ \{ \frac{\text{-----}}{\text{200}} \} - 0.05 \} \cdot \text{Pagr} \} \\ \text{de agua} \end{array}$$

Ya se verá, en el proceso o método definitivo, la forma de calcular el peso de agregados (Pagr), así como en que momento se hace el ajuste citado.

5.- Ajuste de agua por concepto de absorción y de aditivo.

Ya en el capítulo IV hemos hablado de incrementar la cantidad de cemento por uso de aditivos de menor calidad que otros o por no usar, y en el párrafo anterior hemos anotado la consideración de aumentar también la cantidad de cemento, y se há hecho la observación de mantener la cantidad de agua constante, lo cual se traduce en relaciones Agua/Cemento mucho más bajas y mejores resultados de resistencia a la compresión del concreto. Pero, sucede que, después de haber realizado observaciones de mezclas, se concluyó que a veces ese incremento notable de cemento, sin subir el agua, nos puede restar manejabilidad en el concreto ya que la pasta se vuelve más seca, por lo que se decidió analizar que es lo que pasa si, se aumenta el cemento por dichos conceptos, pero así también se aumente el agua en unos porcentajes tales que no afecten los fenómenos previstos por los cuales se hacen los ajustes; Lo que estamos haciendo es que para un volumen

unitario de concreto, se está proporcionando, de todas formas, un mayor porcentaje de cemento y de agua tal que garanticen la calidad pretendida.

Para el caso de aditivo el ajuste de agua se muestra en la siguiente tabla T.V.1.5.

CALIDAD DE ADITIVO	INCREMENTO DE CEMENTO (%)	AGUA CALCULADA	AGUA AJUSTADA POR ADITIVO = Wad
Muy Bueno	0	Wx	Wad = Wx
Bueno	2.50 - 5.00	Wx	Wad = Wx * 1.02
Malo	5.00 - 10.00	Wx	Wad = Wx * 1.04
Sin Aditivo	10.00 - 20.00	Wx	Wad = Wx * 1.06

tabla T.V.1.5. Ajuste de agua por aditivo.

Para el caso del ajuste de agua, por concepto de agregados de absorción alta, éste será de un 10% del aumento de cemento por absorción precisamente.

Es decir:

$$\text{incremento de agua por absorción alta} = \frac{\text{Cem a} - \text{Cem b}}{10}$$

Cem a ; cemento corregido por absorción.

Cem b ; cemento corregido por T.M.A. y Revenimiento.

En el proceso definitivo se indicará en que momento se producen estos ajustes.

V.2.- AJUSTES EXTERNOS.

A diferencia de los ajustes internos, los ajustes externos no tienen nada que ver con el proceso de cálculo, constantes, tablas, fórmulas, etc..., más bien vamos a definirlos como aquellos ajustes que se realizan debido a errores o fallas en la captura de información de materiales, calidades de cemento, etc... o por diferencias en el criterio para clasificación de datos o en algunas veces porque se quiere abusar en los factores de seguridad y resulta un diseño muy "sobrado" y por lo tanto estaría un poco fuera de lo óptimo.

Pongamos por ejemplo el siguiente caso:

- Para realizar un diseño de mezcla, se cuenta ya con toda la información necesaria de la cual estamos seguros de que todo está correcto, excepto de una situación; ¿Cómo calificar el tipo de grava ?, ya que su apariencia es áspera.

El problema es de que llegó un técnico y dijo: "la grava es triturada". luego llegó otro técnico y calificó a la grava: "la grava es triturada angulosa".

Ante esta diferencia de criterios, lo que nos queda o lo que podemos hacer, en forma rápida, es "probar" con alguna de las 2 clasificaciones y ponerla en práctica mediante la realización de una pequeña muestra en el laboratorio con el proporcionamiento obtenido.

a).- Se decidió probar clasificando como triturada a la grava, la cual requiere menos arena que la triturada angulosa.

- Se efectuó la prueba en el laboratorio y se observó que la mezcla presenta una apariencia áspera, es decir, exceso de grava.

b).- Dado el resultado de la 1a. prueba, ahora clasificamos como triturada angulosa a la grava y obtenemos un nuevo proporcionamiento.

- Se efectuó la prueba en el laboratorio y, esta vez, la apariencia mejora, tenemos un concreto más trabajable cohesivo, no sangra, etc...

Lo importante de los ajustes externos es estar seguros de que la información recopilada es correcta, pues por ejemplo si no sabemos en que rango de calidad está el cemento a utilizar y lo calificamos de Muy Bueno, cuando que quizá no lo sea, nos arriesgamos a obtener malos resultados y por lo tanto, en estos casos, se debe "suponer" las condiciones más desfavorables para estar del lado de la seguridad.

V.3.- PROCESO DE CALCULO (Definitivo)

A continuación se presenta el algoritmo completo del método en una forma resumida, haciendo referencia a tablas y gráficas cuando así se requiera.

Los primeros 6 PASOS de este proceso definitivo corresponden exactamente a los mismos 6 PASOS del proceso preliminar, aquí conviene recordarlos:

PASO 1.- Recopilación de la información necesaria
(IV.2)

PASO 2.- Definir el criterio de Diseño de Mezcla:

a).- Si es por resistencia a la compresión pasar directo al PASO 3.

b).- Si el criterio es por Rel. W/C pasar al PASO 4a.

c).- El tercer criterio es por resistencia a la tensión, que de ser así se debe calcular un valor equivalente de resistencia a la compresión por medio de la siguiente fórmula:

$$f_c = c_t (f'_t) + 50$$

recordando que c_t ; variable de fórmula, tiene los siguientes valores;

TIPO DE GRAVA	c_t (adim)
Canto Rodado	0.233
Natural	0.222
Semitriturada	0.211
Triturada	0.201
Triturada Angulosa	0.191

.....

Recordar la nota de la página 78, donde se recomienda la aplicación adecuada de este último criterio de diseño, pues como se vió entonces, un resultado satisfactorio dependerá mucho de la clasificación del agregado grueso, tomando como característica de comparación a su densidad.

.....

PASO 3. Calcular el "Sobrediseño" que permita cumplir con la NOM C-155, de acuerdo con las siguientes fórmulas;

TIPO Y GRADO DE CALIDAD DE CONCRETO	SOBREDISEÑO fcr en kg/cm ²
Normal A	$f'c + \{0.842(S)\}$
Normal B	$[1.059(f'c) + 34.811] + \{0.842(S)\}$
Resist. Rapida A	$f'c + \{1.282(S)\}$
Resist. Rapida B	$[1.059(f'c) + 34.811] + \{1.282(S)\}$

donde;

fcr ; Resistencia a compresión requerida en kg/cm².
S ; Desviación estandar esperada en kg/cm².

PASO 4a.- Se calcula la resistencia a compresión (fc):

$$fc = \frac{A}{B^{(Rw/c)_1}}$$

Recordando que A y B dependeran de la calidad del cemento.

y pasar al PASO 5

PASO 4b.- Con la resistencia a compresión requerida (fcr), del PASO 3, se calcula la Relación Agua/Cemento:

$$(Rw/c)_1 = \frac{\text{LOG A} - \text{LOG fcr}}{\text{LOG B}}$$

(ver CASO 1 de Modelos matemáticos).

PASO 5.- Tambien con la misma resistencia a compresión requerida (fcr) del PASO 3 calcular la 1a. estimación de agua o (Agua base) o (W_x):

$$W_x = \frac{A}{B^{fcr}}$$

donde;

W_x ; Agua base, en litros/metro cúbico.
A y B ; Constantes que dependen de fcr (mayor o menor de 200 kg/cm²).

(ver CASO 2 de Modelos Matemáticos).

PASO 6.- Según el tipo de grava y del Agua base del PASO 5, calcular una 2da. estimación de agua ($Aguá_{xx}$) o (W_{xx}):

TIPO DE GRAVA	CALCULO DE W_{xx} (en lt./m ³)
Canto Rodado	$W_x - 10$
Natural	$W_x - 5$
Semitriturada	W_x
Triturada	$W_x + 5$
Triturada Angulosa	$W_x + 10$

PASO 7.- Con el dato de Tipo de grava, módulo de finura de la arena, módulo de finura de la grava y el revenimiento, seleccionar el número de curva que se va a utilizar y calcular la Relación Grava/Arena:

$$(R_{g/a})_1 = \frac{A}{B(Rw/c)_1}$$

donde:

$(Rw/c)_1$: es la relación Agua/Cemento de diseño, o bien la calculada en el PASO 4b.

A y B : constantes que dependen de la curva seleccionada.

(ver CASO 3 de Modelos Matemáticos y CASO 3 de ajustes internos).

PASO 8.- Con la $(R_{g/a})_1$ del PASO 7 calcular los porcentajes respectivos de grava y de arena:

$$\%GR_1 = \frac{(R_{g/a})_1}{(R_{g/a})_1 + 100}$$

$$y ; \%AR_1 = 100 - \%GR_1$$

PASO 9.- Con el dato de T.M.A., el revenimiento, módulo de finura y % de la arena y el Agua_{xxx} (W_{xx}) del PASO 6, calcular la 3a. estimación de agua (Agua_{xxx}) o (W_{xxx}):

T.M.A (mm.)	REVENIMIENTO (cm.)	CALCULO DE W _{xxx} (en lt./m ³)
20	10	W _{xx} + W _{m. f-xar}
	14	W _{xx} + 10 + W _{m. f-xar}
	14 Bomba	W _{xx} + 20 + W _{m. f-xar}
	18 Bomba	W _{xx} + 30 + W _{m. f-xar}
40	10	W _{xx} - 10 + W _{m. f-xar}
	14	W _{xx} + W _{m. f-xar}
	14 Bomba	W _{xx} + 10 + W _{m. f-xar}
	18 Bomba	W _{xx} + 20 + W _{m. f-xar}

W_{m. f-xar} : es el agua extra por modulo de finura y % de arena y vale:

$$W_{m. f-xar} = (A/B^{m \cdot f}) \cdot \{[-0.0292738 (\%AR - 70)^2] + 40\}/40$$

(ver CASO 1 de ajustes internos)

PASO 10.- Con el valor de Agua_{xxx} calculado en el PASO 9 y con la Relación Agua/Cemento calculada en el PASO 4 (Rw/c), se calcula un peso de cemento (C_x) o (C_x):

de la fórmula:

$$(Rw/c)_x = W_{xxx}/C_x$$

despejamos C_x:

$$C_x = \frac{W_{xxx}}{(Rw/c)_x}$$

PASO 11.- Con los datos de densidades de los agregados, peso de cemento C_x (del PASO 10) y el peso del agua W_{xxx} (del PASO 9), calcular un peso de agregados Pag_r.

$$Pag_r = \{1000 - [(C_x/3.12) + W_{xxx}]\} \cdot [(\%GR_1 \cdot DENGR)/1000] + \{1000 - [(C_x/3.12) + W_{xxx}]\} \cdot [(\%AR_1 \cdot DENAR)/1000]$$

Pag_r = Peso de Grava + Peso de Arena

donde;

DENGR : Densidad de la grava, en kg/m³
 DENAR : Densidad de la arena, en kg/m³
 Pag_r : Peso de agregados, en kg.
 3.12 : Densidad del cemento.

PASO 12.- Con el W_{xxx} y las absorciones de los agregados, calculamos un nuevo peso de agua, el cual solo servirá para aumentar la cantidad de cemento en el siguiente paso, pero el agua que se seguirá manejando es el W_{xxx} .

$$W_{xv} = \{ [((\text{ABSGR} + \text{ASBAR}) / 200) - 0.05] * \text{Pagr}_x \} + W_{xxx}$$

El peso de agregados Pagr_x , es el calculado en el PASO 11.

PASO 13.- Con el Agua $_{xv}$ del PASO anterior y con la RW/c_1 del PASO 4 calculamos una nueva cantidad de cemento:

$$C_{xx} = \frac{W_{xv}}{(\text{RW}/c)_1}$$

PASO 14.- Se calcula, con el dato de calidad de aditivo y Cem_{xx} , el posible incremento de la cantidad del Cemento $_{xx}$, que será (Cem_{xxx}) o (C_{xxx}) :

$$C_{xxx} = C_{xx} (1 + \%D)$$

donde:

$\%D$; Es el porcentaje de incremento de cemento por concepto de aditivo, calculado como:

$$\%D = A/B^{fcr}$$

A y B ; Constantes que dependen de fcr del PASO 2. y de la calidad del aditivo.

(ver CASO 4 de Modelos Matemáticos).

PASO 15.- Calcular la cantidad de aditivo, utilizando el dato de la dosificación de 1/1000 (uno al millar), con respecto a la cantidad de cemento.

$$\text{AD}_x = (C_{xxx} * \text{dosif.}) / 1000$$

donde:

AD_x ; Cantidad de Aditivo, en lt.

dosif ; dosificación de Aditivo, en 1/1000.

PASO 16.- Calcular el ajuste de Agua $_{xxx}$ por absorción y por aditivo (Agua $_{wv}$) (W_w) en base a las tablas ya vistas en el CASO 5 de ajustes internos.

Agua corregida por aditivo Wad.

CALIDAD DE ADITIVO	INCREMENTO DE CEMENTO %	AGUA CALC	AGUA AJUSTADA POR ADITIVO
Muy Bueno	0	W _{xxx}	Wad = W _{xxx}
Bueno	2.50 - 5.00	W _{xxx}	Wad = W _{xxx} (1.02)
Malo	5.10 - 10.00	W _{xxx}	Wad = W _{xxx} (1.04)
Sin Aditivo	10.10 - 20.00	W _{xxx}	Wad = W _{xxx} (1.06)

Agua corregida por absorción Wabs.

$$W_{abs} = (C_{xx} - C_x) / 10$$

Así, el Agua_v será: $W_v = W_{ad} + W_{abs}$

(ver CASO 5 de ajustes internos).

PASO 17.- Con el W_v , del PASO 16, y el C_{xxx} , del PASO 14, se calcula una nueva relación Agua/Cemento $(R_{w/c})_2$:

$$(R_{w/c})_2 = \frac{W_v}{C_{xxx}}$$

PASO 18.- Con el mismo numero de curva seleccionado en el PASO 7, volver a calcular una nueva relación Grava/Arena $(R_{g/a})_2$, pero ahora en función de la $(R_{w/c})_2$ del PASO 17:

$$(R_{g/a})_2 = \frac{A}{B \cdot (R_{w/c})_2}$$

PASO 19.- Con la nueva relación Grava/Arena $(R_{g/a})_2$ se calculan, nuevamente, los porcentajes de grava y de arena:

$$\%GR_2 = \frac{(R_{g/a})_2}{(R_{g/a})_2 + 100} \quad \text{y} \quad \%AR_2 = 100 - \%GR_2$$

PASO 20.- De haber necesidad de combinar Gravas y/o Arenas, para mejorar la granulometría, realizarla según el procedimiento de igualación de áreas entre límites granulométricos, visto en el capítulo II y obtener:

- Los porcentajes de cada material que se va a combinar.
- Los valores ponderados de;

$$\text{Densidad}_m = \frac{D_1 \cdot D_2}{D_2(\%_1) + D_1(\%_2)} \quad \begin{array}{l} 1 ; \text{grava 1 ó arena 1} \\ 2 ; \text{grava 2 ó arena 2} \end{array}$$

$$\text{Absorción}_m = \text{ABS}_1 (\%_1) + \text{ABS}_2 (\%_2)$$

$$\text{Humedad}_m = \text{HUM}_1 (\%_1) + \text{HUM}_2 (\%_2)$$

$$\text{Granulometría}_m = \text{Pi}_1 (\%_1) + \text{Pi}_2 (\%_2) \quad \text{Pi ; Peso ret. en c/malla.}$$

de la granulometría se obtiene;

- modulo de finura ponderado.
- contaminación ponderada.

De no haber combinación, se tomarán las características de agregado grueso o de fino, únicas.

PASO 21.- Con los datos de densidades de los agregados, únicas o ponderadas, peso de cemento C_{xxx} (del PASO 14) y el peso del agua W_v (del PASO 16), calcular los pesos de cada agregado por metro cúbico:

Grava Teórica 1:

$$GR_x = \{1000 - [(C_{xxx}/3.12) + W_v]\} \cdot [(\%GR_x \cdot \text{DENGR})/1000]$$

Arena Teórica 1:

$$AR_x = \{1000 - [(C_{xxx}/3.12) + W_v]\} \cdot [(\%AR_x \cdot \text{DENAR})/1000]$$

PASO 22.- Corrección de pesos, de grava y arena, teóricos I, por concepto de humedades.

$$GR_{xx} = GR_x - \left[\frac{GR_x}{1 + \text{ABSGR}} \right] \cdot (\text{ABSGR} - \text{HUMGR})$$

GR_x ; Es el peso de grava en la condición de saturada y superficialmente seca.

$$\text{Psat} = P_{gra} + P_{gra} (\text{ABSGR}) \quad P_{gra} = \frac{\text{Psat}}{(1 + \text{ABSGR})}$$

$$\text{Psat} = P_{gra} (1 + \text{ABSGR})$$

GR_{xx} ; Es el peso de grava tomado con la humedad real (kg.)

- si HUM > ABS ; $G_{xx} > G_x$ La grava contiene agua libre (se pesará menos agua).
- si HUM = ABS ; $G_{xx} = G_x$ Condición de agregado saturado y superficialmente seco (no hay ajuste de agua).
- si HUM < ABS ; $G_{xx} < G_x$ La grava tiene capacidad de absorber agua (se pesará más agua).

análogamente;

$$AR_{xx} = AR_x - \left[\frac{AR_x}{1 + ABSAR} \right] * (ABSAR - HUMAR)$$

PASO 23.- Corrección del peso del agua por concepto de humedad de los agregados;

$$W_{w_x} = W_w + [(GR_x + AR_x) - (GR_{xx} + AR_{xx})]$$

- si $(GR_{xx} + AR_{xx}) > (GR_x + AR_x)$; (HUM > ABS) Disminuye la cantidad de W_w , ya que los agregados contienen agua libre.
- si $(GR_{xx} + AR_{xx}) = (GR_x + AR_x)$; (HUM = ABS) No hay ajuste de la cantidad de agua.
- si $(GR_{xx} + AR_{xx}) < (GR_x + AR_x)$; (HUM < ABS) Aumenta la cantidad de W_w , ya que los agregados tienen capacidad de absorber.

PASO 24.- Corrección de los Pesos de Gravas y Arenas, por concepto de contaminaciones:

$$GR_{xxx} = GR_{xx} - \{[(AR_{xx} * CGRenAR)/DAR] - [(GR_{xx} * CARENGR)/DGR]\} * DGR$$

$$AR_{xxx} = AR_{xx} - \{[(GR_{xx} * CARENGR)/DGR] - [(AR_{xx} * CGRenAR)/DAR]\} * DAR$$

- CGRenAR : contaminación de grava en arena [%].
- CARENGR : contaminación de arena en grava [%].

IV.5.- RESULTADOS DEL PROCESO DEFINITIVO

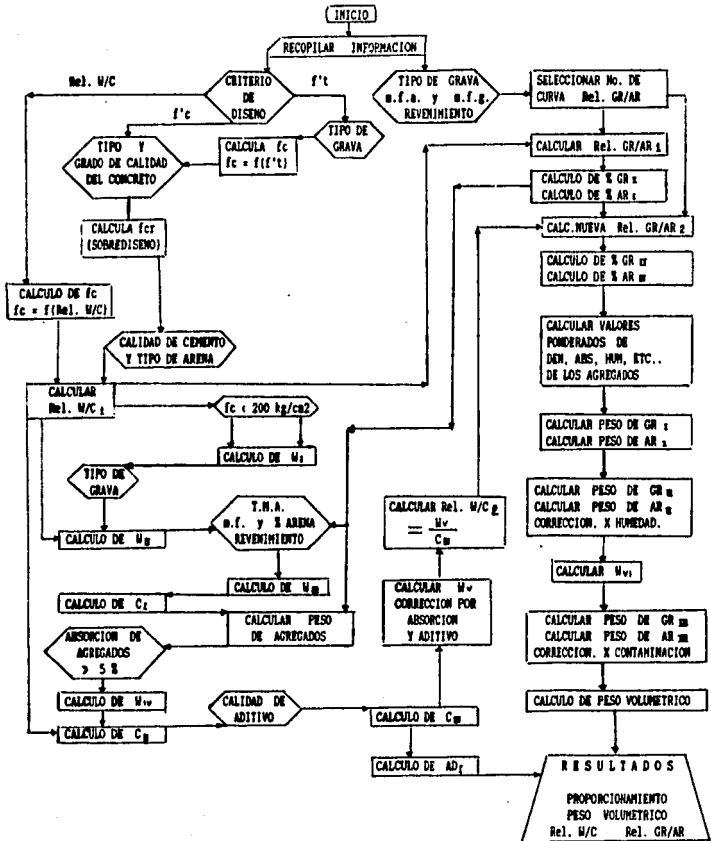
PASO 25.- Ahora si podemos resumir los resultado que nos interesan, que es el proporcionamiento de los materiales en este caso dicho proporcionamiento es calculado para un volumen de 1 m³ (un metro cúbico), dando las cantidades de materiales para ser dosificadas en peso, inclusive el agua (el peso volumétrico del agua es de 1000 kg/m³), el aditivo se marcó en c.c. (centímetros cúbicos), se dan tambien la relación Agua/Cemento, la relación Grava/Arena y el Peso Volumétrico.

Se resumen los resultados en una tabla:

MATERIAL	CANTIDAD (Peso en kg.)	
CEMENTO	C _{xxx}	[PASO 14]
AGUA	W _{uz}	[PASO 23]
GRAVA 1	GR _{xxx}	[PASO 24] * %GR ₁ [PASO 20]
GRAVA 2	GR _{xxx}	[PASO 24] * %GR ₂ [PASO 20]
ARENA 1	AR _{xxx}	[PASO 24] * %AR ₁ [PASO 20]
ARENA 2	AR _{xxx}	[PASO 24] * %AR ₂ [PASO 20]
ADITIVO	AD ₁	[PASO 15] * 1000, en c.c.
PESO VOLUMETRICO = C _{xxx} + W _{uz} + GR _{xxx} + AR _{xxx}		
RELACION AGUA/CEMENTO	= (R _{w/c}) _z	[PASO 17]
RELACION GRAVA/ARENA	= (R _{g/a}) _z	[PASO 18]
PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA		[PASO 19]

* nota: De no haber combinación de gravas y/o arenas se toma el valor del agregado único.

PROCESO DEFINITIVO



CAPITULO VI
CONCLUSIONES

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Para obtener diseños de mezclas de concreto, con ciertos materiales disponibles, con algún método tradicional, se procede como se indicó en el capítulo I. recordemos

Primero se obtiene la información necesaria, como son algunas características de los agregados, tablas de consumos de grava y arena, de consumos de cemento y agua dependiendo de la resistencia que se quiere tenga el concreto, etc...

Se realiza el cálculo de un proporcionamiento.

Con el proporcionamiento obtenido se procede a realizar una mezcla de laboratorio denominada "mezcla tentativa", en ese momento se habrán de ajustar los diseños originales en cuanto que esta primera mezcla puede presentar una apariencia no aceptable, falta o sobra en el consumo de agua, inconsistencia en el peso volumétrico, etc...

Se elaboran Cilindros Estandar con el fin de ensayarlos a edades especificadas y verificar la resistencia a compresión a la que fué diseñado el concreto. Con esto se tendrá un valor "aislado", el cual tiene que ser interpretado pues se pretende empezar a producir lo más pronto posible: La interpretación consiste en ver si el valor fué bueno, pero lo más seguro es que no se este tomando en cuenta que la resistencia del concreto es una variable que tiene una distribución de frecuencias Normal (Campana de Gauss) por lo que dicho valor puede estar en cualquier punto del rango que depende de la Desviación Estandar (S) (la N.O.M C-155 marca una Máxima de 35 Kg/cm²), es decir del control que se tiene durante la producción del concreto.

Por ejemplo para un nivel de confianza del 95.45%, es decir tomando un intervalo de $\bar{X} \pm 2S$, donde \bar{X} es la media y S es la Desviación Estandar la cual, si tomamos la de 35, nos dará un intervalo de $2(35)=70$, pero son 70 kg/cm² hacia abajo y 70 hacia arriba de la media o sea un intervalo de confianza de 140 kg/cm².

Suponiendo que el resultado se juzgó apropiado para elaborar el concreto, Al comenzar a producir y evaluar la calidad, tendremos que:

a).- Si el valor obtenido en el laboratorio es próximo a la media no existirá problema.

b).- Si el punto cae hacia el extremo de +2S tendremos un concreto de muy pobre calidad.

c).- Si este valor se ubico hacia el extremo de -2S se estara produciendo un concreto de "sobrada" calidad es decir, los resultados fueron proporcionamientos "excedidos" para lograr la calidad adecuada y por lo tanto fuera de lo optimo. Además, para esos materiales en particular, no basta un solo diseño sino que es necesario elaborar series que abarquen diferentes resistencias, revenimientos, etc...

Si, por otro lado, el juicio que se dió en los resultados de laboratorio a la edad especificada, fué de que no era conveniente producir el concreto, habrá que rediseñar, requiriendose, por lo tanto, mayor inversión de tiempo y dinero.

Y todavía falta sumar los cambios que se presentan en las características de los materiales: Desde el cemento y los agregados hasta el agua y los aditivos, con lo cual habria que cambiar nuevamente los proporcionamientos.

En el presente trabajo se han fijado las bases para lograr un diseño de mezcla optimo, es decir llegar a tener las proporciones de materiales que han de conformar un concreto que cumpla con la calidad y economía adecuadas a las necesidades con los recursos disponibles, de tal modo que si se hace un diseño y realizamos pruebas de laboratorio, estas tendran el mínimo de correcciones, ya que el cálculo se realiza tomando en cuenta la mayor parte de los parámetros posibles y con las características de los materiales del momento con la seguridad de que al obtener resultados de resistencia estos estaran muy cercanos a la media es decir a la resistencia a la que fué diseñado el concreto y por lo tanto se puede empezar a producir éste, con el proporcionamiento obtenido.

El método presentado ha sido concebido para que sea programado en computadora, a fin de obtener resultados en una forma rápida, aprovechando las bondades que ofrecen estas herramientas poderosas con las que se puede disponer en la actualidad.

De esta manera resaltan las ventajas sobre métodos utilizados tradicionalmente:

-- Exactitud; El método, al contemplar más factores, nos conduce a un proporcionamiento optimo, disminuyendo sustancialmente la probabilidad de tener que ajustar las mezclas y de errores propiamente numéricos. Y por otro lado se tienen las cantidades de materiales que coinciden

con los volúmenes estimados, siendo esto muy importante sobre todo cuando se habla de producciones de miles de metros cúbicos de concreto.

- Optimización, en cuanto a cemento se refiere (es el elemento de mayor costo), ya que el consumo se hace depender de la calificación de su calidad, tomando en cuenta la resistencia promedio de los cementos con que se cuenta en nuestro medio.
- Manejo de diferentes tipos de gravas; Desde las de cantos redondeados hasta las de aristas ásperas y formas angulosas que, de hecho, son las que se reconocen en casi todos lugares. Así mismo, opción de 3 diferentes tipos de arenas, que son los más comunes.
- Adaptabilidad a los materiales que se van a utilizar, de tal forma que cuando se presentan cambios de materiales o bien alguna de sus características, se puede obtener de inmediato el nuevo proporcionamiento o proporcionamientos.
- Posibilidad de combinar gravas y/o arenas de diferente granulometría, dando como resultado la mejor combinación.
- Ahorro considerable de tiempo; Una vez obtenida la información solo habrá de introducirse para ser procesada y en cuestión de minutos se obtiene, no solo el diseño para una mezcla de concreto en particular, sino los proporcionamientos para las diferentes especificaciones:

Resistencia: entre 100 y 350 kg/cm²

Revenimiento: 10, 14, 14 bomba y 18 cm. bomba.

Grado de Calidad: A y B.

Tipo: Normal y Resistencia Rápida.

Tamaño Máximo del Agregado: 20 y 40 mm.

- Flexibilidad en el proceso de cálculo; Es importante recalcar que, este método pretende ser de aplicación universal, por ello está basado en modelos matemáticos que explican fenómenos físicos bien definidos en la naturaleza de los materiales, siendo dichos modelos muy versátiles y dinámicos, esto quiere decir que se pueden ajustar a las condiciones encontradas en algún otro lugar, o bien en el mismo lugar, pero ante situaciones

como la de invacion de los materiales con los que se fabrica el concreto. Como se explico en su oportunidad, la versatilidad consiste en que las curvas de comportamiento, estan adaptadas para que dependan de unos puntos claves, a los cuales les llamamos las llaves del programa, de tal forma que afectando dichos puntos tendremos la modificacion deseada, ajustandose en forma automatica todo el metodo. -- poniamos como ejemplo el que si en algun momento o en algun otro lugar se llegará a tener un cemento de calidad muy superior a los que se fabrican en nuestro medio (deciamos de cementos que tuvieran una resistencia a la compresion de más de 600 kg/cm²), entonces bastaria con modificar las llaves del programa y todo él se ajustaria. es decir ya se partiria de una base solida y no de la nada.

El presente es un método que puede ser de gran utilidad a quien se dedica a producir concreto en grandes volumenes, como son principalmente las compañías de concreto premezclado, así como constructoras que cuenten con alguna planta propia, muchas veces del tipo móvil y lleve control en su producción del concreto, control significa; manejo de materiales, conocimiento de caracateristicas, verificación de resistencias etc...

No puede haber mayor satisfacción que el servir para que, en una área o sector productivo del país, como lo es la construcción y en particular la industria del concreto premezclado, se procure hacer bien las cosas, porque si se puede hacer buen concreto, optimizando recursos, buscando siempre que nuestro México prosiga su desarrollo para el beneficio de nuestra gente.

Es por ello que deseo que este trabajo aporte un grano a la tan escasa montaña de arena, que nuestro país tanto necesita.

NOMENCLATURA

fc	; Resistencia a compresión del concreto	[kg/cm ²]
f'c	; Resistencia a compresión de DISEÑO	[kg/cm ²]
fcr	; resistencia a compresión requerida.	[kg/cm ²]
ft	; Resistencia a tensión del concreto	[kg/cm ²]
f't	; Resistencia a tensión de DISEÑO	[kg/cm ²]

TIPOS Y GRADOS DE CALIDAD DEL CONCRETO

N.A.	; Normal, Grado A	
N.B.	; Normal, Grado B	
R.R.A	; Resistencia Rápida, Grado A	
R.R.B	; Resistencia Rápida, Grado B	
F _{com}	; Resistencia a compresión del cemento en cubos estandar a la edad de 28 días	[kg/cm ²]
S	; Desviación estandar estimada de la producción de concreto	[kg/cm ²]
T.M.A.	; Tamaño Máximo del Agragado Grueso	[pulg. ó mm.]

TIPOS DE GRAVAS.

C.R.	; Canto Rodado	
N.	; Natural	
ST.	; Semitriturada	
T.	; Triturada	
B.V.	; Basalto Vesicular	
T.A.	; Triturada Angulosa	

TIPOS DE ARENAS

M.N.	; De Mina Natural	
R.	; De Río	
T.	; Triturada	

DENGR	; Densidad de la Grava	[kg/m ³]	
DENAR	; Densidad de la Arena	[kg/m ³]	
ABSGR	; Absorción de la Grava		[%]
ABSAR	; Absorción de la Arena		[%]
HUMGR	; Humedad de la Grava		[%]
HUMAR	; Humedad de la Arena		[%]
CGRenAR	; Contaminación de Grava en Arena		[%]
CARenGR	; Contaminación de Arena en Grava		[%]

m.f.a.	; Módulo de finura de la Arena	[adim.]
m.f.g.	; Módulo de finura de la Grava	[adim.]

R_{w/c} ; Relación Agua/Cemento, en peso [adim]
R_{g/a} ; Relación Grava/Arena, en volumen [adim]

A, B ; Constantes de la Fórmula de Abrams

W ; Cantidad de AGUA, la cual se identifica como W_x, W_{xx}, W_{xxx} ... etc, según el nivel de corrección [en lt. por m³ de concreto]

C ; Cantidad de CEMENTO, la cual se identifica como C_x, C_{xx}, C_{xxx} ... etc, según el nivel de corrección [en kg. por m³ de concreto]

GR ; Cantidad de GRAVA, la cual se identifica como GR_x, GR_{xx}, GR_{xxx} ... etc, según el nivel de corrección [en kg. por m³ de concreto]

AR ; Cantidad de ARENA, la cual se identifica como AR_x, AR_{xx}, AR_{xxx} ... etc, según el nivel de corrección [en kg. por m³ de concreto]

AD ; Cantidad de ADITIVO, [en c.c. por m³ de concreto]

% AR ; Porcentaje de Arena del total de Agregados, en vol.

% GR ; porcentaje de Grava del total de Agregados, en vol.

P_{agr} ; Peso de Agregados (Grava + Arena) [kg.]

W_{abs} ; Agua corregida por absorción [lt.]

W_{ad} ; Agua corregida por aditivo [lt.]

BIBLIOGRAFIA

- Tecnologia del Concreto
A. M. Neville.
Tomos I y II
IMCYC (1983).
- Manual del Concreto
S.R.H. (1970).
Tomos I y II
- Cartilla del Concreto
F.R.McMillan y Lewis H. Tuthill
IMCYC. (1985).
- Tecnicas modernas en la produccion de agregados
Ing. Pedro Luis Benitez E.
Fac. de Ing. UNAM. (1982).
- Principales materiales fabricados y su empleo en la
Construcción.
Ing. Ernesto Bernal
Fac. de Ing. UNAM. (1982).
- Apuntes de las Rocas
Fac. de Ing. UNAM. (1984).
- Cales, Yesos y Cementos
Prof. Jose Cruz Meza G.
E. S. I. A. IPN (1982).
- Estadistica
Murray R. Spiegel
McGraw-Hill. (1973).
- Normas Oficiales Mexicanas.