

ÍNDICE

1. Introducción	1
1.1. Definición de concreto	1
1.2. Componentes básicos	1
1.3. Usos y ventajas del concreto	3
2. Cemento Portland	4
2.1. ¿Qué es el cemento Portland?	4
2.2. Tipos	4
2.3. Métodos de fabricación	6
2.4. Análisis químico	7
2.5. Resistencia a la compresión de mortero de cemento Portland	7
2.6. Expansión en autoclave	8
2.7. Densidad relativa	8
2.8. Peso volumétrico suelto	8
3. Agua. Propiedades físicas y químicas del agua de mezclado	9
4. Agregados (Arena y grava)	11
4.1. Fino (arena)	11
4.1.1. Características generales, muestreo	11
4.1.2. Análisis granulométrico	11
4.1.3. Módulo de finura	12
4.1.4. Impurezas orgánicas e inorgánicas	13
a. Ensayo de impureza orgánica presentes en la arena	13
b. Ensayo de impurezas inorgánicas en la arena para concreto	14
4.1.5. Densidad relativa	15
4.1.6. Pociendo de absorción	16
4.1.7. Contenido de humedad de la arena	17
4.1.8. Pesos volumétricos secos, suelto y compactado	18
a. Pesos volumétrico seco y suelto de la arena	19
b. Peso volumétrico seco y compactado	19
4.1.9. Sanidad	20
4.2. Agregado grueso (grava)	20
4.2.1. Características generales, muestreo	20
4.2.2. Análisis granulométrico	21
4.2.3. Densidad relativa y absorción de grava	22
4.2.4. Contenido de humedad	23
4.2.5. Pesos volumétricos secos: suelto y compactado	24
4.2.6. Sanidad	24
4.3. Medidas que deben tomarse cuando los agregados no cumplen con la granulometría ideal	27
5. Aditivos para concreto	28
5.1. Acelerante	28

5.2. Retardante	28
5.3. Incluidores de aire	29
6. Fabricación del concreto	30
6.1. Proporcionamiento de mezcla según el ACI. Otros métodos	30
6.2. Fabricación de una muestra de concreto para especímenes que se usaran en los ensayos	35
6.3. Método de muestreo. Prueba de revenimiento	36
a. Método de muestreo	36
b. Prueba de revenimiento	37
6.4. Contenido de aire en el concreto fresco, sangrado, peso volumétrico	38
a. Contenido de aire en el concreto fresco	38
b. Sangrado en el concreto	40
6.5. Probetas para ensaye de compresión y flexión. Métodos de curado	42
a. Probetas para ensaye de compresión y flexión	42
7. Propiedades mecánicas del concreto simple	44
7.1. Resistencia a la compresión axial. Módulo de elasticidad	44
7.2. Resistencia a la tensión. Prueba Brasileña	44
7.3. Resistencia a la tensión por flexión. Módulo de ruptura	46
8. Propiedades mecánicas del acero de refuerzo	49
8.1. Composición química del acero	49
8.2. Varillas de acero empleadas en concreto reforzado	50
8.3. Especificaciones de la prueba de tensión	52
8.4. Especificaciones para prueba de doblado	54
8.5. Muestreo	55
8.6. Prueba de tensión	56
8.7. Curva fuerza- deformación de un acero	58
9. Comportamiento mecánico de vigas y columnas de concreto reforzado	65
9.1. Vigas	65
9.1.1. Diseño de los especímenes	65
9.1.2. Comportamiento bajo carga	66
9.2. Columnas cortas	67
9.2.1. Columna con falla por compresión axial	67
9.3. Compresión mas flexión de columna rectangulares	68
10. Bibliografía	70

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Definición de concreto.

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesto de cemento Portland y agua, une a los agregados (arena y grava o piedra triturada), para formar una masa semejante a una roca ya que la pasta endurece debido a la reacción química entre el cemento y el agua.

1.2. Componentes básicos.

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

La pasta está compuesta de cemento Portland, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. Ordinariamente, la pasta constituye del 25 al 40 por ciento del volumen total del concreto. La Figura 1.1 muestra que el volumen absoluto del cemento está comprendido usualmente entre el 7% y el 15% y el agua entre el 14% y el 21%. El contenido de aire en concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

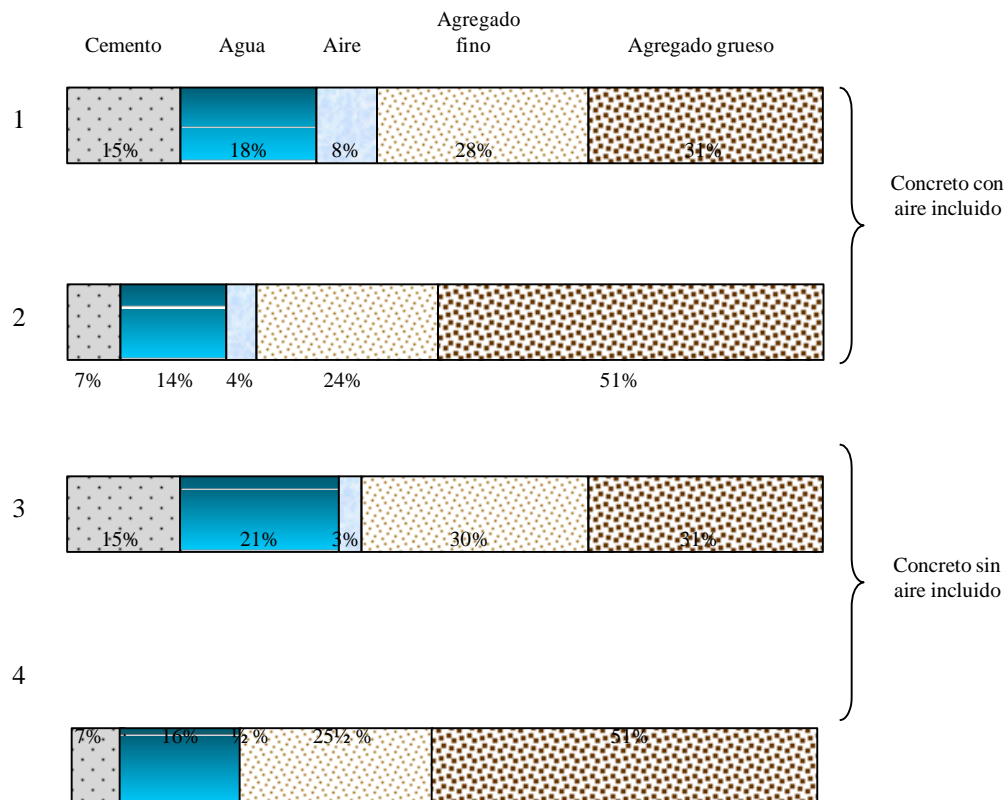


Figura 1.1. Variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados pequeños. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados grandes.

Como los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del concreto, su selección es importante. Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencia a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta, así como también todos los espacios entre partículas de agregado.

Para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la cantidad de concreto endurecido esta determinada por la cantidad de agua utilizada en relación con la cantidad de cemento. A continuación se presentan algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

Se incrementa la resistencia a la compresión y a la flexión.

Se tiene menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción.

Se incrementa la resistencia al intemperismo.

Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y el esfuerzo.

Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad de concreto, a condición que se pueda consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezclado resultan en mezclas más rígidas; pero con vibración, aún las mezclas mas rígidas pueden ser empleadas. Para una calidad dada de concreto, las mezclas más rígidas son las más económicas. Por lo tanto, la consolidación del concreto por vibración permite una mejora en la calidad del concreto y en la economía.

Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido, se pueden modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida durante su dosificación. Los aditivos se usan comúnmente para (1) ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento, (2) reducir la demanda de agua, (3) aumentar la trabajabilidad, (4) incluir intencionalmente aire, y (5) ajustar otras propiedades del concreto.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, con resistencia al desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco o nulo mantenimiento. El concreto también es un excelente material de construcción porque puede moldearse en una gran variedad de formas, colores y texturizados para ser usado en un número ilimitado de aplicaciones.

1.3. Usos y ventajas del concreto simple y reforzado.

	<i>Usos</i>	<i>Ventajas</i>
Concreto Simple	<p>Se utiliza para construir muchos tipos de estructuras, como autopistas, calles, puentes, túneles, presas, grandes edificios, pistas de aterrizaje, sistemas de riego y canalización, rompeolas, embarcaderos y muelles, aceras, silos o bodegas, factorías, casas e incluso barcos.</p> <p>En la albañilería el concreto es utilizado también en forma de ladrillos o bloques.</p>	<p>Resistencia a fuerzas de compresión elevadas.</p> <p>Bajo costo.</p> <p>Larga duración (En condiciones normales, el concreto se fortalece con el paso del tiempo).</p> <p>Puede moldearse de muchas formas.</p> <p>Presenta amplia variedad de texturas y colores.</p>
Concreto Reforzado	<p>Al reforzar el concreto con acero en forma de varillas o mallas, se forma el llamado concreto armado o reforzado; el cual se utiliza para dar nombre a sistemas estructurales como: vigas o trabes, losas, cimientos, columnas, muros de retención, ménsulas, etc.</p> <p>La elaboración de elementos de concreto presforzado, que a su vez pueden ser pretensados y postensados.</p>	<p>Al interactuar concreto y acero, ahora aparte de resistir fuerzas de compresión (absorbidas por el concreto), también es capaz de soportar grandes esfuerzos de tensión que serán tomados por el acero de refuerzo (acero longitudinal).</p> <p>Al colocar el acero transversalmente a manera de estribos o de forma helicoidal, los elementos (ejem. vigas, columnas) podrán aumentar su capacidad de resistencia a fuerzas cortantes y/o torsionales a los que estén sujetos.</p>

2. CEMENTOS PORTLAND.

2.1. ¿Qué es el cemento Portland?

El cemento Portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual se mezcla con agua, ya sea sólo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de combinarse lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida. Esencialmente es un clinker finamente pulverizado, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezclas que contiene cal, alúmina, fierro y sílice en proporciones, previamente establecidas, para lograr las propiedades deseadas.

2.2. Tipos.

Nueva Norma Mexicana de los Cementos.

Tipo de cemento.

Determina seis diferentes:

TIPO	D E N O M I N A C I Ó N
CPO	Cemento Portland Ordinario
CPP	Cemento Portland Pozolánico
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno
CPC	Cemento Portland Compuesto
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno

Clase Resistente

Resistencia Normal

Es la resistencia mecánica a la compresión a 28 días.

La clase resistente de un cemento se indica con los valores:

20
30
40

Resistencia Rápida

Es la resistencia mecánica a la compresión a 3 días.

Si el cemento posee una resistencia rápida se añade la letra “R”

Sólo se definen valores de resistencia rápida para las clases “30R” y “40R”

CLASE RESISTENTE	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (N/mm ²)		
	Edad 3 días Valor mínimo	Edad 28 días	
		Mínimo	Máximo
20	-	20	40
30	-	30	50
30R	20	30	50
40	-	40	-
40R	30	40	-

Características Especiales

Cuando un cemento tiene características especiales su designación se complementa con las siguientes siglas:

NOMENCLATURA	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES
RS	Resistente a los Sulfatos
BRA	Baja Reactividad Alkali-Agregado
BCH	Bajo Calor de Hidratación
B	Blanco

Designación Normalizada

Ejemplo:

CPC 30 R

Tipo de Cemento: *CPC (Cemento Portland Compuesto).*

Clase Resistente: *30 R (Clase resistente 30, con resistencia rápida).*

Ejemplo de cemento con características especiales

CPO 30 RS / BRA / BCH

Tipo de Cemento: *CPO (Cemento Portland Ordinario).*

Clase Resistente: *30 (Clase resistente 30).*

Características Especiales: *RS / BRA / BCH (Resistente a Sulfatos / Baja Reactividad Alkali – Agregado / Bajo Calor de Hidratación).*

Nueva Norma

TIPO	CLASE RESISTENTE	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES
CPO	20	RS
CPP	30	BRA
CPEG	30 R	BCH
CPC	40	B
CPS	40 R	
CEG		

2.3. Métodos de fabricación.

Los dos materiales principales con los que se fabrica el cemento Portland son: un material calcáreo, tal como piedra caliza, conchas, greda o marga, y un material arcilloso (en el cual la sílice es el constituyente importante) tales como arcilla, pizarra o escoria de altos hornos. Algunas veces los materiales calcáreos y arcillosos se encuentran combinados en depósitos naturales. Debe mantenerse la dosificación de las materias primas en proporciones muy precisas. Las materias primas, finamente molidas e íntimamente mezcladas, se calientan hasta principio de la fusión (alrededor de 1500°C), usualmente en grandes hornos giratorios, que pueden llegar a medir más de 200m de longitud y 5.50m de diámetro. Al material parcialmente fundido que sale del horno se le denomina “clinker”. El clinker enfriado y molido a polvo muy fino, es lo que constituye el cemento Portland comercial. Durante la molienda se agrega una

pequeña cantidad de yeso (3 ó 4 por ciento) para controlar las propiedades de fraguado. Para los cementos con aire incluido, el material necesario para impartir las propiedades del aire incluido, se añade durante la molienda del clinker.

2.4. Análisis Químico.

Durante la calcinación en la fabricación del clinker de cementos portland, el óxido de calcio se combina con los componentes ácidos de la materia prima para formar cuatro compuestos fundamentales que constituyen el 90% del peso del cemento. También se encuentran presentes yeso y otros materiales. A continuación se presentan los compuestos fundamentales, sus fórmulas químicas, y sus abreviaturas:

Silicato tricálcico	=	3CaO SiO_2	C_3S
Silicato dicálcico	=	2CaO SiO_2	C_2S
Aluminato tricálcico	=	$3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Alúminoferrito tetracálcico	=	$4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

El silicato tricálcico, C_3S , se hidrata y endurece rápidamente y es responsable en gran medida del fraguado inicial y de la resistencia temprana. En general la resistencia temprana del concreto de cemento portland es mayor con porcentajes superiores de C_3S .

El silicato dicálcico, C_2S , se hidrata y endurece lentamente y contribuye en gran parte al incremento de resistencia a edades mayores de una semana.

El aluminato tricálcico, C_3A , libera una gran cantidad de calor durante los primeros días de hidratación y endurecimiento. También contribuye levemente al desarrollo de la resistencia temprana. El yeso, que se agrega al cemento durante la molienda final, retrasa la velocidad de hidratación del C_3A . Sin el yeso, un cemento que contuviera C_3A fraguaría rápidamente. Los cementos con bajos porcentajes de C_3A son particularmente resistentes a los suelos y aguas que contienen sulfatos.

El alúminoferrito tetracálcico, C_4AF , reduce la temperatura de formación del clinker, ayudando por tanto a la manufactura del cemento. Se hidrata con cierta rapidez pero contribuye mínimamente a la resistencia. La mayoría de efectos de color se debe al C_4AF y a sus hidratos.

2.5. Resistencia a la compresión de mortero de cemento Portland.

La resistencia a la compresión, tal como lo especifica la norma ASTM C 150, es la obtenida a partir de pruebas en cubos de mortero estándar de 5 cm, ensayados de acuerdo a la norma ASTM 109. Estos cubos se hacen y se curan de manera prescrita y utilizando una arena estándar.

La resistencia a la compresión está influida por el tipo de cemento, para precisar, por la composición química y la finura del cemento. La norma ASTM C 150 sólo fija un requisito mínimo de resistencia que es cómodamente rebasado por la mayoría de los fabricantes. Por lo anterior, no se debe pensar que dos tipos de cemento Portland que cubran los mismos requisitos mínimos produzcan la misma resistencia en el mortero o en el concreto cuando no se hayan modificado las proporciones de las mezclas.

En general, las resistencias de los cementos (teniendo como base las pruebas de cubos de mortero) no se pueden usar para predecir las resistencias de los concretos con exactitud debido a la gran cantidad de variables en las características de los agregados, mezclas de concreto y procedimientos constructivos.

2.6. Expansión en autoclave.

El cemento expansivo es un cemento hidráulico que se expande ligeramente durante el período de endurecimiento a edad temprana después del fraguado. Debe satisfacer los requisitos de la especificación ASTM C 845 en la cual se la designa como cemento Tipo E-1. Comúnmente se reconocen tres variedades de cemento expansivo, mismas que se designan como K, M y S, las cuales se agregan como subfijos al tipo. El cemento tipo E-1(K) contiene cemento portland, trialuminosulfato tetracálcico anhídrico, sulfato de calcio, y óxido de calcio sin combinar (cal). El tipo E-1(M) contiene cemento portland, cemento de aluminato de calcio y sulfato de calcio. El cemento tipo E-1(S) contiene cemento Portland con un contenido elevado de aluminato tricálcico y sulfato de calcio.

2.7. Densidad relativa.

Generalmente el peso específico del cemento Portland es de aproximadamente 3.15. El cemento Portland de escoria de alto horno y los cementos Portland-puzolana pueden tener valores de pesos específicos de aproximadamente 2.90. El peso específico de un cemento, determinado con la norma ASTM C 188 no es indicador de la calidad del cemento; su uso principal se tiene en los cálculos de proporcionamiento de mezclas.

2.8. Peso volumétrico suelto.

En los Estados Unidos un saco de cemento Portland pesa 94 libras (42.638 kg) y tiene un volumen de aproximadamente 1 pie cúbico (28.32 lt) cuando acaba de ser empacado.

En México el cemento a granel se mide en toneladas métricas y los sacos de cemento tienen un peso de 50 kg. El peso del cemento de albañilería va impreso en el saco.

La densidad real del cemento Portland a granel puede variar considerablemente dependiendo de su manejo y almacenamiento. Un cemento Portland demasiado suelto puede pesar únicamente 833 kg/m^3 , mientras que si se compacta por vibración, el mismo cemento puede llegar a pesar $1,650 \text{ kg/m}^3$. Por este motivo, la práctica correcta consiste en pesar el cemento a granel para cada mezcla de concreto que se vaya a producir.

3. AGUA. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL AGUA DE MEZCLADO.

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

Las impurezas excesivas en el agua no sólo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad.

El agua que contiene menos de 2,000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto.

Carbonatos y bicarbonatos alcalinos. Los carbonatos y bicarbonatos de sodio y potasio tiene diferentes efectos en los tiempos de fraguado de cementos distintos. El carbonato de sodio puede causar fraguados muy rápidos, en tanto que los bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones fuertes estas sales pueden reducir de manera significativa la resistencia del concreto. Cuando la suma de sales disueltas exceda 1,000 ppm, se deberán realizar pruebas para analizar su efecto sobre el tiempo de fraguado y sobre la resistencia a los 28 días. También se deberá considerar la posibilidad que se presenten reacciones álcali-agregado graves.

Cloruros. La inquietud respecto a un elevado contenido de cloruros en el agua de mezclado, se debe principalmente al posible efecto adverso que los iones de cloruro pudieran tener en la corrosión del acero de refuerzo, o de los torones de presfuerzo. Los iones cloruro atacan la capa de óxido protectora formada en el acero por el medio químico altamente alcalino (pH 12.5) presente en el concreto. El nivel de iones cloruro solubles en el agua en el cual la corrosión del acero de refuerzo comienza en el concreto es de aproximadamente 0.15% del peso del cemento. Del contenido total de ión cloruro en el concreto, sólo es soluble en el agua aproximadamente del 50% al 85%: el resto se combina químicamente en reacciones del cemento. El Reglamento de construcción del *American Concrete Institute*, ACI 318, limita el contenido de ión cloruro soluble al agua en el concreto, a los siguientes porcentajes en peso del cemento:

Concreto presforzado.	0.06%
Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su servicio.	0.15%
Concreto reforzado que vaya a estar seco protegido contra la humedad durante su servicio.	1.00%
Otras construcciones de concreto reforzado	0.30%

Sulfatos. El interés respecto a un elevado contenido de sulfatos en el agua, se debe a las posibles reacciones expansivas y al deterioro por ataque de sulfatos, especialmente en aquellos lugares donde el concreto vaya a quedar expuesto a suelos o agua con contenidos elevados de

sulfatos. Aunque se han empleado satisfactoriamente aguas que contenían 10,000 ppm de sulfato de sodio, el límite del producto químico sulfato, como SO_4 , de 3,000 ppm, se deberá respetar a menos que se tomen precauciones especiales.

4. AGREGADOS (ARENA Y GRAVA).

4.1. Fino (arena).

4.1.1. Características generales, muestreo.

Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5 mm.

Los agregados finos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libre de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

4.1.2. Análisis granulométrico. Tablas gráficas mostrando granulometría ideal.

Los requisitos de la norma ASTM C 33, permiten un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino, pero las especificaciones de otras organizaciones son a veces más limitantes. La granulometría más conveniente para el agregado fino, depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua-cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. En ocasiones se obtendrá una economía máxima, ajustando la mezcla del concreto para que encaje con la granulometría de los agregados locales. Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía.

La granulometría del agregado fino dentro de los límites de la norma ASTM C 33, generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concretos. Los límites de la norma ASTM C 33 con respecto al tamaño de las cribas se indican a continuación:

Tamaño de la malla	Porcentaje que pasa en peso
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (No.4)	95 a 100
2.36 mm (No.8)	80 a 100
1.18 mm (No.16)	50 a 85
0.60 mm (No.30)	25 a 60
0.30 mm (No.50)	10 a 30
0.15 mm (No.100)	2 a 10

Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30 mm (No.50) y de 0.15 mm (No.100) sean reducidos a 5% y 0%, respectivamente, siempre y cuando:

- 1.-El agregado se emplee en un concreto con aire incluido que contenga más de 237 kg de cemento por metro cúbico y tenga un contenido de aire superior al 3%.
- 2.-El agregado se emplee en un concreto que contenga más de 296 kg de cemento por metro cúbico cuando el concreto tenga inclusión de aire.
- 3.-Se use un aditivo mineral aprobado para compensar la deficiencia del material que pase estas dos mallas.

Otros requisitos de la norma ASTM son:

1. Que el agregado fino no tenga más del 45% retenido entre dos mallas consecutivas.
2. Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, ni que varíe en más de 0.2 del valor típico de la fuente del abastecimiento del agregado. En el caso de que sobrepase este valor, el agregado fino se deberá rechazar a menos que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones del agregado fino y grueso.

Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (No.50) y de 0.15 mm (No.100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial y el sangrado del concreto. La mayoría de las especificaciones permiten que del 10% al 30% pase por la malla de 0.30 mm (No. 50). El límite inferior puede bastar en condiciones de colado fáciles o cuando el concreto tiene un acabado mecánico, como ocurre en el caso de los pavimentos. Sin embargo, en los pisos de concreto acabados a mano o donde se requiera una textura superficial tersa, se deberá usar un agregado fino que contenga al menos un 15% que pase la malla de 0.30 mm (No.50) y al menos un 3% que pase la malla de 0.15 mm (No.100).

4.1.3. Módulo de finura.

El módulo de finura (FM) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100. Las mallas que se emplean para determinar el módulo de finura son la de 0.15 mm (No.100), 0.30 mm (No.50), 0.60 mm (No.30), 1.18 mm (No.16), 2.36 mm (No.8), 4.75 mm (No.4), 9.52 mm (3/8"), 19.05 mm (3/4"), 38.10 mm (1½"), 76.20 mm (3"), y 152.40 mm (6"). El módulo de finura es un índice de la finura del agregado, entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado. Diferentes granulometrías de agregados pueden tener igual módulo de finura. El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto. A continuación se presenta un ejemplo de la determinación del módulo de finura de un agregado fino con un análisis de mallas supuesto:

Tamaño de la malla	Porcentaje de la fracción individual retenida, en peso	Porcentaje acumulado que pasa, en peso	Porcentaje acumulado retenido, en peso
9.52 mm (3/8")	0	100	0
4.75 mm (No.4)	2	98	2
2.36 mm (No.8)	13	85	15
1.18 mm (No.16)	20	65	35
0.60 mm (No.30)	20	45	55
0.30 mm (No.50)	24	21	79
0.15 mm (No.100)	18	3	97
Charola	3	0	---
<i>Total</i>	<i>100</i>		283 <i>Módulo de finura =</i> $283/100 = 2.83$

4.1.4. Impurezas orgánicas e inorgánicas.

a) Ensayo de impurezas orgánicas presentes en la arena

Objetivo:

Determinar la cantidad de materia orgánica en la arena para elaborar concreto, por medio de colorimetría.

Equipo y material que se utiliza:

Frasco graduado en ml.

Solución de Hidróxido de sodio (sosa cáustica)

Agua

Arena en estudio

Solución de ácido Tánico, representa el color No. 3 (amarillo paja)

Procedimiento:

1. Se llena el frasco graduado de 300 ml. hasta la marca de 110 ml. con la muestra de arena que se va ensayar.
2. Añadir la solución de Hidróxido de sodio al 3%, hasta la marca de 175 ml.
3. Se agita el frasco fuertemente por un tiempo de un minuto.
4. Pasadas las 24 hrs. observar el color del líquido y se compara con la solución patrón, si el color es más oscuro que el amarillo paja; esta arena tendrá exceso de materia orgánica.

El exceso de materia orgánica en el concreto, inhibe una reacción química completa entre el cemento y el agua.

b) Ensayo de impurezas inorgánicas en la arena para concreto

Objetivo:

Determinar la cantidad de finos (arcillas y limos) presentes en la arena para concreto; los cuales, arriba de cierta cantidad se consideran nocivos en la elaboración de concreto.

Equipo y material que se utiliza:

Probeta graduada, de 250 ml de capacidad
 Solución de sal al 1%
 Agua
 Regla o vernier

Procedimiento:

1. Colocar 50 ml. de la solución de sal al 1% en la probeta graduada.
2. Añadir arena hasta que su altura sea de 100 ml.
3. Agregar solución hasta llegar a la marca de 150 ml., se tapa la boca de la probeta y se agita manualmente por un minuto.
4. Dejar la probeta en sedimentación por 3 hrs. Como los granos de arena son más pesados se asientan primero que los finos.
5. Se mide la capa de arcilla y se obtiene el porcentaje que esta representa con respecto a la altura inicial. Esta capa no deberá exceder el 6%.

MATERIALES NOCIVOS EN LOS AGREGADOS.

Sustancias	Efecto en el concreto	Designación de la prueba
Impurezas orgánicas	Afectan el fraguado y el endurecimiento, pueden causar deterioros	ASTM C 40 ASTM C 87
Material más fino que la malla No.200 (80 micras)	Afecta a la adherencia, aumenta la cantidad de agua requerida	ASTM C 117
Carbón, lignito u otros materiales de peso ligero	Afectan a la durabilidad, pueden ser causa de manchas y erupciones	ASTM C 123

Partículas suaves	Afectan a la durabilidad	
Terrones de arcilla y partículas deleznales	Afectan a la trabajabilidad y a la durabilidad, pueden provocar erupciones	ASTM C 142
Horsteno de densidad relativa inferior a 2.40	Afecta a la durabilidad, puede provocar erupciones	ASTM C 123 ASTM C 295
Agregados reactivos con los álcalis	Expansión anormal, agrietamientos en forma de mapa, erupciones	ASTM C 227 ASTM C 289 ASTM C 295 ASTM C 342 ASTM C 586

Los agregados son potencialmente dañinos si contienen compuestos que reaccionen químicamente con el concreto de cemento Portland y que produzcan (1) cambios significativos en el volumen de la pasta o del agregado o de ambos, (2) interferencia en la hidratación normal del cemento, y (3) otros productos secundarios dañinos.

4.1.5. Densidad relativa.

El peso específico (densidad relativa) de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamientos de mezclas y control, por ejemplo en la determinación del volumen absoluto ocupado por el agregado. Generalmente no se le emplea como índice de calidad del agregado, aunque ciertos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado a la congelación-deshielo tengan pesos específicos bajos. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9.

Objetivo:

Determinar la densidad relativa de la arena para elaborar concreto hidráulico, empleando un matraz de fondo plano de 500 ml. de capacidad y su correspondiente curva de calibración.

Equipo y material que se utiliza:

Matraz aforado a 500 ml.
 Balanza con aproximación al 0.1 gr.
 Cono truncado
 Pisón
 Termómetro
 Embudo
 Probeta de 500 ml. de capacidad
 Pizeta o gotero
 Pipeta
 Bomba de vacíos
 Horno o estufa
 Franela o papel absorbente

Curva de calibración del matraz
Charola de aluminio
Espátula
Cristal de reloj
Arena saturada y superficialmente seca

Procedimiento:**Para la determinación de la densidad relativa de arena**

1. Se satura la arena por 24 hrs, se le retira el agua y se logra el estado de saturado y superficialmente seco; esto se logra al tender la arena en una superficie limpia y seca, moviéndola de un lugar a otro, para que por efecto del sol y el viento, se logre el estado superficialmente seco, para lograr esto, se utiliza el cono truncado, el cual se llena con la arena en 2 capas, dándole 15 golpes con el pisón a la primera capa y 10 golpes a la segunda capa, se enrasa y se retira el cono sin hacer movimientos laterales, si la arena se queda formado el cono, esto nos dice que la arena tiene exceso de humedad, por lo cual se continúa secando y se repite lo antes descrito, hasta que en cono de arena se desmorone lentamente; que será cuando la arena llegó al estado de saturado y superficialmente seco.

2. Se pesan 2 muestras de 200 grs. cada una de arena (**W_{sss}**), se vierte agua al matraz hasta la mitad de la parte curva, se vacía una muestra de arena empleando para esto un embudo y en la parte inferior del matraz se coloca un fólter, por si se cae algo de material pueda ser recogido posteriormente y vaciado al matraz.

La otra muestra se somete al secado total, ya sea en la estufa o en el horno, par obtener el peso seco de arena (**W_s**).

3. Se extrae el aire atrapado en el suelo empleando la bomba de vacíos; el material con el agua se agita sobre su eje longitudinal, se conecta a la bomba de vacíos por 30 seg.

4. Se repite el paso anterior unas 5 veces.

5. Se completa la capacidad del matraz con agua hasta la marca de aforo, de tal manera que la parte inferior del menisco coincida con la marca (500 ml).

6. Se pesa el matraz + agua + arena (**W_{mwa}**).

7. Se toma la temperatura de la suspensión, con esta, se entra a la curva de calibración del matraz y se obtiene el peso del matraz + agua hasta la marca de aforo (**W_{mw}**).

8. Se sustituyen los valores obtenidos en la fórmula siguiente y se obtiene la densidad:

$$Dr = \frac{W_s}{W_s W_{mw} W_{mws}} ; \text{ donde: } Dr = \text{Densidad relativa o Gravedad específica.}$$

4.1.6. Por ciento de absorción.**Objetivo:**

Determinar la cantidad de agua que absorbe la arena para concreto, expresando esta en porcentaje con respecto al peso seco de la arena.

Procedimiento:

1. De la muestra que se puso a secar en la prueba anterior, se revisa con el cristal de reloj para comprobar que la arena ya haya perdido toda el agua, se ser así, de deja enfriar y se obtiene su peso (**Ws**).
2. Se obtiene el porcentaje de absorción por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción} = \frac{W_{ss} - W_s}{W_s} \times 100$$

4.1.7. Contenido de humedad de la arena

Objetivo:

Determinar la cantidad de agua que posee una muestra de arena, con respecto al peso seco de la muestra. Esta prueba se lleva a cabo antes de hacer una mezcla de concreto, con el fin de hacer los ajustes en la cantidad de agua de mezclado.

Fórmula:

$$\frac{W_w}{W_s} \times 100 = \frac{\text{Peso.de.agua}}{\text{Peso.de.arena.sec a}} \times 100$$

Procedimiento:

a) Método rápido:

1. Se anota el número de la charola y se pesa, anotándola como tara (**T**).
2. Se vacía arena húmeda a la charola y se pesa, anotándola como tara + arena húmeda (**T + Ah**).
3. Se pone a secar la arena en la estufa, moviéndola algunas veces para que sea mas rápido el secado, se coloca encima el cristal de reloj para comprobar que la arena ya no tenga humedad; esto ocurrirá cuando ya no empañe el cristal.
4. Posteriormente, se deja enfriar (charola y suelo)
5. Se procede a pesar, lo que seria charola + arena seca (**T + A's**)
6. Y se realizan los cálculos para determinar el contenido de agua por el método rápido.

$$w = \frac{(T + Ah) - (T + A's)}{(T + A's) T} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

La absorción y humedad superficial de los agregados se debe determinar de acuerdo con las normas ASTM C 70, C 127, C 128 y C 566 de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla. La estructura interna de una partícula de agregado, está constituida de materia sólida y de vacíos que pueden o no contener agua.

Las condiciones de humedad de los agregados se muestran en la Figura 4.1.7. Se designan como:

1. Secado al horno. Completamente absorbentes.
2. Secados al aire. Secos en la superficie de la partícula pero conteniendo cierta humedad interior, siendo por lo tanto algo absorbentes.
3. Saturados y superficialmente secos (SSS). No absorben ni ceden agua a la mezcla de concreto.
4. Húmedo. Contienen un exceso de humedad en la superficie (agua libre).





<i>Estado:</i>	Secado al horno	Secado al aire	Saturado, superficialmente seco	Húmedo o mojado
				
<i>Humedad total:</i>	Ninguna	Menor que la absorción potencial	Igual a la absorción potencial	Mayor que la absorción

Figura 4.1.7. Condiciones de humedad de los agregados.

La cantidad de agua utilizada en la mezcla de concreto, se debe ajustar a las condiciones de humedad de los agregados de manera que cubra los requerimientos de agua. Si el contenido de agua de la mezcla de concreto no se mantiene constante, la resistencia a la compresión, la trabajabilidad y otras propiedades variarán de una revoltura a otra. Los contenidos de agua libre, normalmente varían desde 0.5% hasta 2% para el agregado grueso y desde 2% hasta 6% para el agregado fino. El contenido máximo de agua de un agregado grueso drenado, usualmente es menor que el de un agregado fino. La mayoría de los agregados finos pueden mantener un contenido de humedad drenado máximo, aproximadamente de 3% a 8%, mientras que los agregados gruesos sólo pueden mantener aproximadamente de 1% a 6%.

4.1.8. Pesos volumétricos secos: suelto y compactado.

El peso volumétrico (también llamado peso unitario o densidad en masa) de un agregado, es el peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen al que se hace referencia, es ocupado por los agregados y los vacíos entre las partículas de agregado. El peso volumétrico aproximado de un agregado usado en un concreto de peso normal, varía desde aproximadamente 1,200 kg/m³ a 1,760 kg/m³. El contenido de vacíos entre partículas afecta la demanda de mortero en el diseño de la mezcla. Los contenidos de vacíos varían desde aproximadamente 30% a 45% para los agregados gruesos hasta 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta el contenido de vacíos; mayores tamaños de agregado bien graduado y una granulometría mejorada hacen disminuir el contenido de vacíos. Los métodos para determinar el peso volumétrico de los agregados y el contenido de vacíos, se dan en la norma ASTM C 29. Se describen tres

métodos para consolidar el agregado en el recipiente, dependiendo del tamaño máximo del agregado: varillado, sacudido y vaciado con pala.

a) Peso volumétrico seco y suelto de la arena

Objetivo:

Obtener la cantidad de suelo en kilogramos que se puede lograr por metro cúbico, al vaciar material a un recipiente de volumen conocido y sin darle acomodo a las partículas.

Equipo y material que se utiliza:

Cucharón de lámina
Recipiente de volumen conocido
Regla o solera de 30 cms.
Balanza de 20 kgs. de capacidad y 5 grs. de aproximación

Procedimiento:

1. La arena se seca al sol y se cuarteas.
2. Se pesa el recipiente vacío.
3. Empleando el cucharón se toma material y se deja caer dentro del recipiente desde una altura de 5 cms, hasta que se llene, evitando que el material se reacomode por movimientos indebidos; después se procede a enrasar utilizando la regla de 30 cms.
4. Se pesa el recipiente conteniendo el material y se registra su peso con aproximación de 5 grs.
5. Se calcula el peso volumétrico del material seco y suelto, con la siguiente fórmula:

$$P.V.S.S. = \frac{W_m}{V_r} ;$$

donde:

W_m = Peso del material = kgs.

W_m = (Peso del recip. + mat.) – (Peso del recip.)

V_r = Volumen del recipiente = m^3

b) Peso volumétrico seco y compactado:

Objetivo:

Obtener la cantidad de la arena en kilogramos que se puede lograr por metro cúbico, al vaciar material a un recipiente de volumen conocido y dándole acomodo a las partículas por medio de golpes de varilla punta de bala.

Equipo y material que se utiliza:

Cucharón de lámina
Recipiente de volumen conocido
Regla o solera de 30 cms.
Balanza de 20 kgs. de capacidad y 5 grs. de aproximación
Varilla punta de bala

Procedimiento:

1. La arena se seca al sol y se cuartea.
2. Se pesa el recipiente vacío.
3. Empleando el cucharón se toma material y se deja caer dentro del recipiente desde una altura de 5 cms, llenando el recipiente en 3 capas, dándole 25 golpes de varilla a cada capa, después se procede a enrasar utilizando la regla de 30 cms.
4. Se pesa el recipiente conteniendo el material y se registra su peso con aproximación de 5 grs.
5. Se calcula el peso volumétrico del material seco y compactado, con la siguiente fórmula:

$$P.V.S.S. = \frac{W_m}{V_r}$$

donde:

W_m = Peso del material = kgs.

W_m = (Peso del recip. + mat.) – (Peso del recip.)

V_r = Volumen del recipiente = m^3

4.1.9. Sanidad.

El procesamiento del agregado consiste en (1) procesamiento básico, triturado, cribado y lavado, para obtener una granulometría y limpieza adecuadas, y (2) beneficio – el mejoramiento de la calidad por medio de otros métodos de procesamiento tales como la separación en un medio pesado, el cribado en agua, la clasificación por corriente ascendente, y la trituración.

En la separación en un medio pesado, se hace pasar a los agregados a través de un medio pesado compuesto por minerales pesados finamente molidos más agua en proporciones de modo que tenga un peso específico menor que el de las partículas de los agregados pero mucho mayor que el de las partículas deletéreas. Las partículas de mayor peso se hunden y las partículas más ligeras flotan. Este proceso se puede usar cuando las partículas aceptables y las contaminantes tengan distintos pesos específicos.

En el cribado en agua se separan las partículas con pequeñas diferencias de peso específico pulsando una corriente de agua. Las pulsaciones de agua hacia arriba a través de una criba (una caja con el fondo perforado) mueven el material más ligero para formar una capa sobre el material de mayor peso. Posteriormente se quita la capa superior.

La clasificación por corriente ascendente separa a las partículas que tengan fuertes diferencias en sus pesos específicos. Los materiales ligeros, como la madera y el lignito, se van flotando en una rápida corriente ascendente de agua.

La trituración aparta a las partículas blandas y deleznales de los agregados gruesos. Este proceso es en ocasiones el único medio para que el material pueda ser usado. Desafortunadamente, en cualquier proceso siempre se pierde una parte del material sano y la remoción de las partículas deletéreas puede llegar a ser difícil o costosa.

4.2. Agregado grueso (grava).**4.2.1. Características generales, muestreo.**

Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 38 mm.

Los agregados gruesos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libre de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

4.2.2. Análisis granulométrico. Tablas gráficas mostrando granulometría ideal.

Tabla 4.2.2. Requisitos de granulometría para los agregados gruesos (ASTM C 33).

Número de Tamaño	Tamaño nominal (mallas con aberturas cuadradas)	Cantidades menores que pasan cada malla de laboratorio (aberturas cuadradas), por ciento en peso												
		(100 mm) 4 pulg	(90 mm) 3.5 pulg	(75 mm) 3 pulg	(63 mm) 2.5 pulg	(50 mm) 2 pulg	(37.5 mm) 1.5 pulg	(25.0 mm) 1 pulg	(19.0 mm) ¾ pulg	(12.5 mm) ½ pulg	(9.5 mm) 3/8 pulg	(4.75 mm) No.4	(2.36 mm) No.8	(1.18 mm) No.16
1	90 a 37.5 mm	100	90 a 100	----	25 a 60	----	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	----
2	63 a 37.5 mm	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	----
3	50 a 25.0 mm	----	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----
357	50 a 4.75 mm	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	----	0 a 5	----	----
4	37.5 a 19.0 mm	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----
467	37.5 a 4.75 mm	----	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	0 a 5	----	----
5	25.0 a 12.5 mm	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----	----	----
56	25.0 a 9.5 mm	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	----	----
57	25.0 a 4.75	----	----	----	----	----	100	95 a 100	----	25 a 60	----	0 a 10	0 a 5	----

	mm													
6	19.0 a 9.5 mm	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	----	----
67	19.0 a 4.75 mm	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	----	25 a 55	0 a 10	0 a 5	----
7	12.5 a 4.75 mm	----	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	----
8	9.5 a 2.36 mm	----	----	----	----	----	----	----	----	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

El tamaño máximo de agregado que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para mayores tamaños.

El tamaño máximo de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual *todo* el agregado debe pasar. El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño. Por ejemplo, el agregado de número de tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño máximo nominal de 19 mm. De 90% a 100% de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla de 25 mm.

El tamaño máximo del agregado que puede ser empleado depende generalmente del tamaño y forma del elemento de concreto y de la cantidad y distribución del acero de refuerzo. Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe sobrepasar:

1. Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
2. Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
3. Un tercio del peralte de las losas.

Estos requisitos se pueden rebasar si, en opinión del ingeniero, la mezcla tiene la trabajabilidad suficiente para colocar el concreto sin que se formen alveolados ni vacíos.

4.2.3. Densidad relativa y absorción de gravas.

Objetivo:

Determinar la densidad de la grava, empleando el Principio de Arquímedes para obtener el volumen de gravas y también determinar el porcentaje de absorción que tienen las gravas; ambos resultados tiene aplicación en lo que es el diseño de mezcla de concreto.

Equipo y material que se utiliza:

Balanza con aproximación al 0.1 gr.
Horno o estufa
Franela
Canastilla

Charola de aluminio
Espátula
Cristal de reloj

Procedimiento:

1. Se dejan las gravas en saturación por 24 hrs.
2. Se les retira el agua y se secan superficialmente con una franela ligeramente húmeda, se pesa una cantidad de material cercana a los 500 grs, obteniéndose de esta forma el peso saturado y superficialmente seco de gravas (**W_{sss}**).
3. Se procede a determinar el volumen desalojado de gravas (**V_{des.}**), para esto se emplea el Principio de Arquímedes, pesando las gravas en una canastilla, sumergidas en agua, obteniéndose el peso de gravas sumergidas (**W_{sum.}**).

$$V_{des.} = \frac{W_{sss} - W_{sum.}}{w}$$

donde: w Peso específico del agua = 1 gr/cm³

4. Sin que haya pérdida de material, se vacían las gravas a una charola para secarlas totalmente ya sea en la estufa o en el horno, obteniéndose el peso de gravas secas (**W_s**).
5. Con los datos anteriores se obtiene el porcentaje de absorción de las gravas, de la siguiente manera:

$$\text{Absorción} = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \times 100$$

6. Se determina la Densidad relativa (**Dr**) o Gravedad específica de la siguiente manera:

$$Dr = \frac{W_s}{(V_{real})w} \div \frac{W_s}{(V_{des.} + V_{abs.})w}$$

donde: V_{real} = Volumen real, en cm³

$V_{abs.}$ = Volumen absorbido, en cm³

$$V_{abs.} = \frac{W_{sss} - W_s}{w}$$

4.2.4. Contenido de humedad.

Objetivo:

Determinar la cantidad de agua que posee una muestra de grava, con respecto al peso seco de la muestra. Esta prueba se lleva a cabo antes de hacer una mezcla de concreto, con el fin de hacer los ajustes en la cantidad de agua de mezclado.

Fórmula:

$$\frac{W_w}{W_s} \times 100 = \frac{\text{Peso.de.agua}}{\text{Peso.de.gravas.secas}} \times 100$$

Equipo y material que se utiliza:

Estufa
Balanza con aproximación al 0.1 gr.
Charola y cápsula de aluminio
Espátula
Cristal de reloj

Procedimiento:**a) Método rápido:**

1. Se anota el número de la charola y se pesa, anotándola como tara (**T**).
2. Se vacía suelo húmedo a la charola y se pesa, anotándola como tara + suelo húmedo (**T + Sh**).
3. Se pone a secar el suelo en la estufa, moviéndolo algunas veces para que sea mas rápido el secado, se coloca encima el cristal de reloj para comprobar que el suelo ya no tenga humedad; esto ocurrirá cuando ya no empañe el cristal.
4. Posteriormente, se deja enfriar (charola y suelo)
5. Se procede a pesar, lo que seria charola + suelo seco (**T + S's**)
6. Y se realizan los cálculos para determinar el contenido de agua por el método rápido.

$$w = \frac{(T Sh)(T S's)}{(T S's) T} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

4.2.5. Pesos volumétricos secos: suelto y compactado.

Estas pruebas se realizan en forma similar a las correspondientes en arenas.

4.2.6. Sanidad.

La sanidad de la grava y la arena es medida a través de la prueba de intemperismo acelerado; esta prueba es más común en gravas que en arenas.

Intemperismo acelerado:**Objetivo:**

Estimar la alteración que pueden sufrir los materiales pétreos al estar expuestos a la acción de los agentes del intemperismo.

Equipo y material que se utiliza:

Mallas números: 75.0, 63.0, 50.0, 37.5, 31.5, 25.0, 19.0, 16.0, 12.5, 9.5, 8.0, 4.75, 4.00, 2.36, 1.18, 0.600, 0.300, 0.150.
Horno de termostato que mantenga una temperatura de 105 °C .
Densímetro calibrado de 1.0 a 1.4
Charolas de metálicas rectangulares.
Charolas de metálicas redondas.
Recipiente de plástico con tapa, capacidad 1 lt.
Recipiente de plástico con tapa, capacidad 12 lt.
Balanza de 5 kg. de capacidad y 0.1 gr. de aproximación.

Balanza de 2 kg. de capacidad y 0.1 gr. de aproximación.

Siete canastillas de malla metálica de latón o bronce, con aberturas equivalentes a la malla no. 2.36 con capacidad 2.5 lt aproximadamente.

Siete canastillas de malla metálica de latón o bronce, con aberturas equivalentes a la malla no. 0.150 con capacidad 100 cm³ aproximadamente.

Vasos de aluminio con capacidad de 1 lt.

Recipientes de plástico con tapa con capacidad de 20lt, y con forma adecuada para

20 lt de solución de sulfato de sodio que se prepara vaciando en un recipiente de plástico 19 lt de agua limpia a 30 grados centígrados, adicionando por cada litro de agua 350 gr de sulfato de sodio anhidro o bien 750 gr de sulfato de sodio cristalino decahidratado, ambos de calidad industrial con dichas cantidades se asegura la saturación de la solución, lo cual se manifiesta por la presencia de cristales en la misma; para llevar a cabo la disolución se agita vigorosamente el agua durante la adición de la sal. A continuación se deja en reposo la solución hasta que adquiera la temperatura de 21 1C manteniéndola en estas condiciones durante 48 hrs. como

mínimo, antes de utilizarla.

20 lt de solución de sulfato de magnesio preparada en sustitución de la de sulfato de sodio y en forma similar a esta, utilizando por cada litro de agua 350 gr de sulfato de magnesio anhidro o bien 1400 gr de sulfato de magnesio eptahidratado o sal Epson, ambos cuando menos de calidad industrial.

Solución de cloruro de bario acidulada, que debe prepararse disolviendo 10 gr de cloruro de bario químicamente puro en 40 cm³ de agua destilada, a la que se le agrega 20cm³ de ácido clorhídrico químicamente puro; la solución antes referida se mezcla con una varilla de vidrio y se le agrega la cantidad de agua suficiente para completar 100 cm³ de dicha

solución. En caso de que no se disuelva el cloruro de bario, se calentara ligeramente la solución para facilitar esta operación.

Procedimiento:

a) Preparación de la muestra

De una muestra de material pétreo se toma por cuarteo una cantidad de 20 kg y se divide en dos partes iguales; se criba una de ellas por la malla No. 9.5 y se elimina el material retenido, a continuación se criba la otra parte por la malla No. 4.75 y se elimina el material que pasa dicha malla; a la primera porción obtenida se le llama porción fina y a la segunda, porción gruesa, a estas dos porciones se les da el tratamiento que se indica a continuación:

1. Para la preparación de las fracciones de prueba de la porción fina se determina su composición granulométrica, utilizando las mallas No. 4.75, 2.36, 1.18, 0.600 y 0.300, se anotan los pesos de los retenidos parciales del material que pasa la malla No. 0.300, y se obtiene sus porcentajes con respecto a su peso total. Enseguida se procesa esta porción como se indica a continuación:

Se lava la porción fina por la malla No. 0.300 hasta que el agua salga clara, se vierte en una charola el material lavado y se seca en el horno hasta peso constante a una temperatura de 105 5C, se saca del horno y se deja enfriar a la temperatura ambiente. A continuación se

obtienen mediante cribado 100 gr. de cada uno de los retenidos parciales en mallas mencionadas al iniciar este párrafo y se anotan estos pesos como W_j en gramos con excepción de los retenidos que representan menos del 5% en peso de la porción fina, los cuales se eliminan. Se vacían por separado cada una de las fracciones de 100 gr. en las canastillas con aberturas equivalentes a la malla No. 0.150.

2. Para la preparación de las fracciones de prueba de la porción fina se determina su composición granulométrica, utilizando las mallas No. 75.0, 63.0, 50.0, 37.5, 25.0, 19.0, 12.5, 9.5 y 4.75. se anotan los retenidos parciales en porcentajes con respecto al peso total de la porción, y se procede como se indica a continuación:

Se lava la porción gruesa por la malla No. 4.75 hasta que el agua al pasar por el material salga clara; a continuación se vierte en una charola el material lavado y se seca en el horno hasta peso constante a una temperatura de 105 $^{\circ}\text{C}$, se saca del horno y se deja enfriar a la temperatura ambiente.

A continuación se obtienen mediante cribado, para cada tamaño nominal, las fracciones de prueba con los pesos de material indicados en la tabla I, anotando estos pesos como W_j en gramos, con excepción de los retenidos parciales que representan menos del 5 % en peso de la porción gruesa, los cuales se eliminan.

Se vacían por separado cada una de las fracciones de prueba en las canastillas como aberturas equivalentes a la malla No. 2.36

b) Pasos a seguir:

1. Se agita vigorosamente la solución de sulfato de sodio o de magnesio para homogenizarla y enseguida se determina, con el densímetro, su peso específico relativo, el cual debe estar comprendido entre 1.151 y 1.174; se vierten en cada uno de los recipientes de plástico con capacidad de 20 lt, cantidades suficientes de la solución para que al introducir las casillas con material pétreo, este quede cubierto con un tirante mínimo de 2 cms.
2. Se sumergen en su respectivo recipiente de plástico con solución cada una de las canastillas que contienen las diferentes fracciones de prueba de las porciones fina y gruesa, y se mantienen durante estas condiciones durante 16 a 18 hrs, a una temperatura de 21 $^{\circ}\text{C}$, permaneciendo tapados los recipientes para reducir la evaporación y evitar la introducción de partículas extrañas.
3. A continuación se extraen de la solución las canastillas conteniendo las fracciones de prueba que se dejan escurrir durante 15 minutos, se introducen en el horno y se secan hasta peso constante a una temperatura de 105 $^{\circ}\text{C}$, debiendo removerse periódicamente los agregados durante esta operación; terminada esta se sacan del horno en sus respectivas canastillas y se dejan enfriar a la temperatura ambiente, con lo cual concluye el primer ciclo de la prueba.
4. Se repiten 4 veces mas las operaciones indicadas en los pasos 2 y 3, en todas las pruebas de fracciones contenidas en las casillas.
5. Terminado este ultimo ciclo se lavan con agua todas las fracciones para eliminarles el sulfato remanente; de la ultima porción del agua de lavado se toma una muestra en un tubo de ensaye y se agregan 2 gotas de la solución de cloruro de bario acidulada, y si aparece

un precipitado blanco lechoso, se continuará lavando la muestra hasta que el precipitado no aparezca.

6. Se colocan en recipientes por separado cada una de las fracciones de prueba contenidas en las casillas y se secan en el horno a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, hasta peso constante, después de lo cual se sacan del horno y se dejan enfriar a la temperatura ambiente.
7. Se criba cada una de las fracciones de prueba, tanto de la porción fina como de la porción gruesa, por la malla correspondiente de las indicadas en la última columna de la tabla II y de acuerdo con el tamaño nominal; se determina el peso del retenido en cada una de las mallas mencionadas y se anota como W_f en gramos.
8. Se calcula en % en peso que pierde la porción gruesa y la porción fina en cada tamaño nominal, aplicando la siguiente fórmula:

$$P = \frac{W - W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

en donde:

P = Pérdida de peso que presenta cada tamaño nominal de las porciones gruesa y fina en %

W = Es el % en peso que la porción fina o de la gruesa representa el tamaño nominal considerado, corregido para tomar en cuenta únicamente las fracciones que representan más del 5% de la porción fina o gruesa

W_i = Es el peso inicial de la fracción de prueba, seca, en gramos.

W_f = Es el peso inicial de la fracción de prueba, seca, después del quinto ciclo, en gramos.

9. Se suman por separado los porcentajes de la pérdida de peso de cada tamaño nominal de ambas porciones, se registran los 2 valores obtenidos, y se reportan como pérdida por intemperismo acelerado de la muestra total.

4.3. Medidas que deben tomarse cuando los agregados no cumplen con la granulometría ideal.

En estos casos el material debe ser triturado y cribado (procesado)

5. ADITIVOS PARA CONCRETO.

5.1 Acelerantes:

Estos aditivos se emplean para acelerar el desarrollo de la resistencia del concreto a edades tempranas. Tal desarrollo de resistencia también se puede acelerar: (1) con el empleo de cemento Portland de alta resistencia a edad temprana, (2) reduciendo la relación agua-cemento con el aumento de 60 a 120 kg de cemento adicional por metro cúbico de concreto, ó (3) curando a mayores temperaturas.

El cloruro de calcio (CaCl_2) es el material comúnmente usado en los aditivos acelerantes. Deberá cubrir los requisitos de la norma ASTM D 98 y también deberá ser muestreado y ensayado de acuerdo con la norma ASTM D 345. El amplio uso de los aditivos a base de cloruro de calcio, ha brindado muchos datos y experiencias sobre su efecto en las propiedades del concreto. Aparte del incremento en aceleración de resistencia, el cloruro de calcio produce un aumento en la contracción por secado, una posible corrosión del refuerzo, descoloramiento (oscurece al concreto), y posibles descascaramientos.

Ejemplos:

Acelerantes (ASTM C 494, Tipo C): Cloruro de calcio (ASTM D 98), Trietanolamina, Tiocianato de sodio, Formato de calcio, Nitrito de calcio, Nitrato de calcio.

5.2 Retardantes:

Los aditivos retardantes se emplean para aminorar la velocidad de fraguado del concreto. Las temperaturas altas en el concreto fresco (30° a 32°C y mayores), son frecuentemente la causa de una gran velocidad en el endurecimiento, lo que provoca que el colado y acabado del concreto sea difícil. Uno de los métodos más prácticos de contrarrestar este efecto consiste en hacer descender la temperatura del concreto enfriando el agua de mezclado o los agregados. Los aditivos retardantes no bajan la temperatura inicial del concreto.

Los retardantes se emplean en ocasiones para: (1) compensar el efecto acelerante que tiene el clima cálido en el fraguado del concreto, (2) demorar el fraguado inicial del concreto o lechada cuando se presentan condiciones de colado difíciles o poco usuales, como puede ocurrir al colar estribos o cimentaciones de gran tamaño, cementar pozos petroleros, o bombear lechada o concreto a distancias considerables, o (3) retrasar el fraguado para aplicar procesos de acabado especiales, como puede ser una superficie de agregado expuesto.

Debido a que la mayoría de los retardantes también actúan como reductores de agua, se les denomina frecuentemente retardantes reductores de agua. Los retardantes también pueden incluir un poco de aire en el concreto.

En general, el empleo de retardantes va acompañado de una cierta reducción de resistencia a edades tempranas (uno a tres días). Los efectos de estos materiales en las demás propiedades del concreto, tales como la contracción, pueden ser impredecibles. En consecuencia, se deberán efectuar pruebas de recepción de los retardantes con los materiales con que se va a trabajar en condiciones anticipadas de trabajo.

Ejemplos:

Retardantes (ASTM C 494, Tipo B): Lignina, Bórax, Azúcares, Ácido tartárico y sales.

5.3 Incluidores de aire:

Los aditivos incluidores de aire se utilizan para retener intencionalmente burbujas microscópicas de aire en el concreto. La inclusión de aire mejorará drásticamente la durabilidad de los concretos que estén expuestos a la humedad durante los ciclos de congelación y deshielo. El aire incluido mejora considerablemente la resistencia del concreto contra el descascaramiento de la superficie causado por los productos químicos deshelantes. También se ve mejorada de manera importante la trabajabilidad del concreto fresco, y la segregación y el sangrado se reducen o se llegan a eliminar.

El concreto con aire incluido, contiene diminutas burbujas de aire distribuidas uniformemente en toda la pasta de cemento. La inclusión de aire en el concreto, se puede producir usando un cemento incluidor de aire, o con la introducción de un aditivo incluidor de aire, o con una combinación de ambos métodos. Un cemento incluidor de aire es un cemento portland con una adición incluidora de aire molida conjuntamente con el clinker durante la fabricación. Por otra parte, los aditivos incluidores de aire se agregan directamente a los componentes del concreto antes y durante el mezclado.

Los principales ingredientes que se utilizan en los aditivos incluidores de aire (ASTM C 260) se enlistan a continuación: Sales de resinas de madera (resina Vinsol), Algunos detergentes sintéticos, Sales de lignina sulfonatada, Sales de ácidos de petróleo, Sales de material proteináceo, Ácidos grasos y resinosos y sus sales, Sulfonatos de alquilbenceno, Sales de hidrocarburos sulfonados.

Las especificaciones así como los métodos de ensaye para los aditivos incluidores de aire se presentan en las normas ASTM C 260 y C 233. Las adiciones incluidoras de aire que se emplean en la fabricación de cementos incluidores de aire, deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 226.

6 FABRICACIÓN DEL CONCRETO.

6.1 Proporcionamiento de mezclas según el ACI. Otros métodos.

Existen una gran cantidad de métodos empíricos de diseño de mezclas para obtener concretos con características específicas, sin embargo todos estos métodos deben ser tomados solamente como referenciales pues siempre requieren de pruebas de laboratorio para su afinamiento.

A continuación se presenta el método propuesto por el ACI, en la norma 211.1-70, el mismo que se ilustra con un ejemplo.

Ejemplos:

Se desea dosificar un metro cúbico de concreto de resistencia característica $f_c = 300 \text{ Kg/cm}^2$ para una obra donde existe un buen control de calidad de producción, con asentamiento de 50 mm en el cono de Abrams (concreto magro). Se empleará cemento Portland ordinario (tipo I). El tamaño máximo del agregado grueso es 40 mm y su peso volumétrico aparente (incluidos los espacios vacíos) es 1600 kg/m^3 ; su densidad es 2.64 gr/cm^3 . El agregado fino tiene un módulo de finura de 2.60 (suma de porcentajes totales retenidos en cada tamiz desde 0.141 mm hasta el diámetro máximo del agregado fino, dividido para cien) y una densidad de 2.58 gr/cm^3 .

1. Se determina la variabilidad de la resistencia del concreto, en base al nivel de control de calidad del proceso de mezclado en obra, para lo que se puede utilizar la siguiente tabla:

<i>TIPO DE CONTROL</i>	<i>DESVIACION ESTANDAR ()</i>
<i>Muy bueno</i>	<i>0.07 fm</i>
<i>Bueno</i>	<i>0.14 fm</i>
<i>Regular</i>	<i>0.21 fm</i>
<i>Deficiente</i>	<i>0.28 fm</i>

Un **control de calidad muy bueno** se obtiene solamente en laboratorios especializados que dosifican sus mezclas al peso, tienen control de la humedad antes del mezclado, utilizan agregados seleccionados y controlan la trabajabilidad del concreto fresco.

Un **control de calidad bueno** se consigue en obras que emplean concreto premezclado en fábricas especializadas y controlan el asentamiento del cono de Abrams; o en obras que mecanizan la producción de mezclas al peso, realizan corrección de dosificaciones por la humedad, emplean agregados de calidad y verifican la trabajabilidad de la mezcla.

Un **control de calidad regular** se obtiene con dosificaciones volumétricas y control frecuente de la cantidad de agua mediante el asentamiento del cono de Abrams.

Un nivel de control inferior al regular se cataloga como **control de calidad deficiente**.

En el presente caso tendríamos la siguiente información:

$f'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$, dato del ejemplo.

$= 0.14 f_m$, se toma de la tabla para un control de calidad de fabricación bueno

$f'c = f_m - 1.65$ para un 5 % de muestras que no alcancen la resistencia especificada

Reemplazando el valor de en la última expresión:

$$f'c = f_m - 1.65 \times (0.14 f_m)$$

$$f'c = f_m - 0.231 f_m$$

$$f'c = 0.769 f_m$$

Se calcula la resistencia media del concreto **f_m** , que siempre será superior a su resistencia característica.

$$f_m = \frac{f'c}{0.769} = \frac{300 \text{ Kg/cm}^2}{0.769}$$

$$f_m = 390 \text{ Kg/cm}^2$$

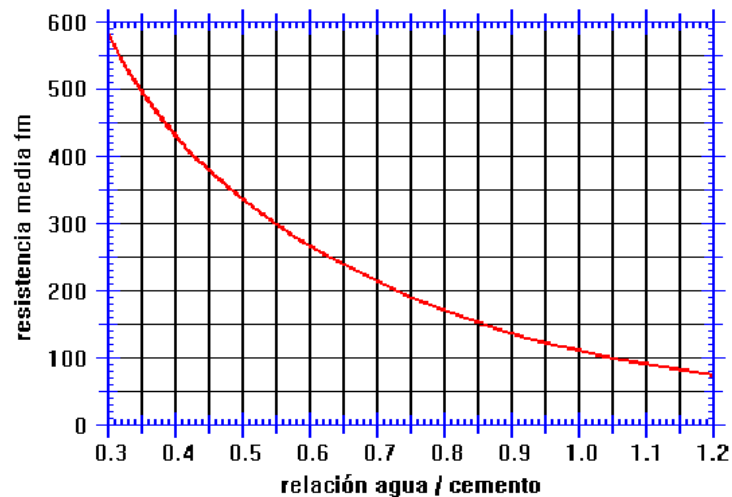
2. Se determina la cantidad de agua que se requiere por m^3 de concreto, y el porcentaje de volumen de aire atrapado, en función del tamaño máximo del agregado (40 mm) y del asentamiento en el cono de Abrams (50 mm), mediante la siguiente tabla:

***Cantidad aproximada de agua de mezclado para diferentes asentamientos
y tamaños máximos de los agregados***

<i>Revenimiento</i>	<i>Cantidad de agua</i> <i>(Kg/m³ de concreto para agregados de tamaño máximo)</i>							
(mm)	10 mm	12.5 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm	70 mm	150 mm
30 a 50	205	200	185	180	160	155	145	125
80 a 100	225	215	200	195	175	170	160	140
150 a 180	240	230	210	205	185	180	170	¾
Contenido de aire atrapado (porcentaje)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Cantidad de agua por metro cúbico de concreto = 160 Kg (se toma de la tabla anterior) Porcentaje de volumen de aire atrapado = 1% (se toma de la tabla anterior)

3. La relación agua / cemento de la mezcla (medida al peso) se puede estimar de la siguiente figura tomada del libro **Propiedades del Concreto** de A. M. Neville, que se detalla a continuación, para una resistencia media de 390 Kg/cm², medida a los 28 días.



$$\text{peso de agua} / \text{peso de cemento} = 0.44$$

4. El contenido de cemento será:

$$\text{Peso de cemento} = \text{peso de agua} / 0.44 = 160 \text{ Kg} / 0.44 = 364 \text{ Kg}$$

5. Se calcula el volumen aparente de agregado grueso mediante la siguiente tabla, en función del módulo de finura del agregado fino (2.60) y el tamaño máximo del agregado grueso (40 mm).

<i>Tamaño máximo del agregado</i>	<i>Volumen de agregado grueso compactado con varilla, por volumen de concreto para módulo de finura de la arena de:</i>			
(mm)	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

$$\text{volumen aparente del agregado grueso} = 0.73 \text{ m}^3 \text{ (se toma de la tabla anterior)}$$

6. El peso del agregado grueso se obtiene multiplicando su volumen aparente por su peso específico aparente.

$$\text{Peso agregado grueso} = 0.73 \text{ m}^3 \times 1600 \text{ Kg/m}^3 = 1168 \text{ Kg.}$$

7. Se calculan los volúmenes efectivos de cemento, agua, agregado grueso y aire atrapado:

$$\text{Volumen cemento} = \frac{364 \text{ Kg}}{3150 \text{ Kg} / \text{m}^3} = 0.116 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen agua} = \frac{160 \text{ Kg}}{1000 \text{ Kg} / \text{m}^3} = 0.160 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen agregado grueso} = \frac{1168 \text{ Kg}}{2640 \text{ Kg} / \text{m}^3} = 0.442 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de aire atrapado} = 0.01 \times 1 \text{ m}^3 = 0.01 \text{ m}^3$$

8. Se calcula el volumen de agregado fino.

$$\text{Volumen agregado fino} = 1.000 \text{ m}^3 - 0.116 \text{ m}^3 - 0.160 \text{ m}^3 - 0.442 \text{ m}^3 - 0.010 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen agregado fino} = 0.272 \text{ m}^3$$

9. Se calcula el peso de agregado fino.

$$\text{Peso agregado fino} = (0.272 \text{ m}^3) \cdot (2.58 \times 1000 \text{ Kg} / \text{m}^3) = 702 \text{ Kg}$$

<i>MATERIAL</i>	<i>VOLUMEN NETO</i>	<i>PESO</i>
Cemento	0.116 m ³	364 Kg
Agregado fino	0.272 m ³	702 Kg
Agregado grueso	0.442 m ³	1168 Kg
Agua	0.160 m ³	160 Kg
Aire atrapado	0.010 m ³	0 Kg

Este diseño sirve de base para iniciar pruebas de comprobación en laboratorio que permitirán su ajuste. Algunos criterios básicos para corrección del diseño, en laboratorio, pueden ser los siguientes:

Si la mezcla resulta demasiado seca, debería incorporarse un aditivo plastificante.

Si la mezcla presenta oquedades internas, debería incrementarse proporcionalmente la cantidad de arena, cemento y agua.

Si la mezcla presenta segregación, debería disminuirse proporcionalmente la cantidad de arena, cemento y agua.

Para poder definir una dosificación al volumen, que a pesar de no ser técnicamente apropiada es la más empleada en nuestro medio, sería necesario determinar adicionalmente, en laboratorio, la densidad aparente del agregado grueso y del cemento.

6.2 Fabricación de una muestra de concreto para los especímenes que se usarán en los ensayos.

Para esto, se lleva a cabo un procedimiento que especifica la Norma Oficial Mexicana (NOM), que es la C-159.

1. Se toma la cantidad de material de los almacenes de materia prima; el necesario para las pruebas.
2. Se prepara el equipo a utilizar para la elaboración de las pruebas.
3. Se determina la humedad de los materiales.
4. Se calcula el diseño de mezcla a ensayar y se efectúa la corrección por humedad.
5. Se pesan las cantidades de material a utilizar.
6. Se humedece la revolvedora y se dosifican los materiales en el siguiente orden: agua, agregado grueso, cemento y agregado fino.
7. Se mezclan los materiales por 3 minutos.
8. Se deja reposar la mezcla por 2 minutos, tapando la boca de la misma con una jerga húmeda, para evitar evaporación de agua.
9. Después, se reinicia el remezclado por 3 minutos más, se vacía el concreto en la carretilla.
10. Se homogeniza la muestra y se determina el revenimiento.
11. Se elaboran los especímenes de concreto y otras pruebas.
12. Los especímenes se cubren para el curado, con una bolsa de polietileno para evitar evaporación.
13. Después de 24 hrs. se desmoldan y se identifican con un número de control, para guardarlos en el cuarto de curado.

6.3 Métodos de muestreo. Prueba de revenimiento

a) Métodos de muestreo

Objetivo:

Extraer muestras representativas de concreto fresco que se destinan a ensayos de laboratorio.

Equipo que se utiliza:

Recipiente de muestreo limpio, de material resistente, no absorbente y químicamente inerte con los componentes del concreto y de capacidad suficiente para contener la muestra, usualmente se emplean carretillas.

Procedimiento:

El **tamaño de la muestra** de concreto fresco será superior a una y media vez el volumen necesario para efectuar los ensayos requeridos y en ningún caso inferior a 30 litros.

Extracción de muestras de fabricación

Revolvedoras: en uno o más intervalos regulares durante la descarga sin incluir el primer y último 10%, y sin restringir el flujo de salida de concreto.

Camiones de transporte de concreto: después de regular el flujo de descarga, se efectúa la extracción en tres o más intervalos regulares durante la descarga, sin incluir el primer y último 10%.

En ambos casos se desviará completamente el flujo hacia el recipiente de muestreo.

Extracción de muestras en sitio

Acopio: se extraen a lo menos cinco porciones de muestras de diferentes puntos del montón o acopio, cuidando de no contaminar la muestra con material de arrastre.

Tolva: se extraen porciones en tres o más intervalos regulares durante la descarga, sin incluir el primer y último 10%.

Las muestras se deben proteger durante el período comprendido entre su extracción y la confección de las probetas o ensayos. Este período debe ser inferior a 15 min. Por lo general se recomienda emplear arpilleras, lonas húmedas o láminas de polietileno para cubrir el concreto.

Antes de llenar los moldes o ejecutar los ensayos, remezclar la muestra con pala en el recipiente de muestreo.

b) Prueba de revenimiento

Objetivo:

Determinar la fluidez del concreto fresco por el método del asentamiento del cono de Abrams.

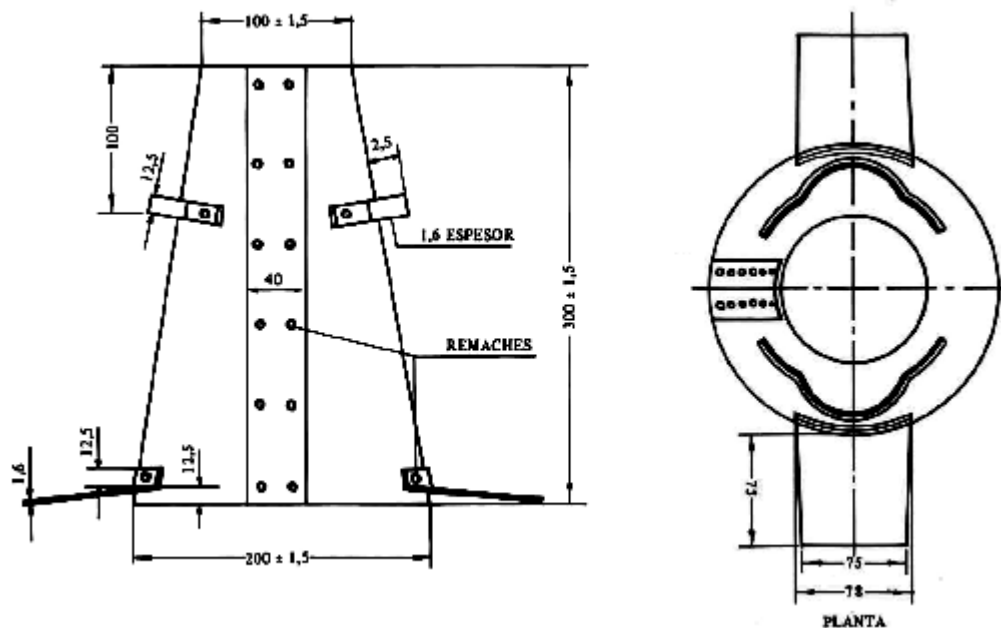
Equipo que se utiliza:

Molde metálico, troncocónico, abierto por ambos extremos, con un diámetro superior de 10 cms. e inferior de 20 cms, además de pisaderas y asas (Fig. siguiente).

Varilla punta de bala lisa, de un diámetro de 1.6 cms. y largo 60cms.

Placa de apoyo, rígida, no absorbente y por lo menos de 40 x 60 cms.

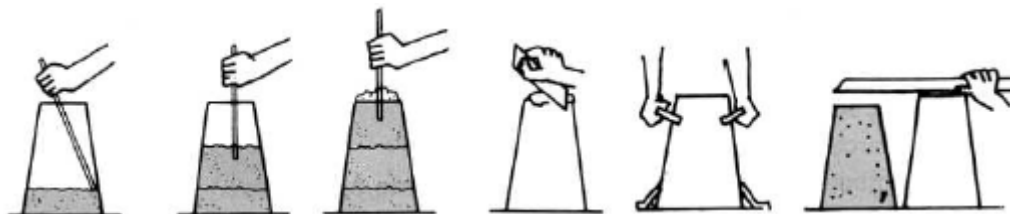
Cucharón metálico



Cono de Abrams.

Procedimiento:

1. La cantidad de concreto necesaria para efectuar el ensayo, no debe ser inferior a 8 lts.
2. Se coloca el molde sobre una superficie de apoyo horizontal, ambos limpios y humedecidos con agua, (no se permite humedecer con aceites ni grasa).
3. El operador se para sobre las pisaderas del molde, evitando el movimiento de éste durante el llenado.
4. Se llena el molde en tres capas de aproximadamente igual volumen y se apisona cada capa con 25 golpes de la varilla pisón distribuidos uniformemente. La capa inferior se llena hasta aproximadamente 7 cm de altura y la capa media hasta aproximadamente 16 de altura. Al apisonar la capa inferior se darán los primeros golpes con la varilla pisón ligeramente inclinada alrededor del perímetro. Al apisonar la capa media y superior se darán los golpes de modo que la varilla pisón penetre 2.5 cms. la capa subyacente. Durante el apisonado de la última capa se deberá mantener permanentemente un exceso de concreto sobre el borde superior del molde.
5. Se enrasa la superficie de la capa superior con la varilla pisón y se limpia el concreto derramado en la zona adyacente al molde.
Inmediatamente después de terminado el llenado, enrase y limpieza, se carga el molde con las manos, sujetándolo por las asas y dejando las pisaderas libres y se levanta en dirección vertical sin perturbar el concreto en un tiempo de 5 a 12 segundos.
6. Toda la operación de llenado y levantamiento del molde no debe demorar más de tres minutos.



Procedimiento de medición del revenimiento

Una vez levantado el molde se mide inmediatamente la disminución de altura del concreto moldeado respecto al molde, aproximando a 0,5 cm. La medición se hace en el eje central del molde en su posición original.

6.4 Contenido de aire en el concreto fresco, sangrado, peso volumétrico

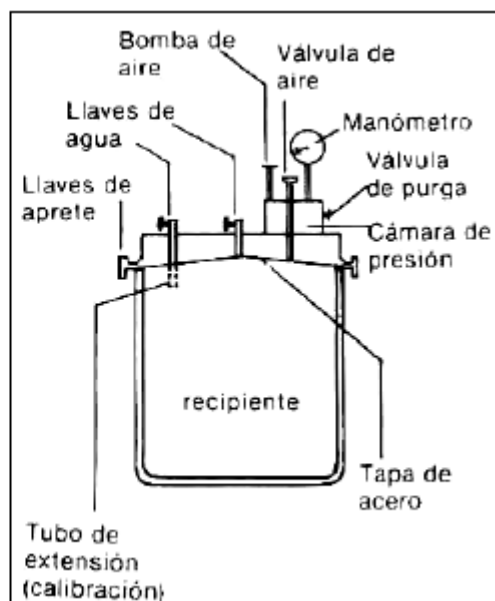
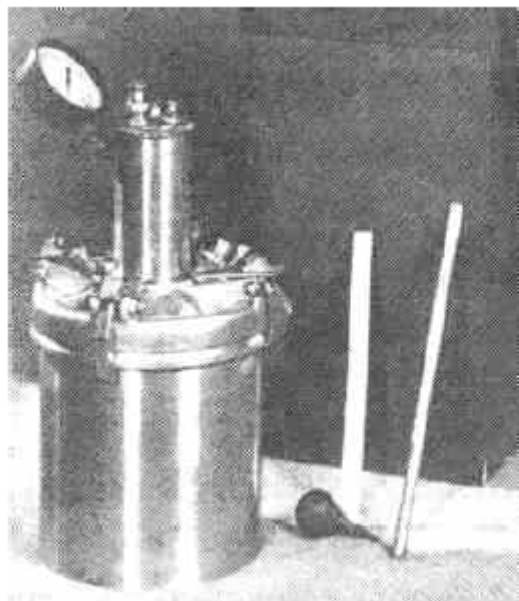
a) Contenido de aire en el concreto fresco

Objetivo:

El método que se describe para determinar el contenido de aire del concreto fresco, se basa en la medición del cambio de volumen del concreto sometido a un cambio de presión. El equipo que se especifica para este ensayo es un aparato tipo Washington, el cual cuenta con un manómetro que registra directamente el contenido de aire, en %, con respecto al volumen de concreto.

Equipo que se utiliza:

Equipo de medición de aire, que consta de un recipiente con tapa de acero cuya capacidad mínima es de 6 litros. Cuenta con una tapa hermética, una par de llaves de agua, cámara de presión con dial, bomba manual, válvulas y accesorios. Accesorios, como varilla punta de bala, regla para enrasar, mazo, recipientes, etc.



Equipo de medición de aire.

Procedimiento:

1. La muestra de concreto fresco deberá ser superior a 30 lts.
2. **Colocación y compactación de la muestra:** se llena el recipiente con la muestra de concreto según el asentamiento del cono:
3. **Apisonado:** aplicable cuando el revenimiento obtenido es mayor a 5 cm.
Se coloca el concreto en tres capas de igual volumen; se apisona cada capa con 25 golpes de pisón distribuidos en toda el área. La capa inferior se apisona en toda su altura sin golpear el fondo y las capas superiores se apisonarán de modo que el pisón penetre aproximadamente 3 cm en la capa subyacente. Después de apisonar, golpear los costados del recipiente 10 a 15 veces con un mazo.
- Vibrado:** aplicable con revenimiento máximo de 10cms.
Llenar en dos capas de igual volumen, vibrando cada capa con una o dos inserciones del vibrador, sin tocar con éste las paredes ni el fondo del recipiente. La vibración se aplicará hasta que la superficie del concreto tenga una apariencia suave y brillante, retirando lentamente el vibrador.
Una vez compactada la muestra, se enrasa y alisa la superficie.
4. **Medida del contenido de aire:**
Limpiar los bordes y en especial la goma de sello, se coloca la tapa y se ajusta herméticamente con las llaves de apriete.
5. Cerrar las válvulas para aire y abrir las llaves para agua. Mediante una jeringa de goma introducir agua por una de las llaves de agua hasta que fluya por la otra llave. Golpear lateralmente con un mazo para expulsar burbujas de aire atrapadas en el agua introducida.
6. Bombear aire a la cámara de presión hasta que la aguja del dial llegue a la marca de presión inicial. Reposar algunos segundos para enfriar el aire comprimido. Estabilizar la aguja mediante bombeo, en la marca de presión inicial.

7. Cerrar las dos llaves de agua y abrir la válvula de entrada de aire comprimido de la cámara de aire al recipiente. Golpear suavemente los costados del recipiente, como también la tapa del dial para estabilizar la lectura.
8. Leer con aproximación a 0,1% el contenido de aire registrado en el manómetro. Antes de abrir la tapa, mantener cerradas las válvulas de aire y abrir las llaves de agua para liberar la presión de aire existente en el recipiente.

b) Sangrado en el concreto:

Objetivo:

Este método de ensaye cubre el procedimiento para determinar las cantidades de agua relativas de agua de mezclado que sangrarán de una muestra de concreto fresco bajo las condiciones de ensaye.

Equipo que se utiliza:

Recipientes.- Un recipiente cilíndrico de aproximadamente 14 l de capacidad (medio pie cúbico), con un diámetro interior de 250 ± 6 mm ($10 \pm \frac{1}{4}$ ") y una altura interior de 280 ± 6 mm ($10 \pm \frac{1}{4}$ "). El recipiente estará hecho de metal que tenga un espesor de la medida No. 10 a la No. 12 U. S., estará reforzado alrededor de la parte superior con una banda de metal de un espesor del No. 10 a la No. 12 U. S., de 37.5 mm ($1 \frac{1}{2}$ ") de ancho. El interior deberá estar liso y libre de corrosión, capas de material o lubricantes.

Básculas, de suficiente capacidad para pesar la carga requerida con una aproximación de 0.05%.

Pipeta o un instrumento semejante, para eliminar el agua libre de la superficie del espécimen de ensaye.

Recipiente de cristal graduado de 100 ml de capacidad para recoger y medir la cantidad de agua eliminada.

Pisón.- Una barra recta de acero, redonda, de 16 mm ($\frac{5}{8}$ ") de diámetro y aproximadamente de 60 cm (24") de longitud con un extremo redondeado hemisféricamente cuyo diámetro sea de 16 mm ($\frac{5}{8}$ ").

Espécimen de ensaye

a) Para concreto hecho en el laboratorio prepárese el concreto como se ha descrito en las Secciones 2, 3 y 4 del Método de Fabricación y Curado de Especímenes de Concreto para Ensayes de Flexión y Compresión en el Laboratorio (Norma ASTM C 192). Para concreto hecho en campo, muéstrese el concreto como se describe en el Método de Muestreado de Concreto Fresco (ASTM C 172).

b) Llénese el recipiente con el concreto de acuerdo con la Sección 5 del Método de Ensaye para Peso Volumétrico, Rendimiento y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto (ASTM C 138), excepto que el recipiente se llenará hasta una altura de 250 ± 3 mm ($10 \pm \frac{1}{8}$ "). Nivélase la parte superior del concreto a una superficie razonablemente lisa con una cantidad mínima de alisado.

Procedimiento:

1. Durante el ensaye, manténgase la temperatura ambiente entre 18 y 24° C (65 y 75° F). Inmediatamente después de alisar la superficie del espécimen, anótese el tiempo y el peso del recipiente y su contenido. Colóquese el espécimen y el contenido sobre una plataforma a nivel, o un piso libre de vibración apreciable, y protéjase el contenido cubriéndolo adecuadamente. Manténgase la cubierta en su lugar durante el ensaye, excepto cuando se trate de eliminar agua. Elimínese (con una pipeta o un instrumento parecido), el agua que se ha acumulado en la superficie a intervalos de 10 minutos durante los primeros cuarenta minutos y a intervalos de 30 minutos después hasta que el sangrado cese. Para facilitar la recolección del agua de sangrado, inclínese el espécimen cuidadosamente colocando un bloque de aproximadamente 5 cm (2") de espesor bajo un lado del recipiente 2 minutos antes de cada ocasión en el que el agua vaya a extraerse. Después de que el agua se ha removido, regrésese el recipiente a una posición a nivel sin golpearlo. Después de cada extracción transfírase agua al recipiente graduado de 100 ml. Anótese la cantidad de agua acumulada después de cada intervalo.

Cálculo

a) Calcúlese el volumen del agua de “sangrado” por la unidad de área de la superficie como sigue:

$$\text{Agua de "Sangrado", En ml por cm}^2 \text{ de superficie} = V_1 / A$$

Donde:

V_1 = Volumen del agua de “sangrado” en ml, medido durante el intervalo de tiempo seleccionado

A = Superficie de exposición del concreto en cm^2 .

La velocidad comparativa de sangrado puede ser determinada según progresa el ensaye comparando el volumen de agua del agua de sangrado para cada intervalo igual de tiempo.

b) Calcúlese el agua acumulada de “sangrado”, expresada como porcentaje del agua neta de mezclado contenida en el espécimen de ensaye como sigue:

$$C = (w / W) S$$

$$\text{Sangrado, en por ciento} = (B / 1000 C) 100$$

Donde:

C = Peso del agua del espécimen de ensaye en Kg.

W = Peso total de la olla en Kg.

w = Peso neto de agua en la olla en Kg.

S = Peso de la muestra en Kg.

B = Cantidad total de agua de “sangrado” extraída del espécimen de ensaye en ml.

$1000 C$ = Cantidad total de agua del espécimen de ensaye expresada en ml.

c) Peso volumétrico del concreto fresco:

Para esta prueba se utiliza el llenado del recipiente que se hace de concreto fresco en la prueba de contenido de aire descrita anteriormente (6.4 A).

En este caso, cuando se hace el llenado del recipiente, se pesa, se obtiene el peso neto de concreto fresco y este se divide entre el volumen del recipiente, obteniendo así el peso volumétrico del concreto fresco:

$$\text{Peso volumétrico del concreto fresco} = \frac{\text{Peso.neto.del.concreto.(kg)}}{\text{Volumen.del.recipiente.(m}^3\text{)}}$$

6.5. Probetas para ensaye de compresión y flexión. Métodos de curado**a) Probetas para ensaye de compresión y flexión:****Objetivo:**

Establecer los procedimientos para el colado y curar las probetas de concreto fresco que se destinan a ensayos de compresión, tensión por flexión y prueba Brasileña.

Equipo que se utiliza:

Aparatos de compactación: varilla punta de bala, vibradores internos y/o externos.

Moldes para confeccionar probetas destinadas a ensayos serán las que se indican en la Tabla sig. deben ser metálicos, estancos y de superficies lisas.

La dimensión básica interior, deberá ser igual o mayor a 3 veces el tamaño máximo de la grava. La superficie de los moldes que entran en contacto con el concreto, se debe aplicar una delgada capa de aceite u otro material que prevenga la adherencia y no reaccione con los componentes del concreto.

Probeta	Molde	Ensayos	Dim. básica [mm]
Cilindro Viga	Cilíndrico Prismático	Compresión-tensión por prueba Brasileña	150
		Tensión por flexo-compresión	150

Probetas para ensayos.

Procedimiento:**Moldeado y compactación de las probetas:**

1. El lugar elegido para el moldeado, debe estar nivelado y protegido, ya que será el mismo para el curado inicial.
2. La compactación será por apisonado o por vibrado según sea el revenimiento (Tabla sig.):

3. Revenimiento [cm]	4. Procedimiento de compactación
5. < 5 6. 5 – 10 7. > 10	8. Vibrado 9. Apisonado o Vibrado 10. Apisonado

11. Compactación de cilindros

Compactación por apisonado:

Se coloca el concreto en tres capas para los moldes cilíndricos, de igual espesor. Se apisona con la varilla pisón cada capa, a razón de 25 golpes cada una.

La capa inferior se apisona en toda su altura sin golpear el fondo y la o las capas superiores, se apisonan de modo que la varilla pisón penetre aproximadamente 2 cm en la capa subyacente. Después de apisonar se recomienda golpear suavemente los costados de los moldes para cerrar los vacíos dejados por la varilla punta de bala.

3. Terminación superficial:

El concreto se enrasa superficialmente con la varilla pisón con un movimiento de aserrado, evitando separar el mortero del árido grueso. No se permite golpear la superficie del concreto. Finalmente se alisa.

4. Las probetas se deben marcarse indeleblemente de modo que puedan ser perfectamente identificadas.**5. Desmolde y curado de las probetas:**

Inmediatamente después de moldeadas, las probetas se cubren con algún material impermeable, además de proteger el conjunto.

Tiempos mínimos para desmoldar las probetas, son 20 horas para cilindros y vigas.

6. Para su curado, las probetas deben ser sumergidas en agua saturada con cal o colocadas en cámara húmeda con una humedad relativa igual o superior al 90%. Se recomienda que las vigas sean sumergidas en agua saturada con cal 24 horas antes del ensayo.

7. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO SIMPLE

7.1 Resistencia a la compresión axial. Módulo de Elasticidad

Objetivo:

Determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto.

Equipo que se utiliza:

Prensa de ensaye

Flexómetro

Balanza de capacidad igual o superior a 25 kgs.

Procedimiento:

1. Medición de probetas (debe efectuarse antes del cabeceo)
Las probetas se retiran del curado inmediatamente antes del ensayo y se mantienen mojadas hasta el ensayo.
2. Medir dos diámetros perpendiculares entre sí (d_1 , d_2) aproximadamente a media altura; y la altura de la probeta en dos generatrices opuestas (h_1 y h_2), aproximando a 1mm.
3. Determinar el peso del cilindro, aproximando a 50 grs, para obtener el peso volumétrico del concreto.
4. Limpiar las superficies de contacto de las placas de carga y de la probeta y colocar la probeta en la máquina de ensayo alineada y centrada.
5. Acercar la placa superior de la máquina de ensayo y asentarla sobre la probeta de modo de obtener un apoyo lo más uniforme posible.
6. Aplicar carga en forma continua y sin choques de velocidad uniforme cumpliendo las siguientes condiciones:
Alcanzar la rotura en un tiempo igual o superior a 100 seg.
Velocidad de aplicación de carga no superior a $3,5 \text{ kg/cm}^2/\text{seg}$.
7. Registrar la carga máxima (P) expresada en kgs.
8. Dividiendo esta carga entre el área y nos da la resistencia del espécimen en kg/cm^2 .



Compresión probeta cilíndrica

7.2. Resistencia a la tensión. Prueba Brasileña

Objetivo:

Determinar la resistencia a la tensión por medio de la prueba Brasileña, al aplicarle carga sobre su diámetro a una probeta cilíndrica de concreto.

Equipo que se utiliza:

Prensa de ensaye.

Placa de acero de 30 cms. de largo

Tablillas de apoyo serán de madera contrachapada, de 4 ± 1 mm. de espesor y de longitud igual a mayor a la de la probeta.

Regla graduada en milímetros y de longitud superior a 400 mm.

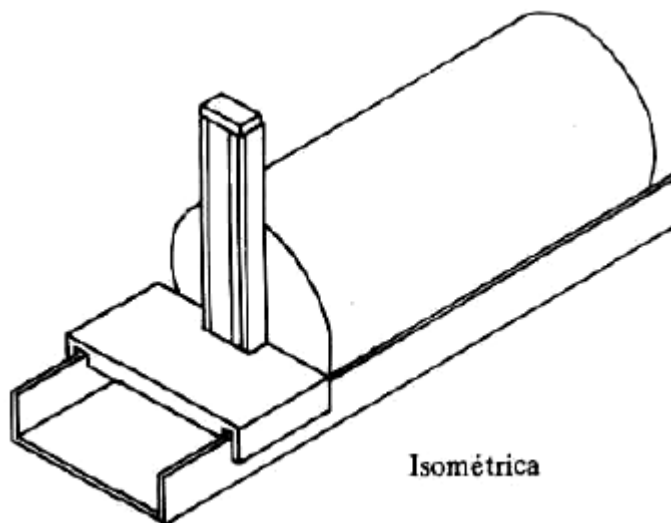
Balanza, con capacidad superior a 20 kgs. y una precisión de 10 grs.

Procedimiento:

1. Marcado y medición de las probetas:

Se trazan con línea fina en cada una de las bases del cilindro, dos diámetros paralelos que deberán estar en un mismo plano.

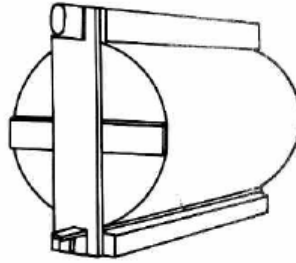
Se unen ambos diámetros mediante el trazado de dos generatrices, que definirán las líneas de contacto con las tablillas de apoyo.



Trazado de los diámetros.

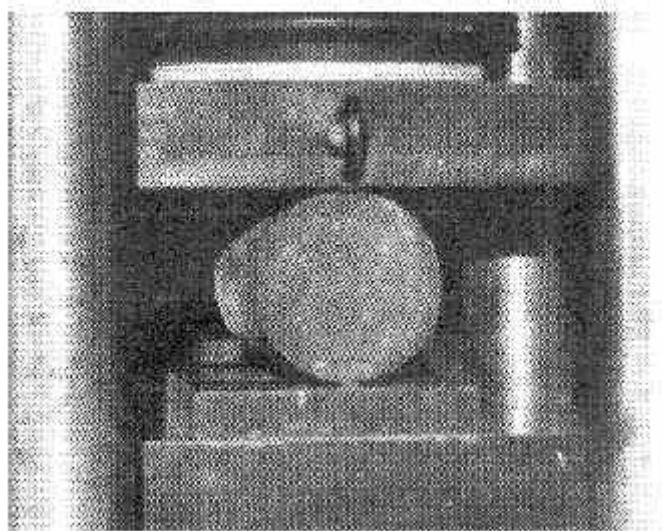
2. Registrar el diámetro (d) de la probeta como el promedio de tres diámetros, medidos sobre el trazado de las generatrices en el centro y los extremos del cilindro, aproximando a 1 mm.
3. Registrar la longitud (l) del cilindro como el promedio de las longitudes de las dos generatrices trazadas, aproximando a 1 mm.
4. Registrar el peso del cilindro aproximando a 20 grs.
5. Limpiar las superficies de contacto de las placas de carga y la probeta.
6. Colocar una tablilla de apoyo centrada sobre el eje de la placa inferior de la máquina de ensayo.
7. Colocar la probeta sobre la tablilla de apoyo y alinear de modo que las líneas de trazado diametral queden verticales y centrada sobre la tablilla.

8. Colocar una segunda tablilla de apoyo centrada sobre la línea de contacto superior de la probeta.



Dispositivo de alineación.

9. Aplicar aproximadamente un 5% de la carga de rotura prevista, verificando que la probeta se mantiene centrada y alineada.
10. Seguir aplicando la carga en forma continua y sin choques de velocidad uniforme entre 0,3 y 0,7 kg/cm²/seg, hasta la ruptura.
11. Registrar la carga máxima (P) expresada en kgs.



Tensión por prueba Brasileña en probeta cilíndrica.

Se calcula la resistencia a la tensión por la prueba Brasileña, con la siguiente fórmula:

$$R_b = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot l \cdot d} \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

7.3. Resistencia a la tensión por flexión. Módulo de ruptura

Objetivo:

Determinar la resistencia a la tensión por flexión de probetas prismáticas de concreto, simplemente apoyadas; ensaye que se realiza comúnmente para llevar el control de calidad en los concretos para pavimentos rígidos.

Equipo que se requiere:

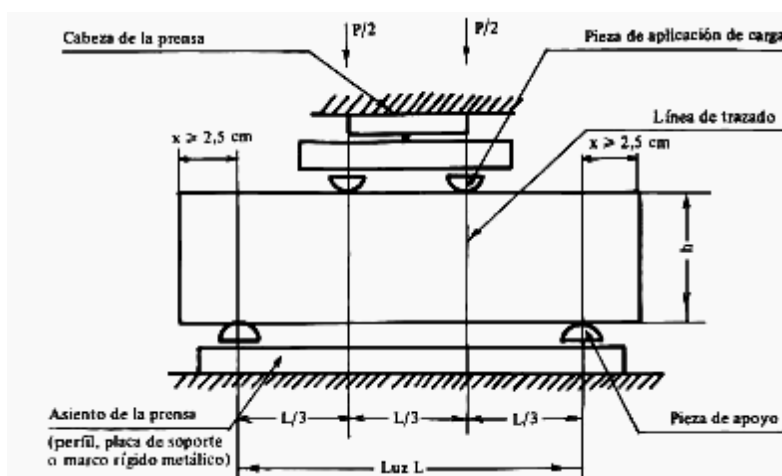
Prensa de ensaye

Dispositivo de tensión por flexión con piezas de apoyo de la probeta y piezas para aplicar la carga.

Regla rectificadora de una longitud mínima de 500 mm.

Procedimiento:

1. Marcado y medición de las probetas
2. La distancia entre las líneas de apoyo y los extremos de la probeta debe ser igual o mayor a 2,5 cm.
3. Con líneas rectas, finas e indelebles se marcan sobre las cuatro caras mayores, las secciones de apoyo y de carga, que servirán para colocar y alinear la probeta en la máquina de ensayo.



Ensayo con $P/2$ en los tercios.

4. Se limpian las superficies de contacto de la probeta y máquina de ensayo y se coloca la probeta alineada y centrada dejando la cara de llenado en posición vertical.
5. Se aplica hasta un 5% de la carga prevista de rotura verificando que los contactos cumplen las tolerancias.
6. Se continúa aplicando la carga en forma continua y sin choques de velocidad uniforme cumpliendo las siguientes condiciones:
Alcanzar la rotura en un tiempo igual o superior a 300 seg
Velocidad de aplicación de carga no superior a $0.16 \text{ kg/cm}^2/\text{seg}$
7. Registrar la carga máxima (P) expresada en kgs.

Medir y registrar el ancho promedio (b) y la altura promedio (h) de la probeta en la zona de ruptura, con aproximación de 1mm.

8. Ensayo con P/2 en los tercios:

Si la fractura se produce en el tercio central de la luz d ensayo, calcular la resistencia a tensión por flexión del concreto, por la fórmula:

$$R_f = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2} \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

9. Si la fractura se produce fuera del tercio central del claro libre, pero en la zona comprendida entre el plano de aplicación de la carga y una distancia de 0,005 L de ese plano, calcular la resistencia a tensión por flexión del concreto por la fórmula:

$$R_f = \frac{3 \cdot P \cdot a}{b \cdot h^2} \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

Donde: “a” es la distancia en cm entre la sección de rotura y el apoyo más próximo, medido a lo largo del eje central de la superficie inferior de la probeta.

10. Ensayo con P en el centro del claro libre

Calcular la resistencia a tensión por flexión del concreto por la fórmula siguiente:

$$R_f = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2} \text{ [kgf/cm}^2\text{]}$$

Los resultados de resistencia a tracción por flexión se expresan con una aproximación igual o inferior a 0.5 kg/cm².

8. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO DE REFUERZO

Materiales metálicos.

Los metales, se dividen en Ferrosos y No Ferrosos. Vamos a tratar exclusivamente de los materiales ferrosos, ya que son los que se utilizan en mayor escala en las obras de la Ingeniería.

Los materiales ferrosos son principalmente aleaciones de hierro, carbón y pequeñas cantidades de sulfuro, fósforo, silicio y manganeso. En algunos casos se hace la aleación con níquel, cromo, molibdeno, etc., para impartir ciertas propiedades especiales tanto físicas como mecánicas.

Las tres formas más comunes de los materiales ferrosos son el acero, el hierro colado y el hierro forjado o hierro dulce. El acero es fundamentalmente una solución sólida de carbón en hierro; ya que el hierro a la temperatura de fusión interna no soporta más del 1.7% de carbón en peso, éste valor viene a ser el límite superior teórico de carbón en el acero.

Sin embargo los aceros comerciales rara vez contienen más del 1.2% de carbón..

A continuación se presenta una tabla en que se indican los contenidos aproximados de carbón en los metales ferrosos:

<i>Material</i>	<i>% de Carbón, en peso</i>
Hierro dulce	Vestigios y cantidades hasta 0.9
Acero de calderas	0.10 a 0.15
Acero estructural	0.16 a 0.30
Acero de máquinas	0.31 a 0.60
Acero de herramientas	0.61 a 1.20
Acero colado especial	1.21 a 2.20
Acero colado	2.21 a 4.50

8.1 Composición química del acero

El acero cumplirá con los siguientes requisitos por lo que respecta a composición química:

Fósforo, máx., por ciento:

Hogar abierto, oxígeno básico, horno eléctrico,

Básico 0.05

Ácido 0.08

Ácido bessemer y hogar abierto, oxígeno básico

u horno eléctrico refosforizado 0.12

8.2. Varillas de acero empleadas en concreto reforzado.

Las varillas de acero de refuerzo se obtienen por:

1. Laminación de lingotes fabricados especialmente.
2. Relaminación de rieles para FFCC.
3. Relaminación de ejes y ruedas de locomotora o de materiales de carros de FFCC o algún otro material adecuado.

En lo que respecta al acabado de las varillas de acero de refuerzo, se considera como varilla corrugada la que cumple con ciertos requisitos de deformación superficial o resaltos en su superficie, las cuales más adelante se detallarán.

Las que no estén de acuerdo con dichos requisitos se considerarán como varillas lisas.

De acuerdo con su procedencia las varillas de acero para concreto reforzado se clasifican entres tipos según su calidad: Tipo A, Tipo B y Tipo C, que se describirán a continuación:

Las varillas del Tipo A procedentes de tochos o sea trozos de lingotes laminados en desbaste que provienen de vaciados especiales, pueden ser:

a) LISAS

1. Estructurales.
2. Intermedias.
3. Duras.

b) CORRUGADAS

1. Estructurales.
2. Intermedias.
3. Duras.

c) TORCIDAS EN FRÍO

1. Lisas.
2. Corrugadas.

Las varillas del Tipo B procedentes de rieles, pueden ser:

a) LISAS

1. Duras.

b) CORRUGADAS

1. Duras.

Las varillas del Tipo C proceden de ejes de acero y ruedas de acero al carbón, para locomotoras de FFCC, o de materiales de composición uniforme y de carácter sano y apropiado para refuerzo de concreto, tal como flechas, barras y perfiles estructurales, etc., siempre que su calidad sea aceptable:

a) *LISAS*

1. Estructurales.
2. Intermedias.
3. Duras.

b) *CORRUGADAS*

1. Estructurales.
2. Intermedias.
3. Duras.

En lo referente a peso por unidad de longitud y dimensiones que deban tener las varillas lisas y corrugadas, cualquiera que sea su tipo, a continuación aparece una tabla:

Varilla No.	Diámetro nominal en pulgadas	Área neta en cm ²		Peso en kg/m	
		Nominal	Mín. permisible	Nominal	Mín. permisible
2	¼	0.32	0.29	0.250	0.255
2.5	5/16	0.50	0.45	0.391	0.352
3	3/8	0.71	0.67	0.563	0.529
4	½	1.27	1.19	1.001	0.941
5	5/8	1.98	1.86	1.565	1.471
6	¾	2.85	2.68	2.252	2.117
7	7/8	3.88	3.65	3.066	2.882
8	1	5.07	4.76	4.003	3.763
9	1 1/8	6.42	6.03	5.068	4.764
10	1 ¼	7.92	7.44	6.254	5.879
11	1 3/8	9.58	9.01	7.570	7.116
12	1 ½	11.40	10.72	9.007	8.467

En lo referente a la corrugación, deberán cumplir los requisitos que aparecen tabulados a continuación; las deformaciones mencionadas tienen por objeto impedir el deslizamiento de las varillas de refuerzo, al estar trabajando por adherencia con el concreto sometido a esfuerzos de tensión.

Diámetro nominal en pulgadas	Diámetro nominal en mm.	Separación máxima entre las corrugaciones en mm.	Altura mínima de las corrugaciones en mm.	Perímetro nominal en mm.	Ancho de una costilla en mm.
5/16	7.94	5.6	0.3	25.0	3.1

Esta columna se calculó para el caso de dos costillas longitudinales.

3/8	9.52	6.7	0.4	29.92	3.7
1/2	12.70	8.9	0.5	39.90	5.0
5/8	15.87	11.1	0.7	49.86	6.2
3/4	19.05	13.3	1.0	59.84	7.5
7/8	22.22	15.5	1.1	69.82	8.7
1	25.40	17.8	1.3	79.81	10.0
1 1/8	28.57	20.0	1.4	89.77	11.2
1 1/4	31.75	22.2	1.6	99.74	12.5
1 3/8	34.92	24.4	1.8	109.72	13.7
1 1/2	38.10	26.7	1.9	119.69	15.0

Las corrugaciones deben estar igualmente espaciadas a todo lo largo de la varilla y se colocarán respecto al eje de la varilla de modo tal que formen un ángulo de 45° entre sí.

Cuando la corrugación forme un ángulo de 45° a 70° inclusive, las corrugaciones deben cambiar alternativamente de dirección en cada lado de la varilla, o bien de un lado deben tener inclinación contraria a las corrugaciones de la cara opuesta. Si el ángulo entre la corrugación y el eje de la varilla es mayor de 70°, no se necesita ese cambio de dirección.

El espaciamiento promedio a distancia entre corrugaciones en la superficie de la varilla, no deberá exceder de 7/10 del diámetro nominal de la varilla.

8.3. Especificaciones de las pruebas de tensión.

Con respecto a la prueba de tensión, las varillas de acero empleadas en concreto reforzado, deberán cumplir las siguientes especificaciones en todo lo referente a límite elástico aparente o punto de fluencia, esfuerzo máximo y porcentaje de alargamiento mínimo permisible:

<i>Concepto</i>	<i>Varillas lisas</i>			<i>Varillas corrugadas</i>			<i>Varillas torcidas en frío</i>
	<i>Grado Estructural</i>	<i>Grado Intermedio</i>	<i>Grado Duro</i>	<i>Grado Estructural</i>	<i>Grado Intermedio</i>	<i>Grado Duro</i>	
<i>Límite Elástico aparente en kg/cm²</i>	2300 mínimo	2800 mínimo	3500 mínimo	2300 mínimo	2800 mínimo	3500 mínimo	4000 mínimo
<i>Esfuerzo Máximo en kg/cm²</i>	3900 a 5300	4900 a 6300	5600 mínimo	3900 a 5300	4900 a 6300	5600 mínimo	5000 mínimo
<i>Alargamiento en largo de 20 cm</i>	98000	91000	77000	84000	77000	70000	8
<i>Mínimo por ciento</i>	Esfuerzo máximo pero no menor de 20%	Esfuerzo máximo pero no menor de 16%	Esfuerzo máximo	Esfuerzo máximo pero no menor de 16%	Esfuerzo máximo pero no menor de 12%	Esfuerzo máximo	

Las correcciones que se deben hacer a los por cientos de alargamiento especificados en la tabla anterior, de acuerdo con el diámetro de la varilla se tabulan a continuación. Estas correcciones son negativas, de manera que el por ciento de alargamiento mínimo permisible será el anotado en el párrafo anterior menos la corrección de la siguiente tabla.

<i>Tamaño nominal</i>	<i>Correcciones C en por ciento</i>	<i>Tamaño nominal</i>	<i>Correcciones C en por ciento</i>
2	-3	7	-1
2.5	-2	8	-2
3	-1	9	-3
4	0	10	-4
5	0	11	-5
6	0	12	-6

Las especificaciones de prueba serán de la sección completa de la varilla tal como han sido laminados.

Para la prueba de tensión de las varillas corrugadas se puede proceder con cualquiera de los tres métodos siguientes, para conocer el área de la sección fracturada:

a) De una de las varillas tomadas de muestra, se corta un tramo de 10 cm de longitud; se cepillan perfectamente sus extremos y se aplica uno ellos sobre un cojín entintador para que se impregne de tinta, de manera que al imprimirlo posteriormente sobre un papel milimétrico se quede marcada en este toda el área completa sobre el papel, a fin de poder contar en éste el número de milímetros abarcados por el perímetro y conocer así el área en estas unidades. El procedimiento es bastante aproximado.

b) El tramo de varilla cortada se sumerge en una probeta graduada en la que previamente se introdujo agua hasta una cierta marca. El volumen desplazado por la varilla se obtiene por diferencia de lecturas al quedar ésta dentro de la probeta. Este volumen se divide entre el largo promedio de la probeta y nos dará así con bastante exactitud el área de la sección transversal.

c) Se calcula el peso por unidad de longitud para estimar la cantidad de varilla existente en la obra y poderlo comparar con el peso total requerido para cada diámetro. Al conocer el peso unitario de cada diámetro de varilla, se compara éste con el que los manuales indican y así se sabe si el área de la varilla es el correcto.

Cuando se conoce el peso por metro lineal de una varilla de determinado diámetro, al área se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Área de la sección} = \frac{\text{Peso}}{\text{Longitud (Peso por unidad de volumen)}}$$

En lo referente al alargamiento, si el porcentaje de éste es menor del especificado en la tabla anterior de requisitos que deben cumplir las varillas de refuerzo del concreto, habiéndose presentado la fractura fuera del tercio medio de medición de acuerdo con lo observado en las marcas anotadas previamente, se podrá sustituir la probeta ensayada y efectuar una nueva prueba de tensión.

8.4. Especificaciones para prueba de doblado.

La prueba más sencilla para juzgar de la buena calidad de un material por lo que respecta a ductilidad, consiste en ver si pasa una prueba de doblado en frío.

En la prueba de doblado las varillas deben de cumplir con los siguientes requisitos:

Todas las varillas deben de pasar satisfactoriamente sin romperse ni agrietarse, las pruebas de doblado en frío que se citan a continuación. La letra *d* representa el diámetro del mandril que se usará para la prueba y *d* es el diámetro de la varilla:

Número de las varillas	V A R I L L A S L I S A S					
	Grado Estructural		Grado Intermedio		Grado Duro	
	Ángulo	Diámetro del perno	Ángulo	Diámetro del perno	Ángulo	Diámetro del perno
Menores del No. 6	180°	d =	180°	d = 2	180°	d = 4
No. 6 y mayores	180°	d =	180°	d = 2	180°	d = 4

Número de las varillas	V A R I L L A S C O R R U G A D A S					
	Grado Estructural		Grado Intermedio		Grado Duro	
	Ángulo	Diámetro del perno	Ángulo	Diámetro del perno	Ángulo	Diámetro del perno
Menores del No. 6	180°	d = 2	90°	d = 3	90°	d = 4
No. 6 y mayores	180°	d = 3	90°	d = 4	180°	d = 5

Número de las varillas	V A R I L L A S T O R C I D A S E N F R Í O					
	L I S A S			C O R R U G A D A S		
	Ángulo	Diámetro del perno		Ángulo	Diámetro del perno	

Menores del No. 6	180°	d = 2	180°	d = 3
No. 6 y mayores	180°	d = 3	180°	d = 3

El acabado y estado de conservación de las varillas deben ser tales, que la sección completa de la varilla y su longitud estén bien terminadas y libre de defectos perjudiciales como grietas, poros u oxidación excesiva.

8.5. Muestreo. Se tomarán 3 varillas de 1.50 m de largo c/u por cada 100 varillas provenientes del mismo lote, por cada uno de los diámetros existentes. En el tramo por ensayar se cortará además un trozo de varilla para hacer la determinación del área promedio de su sección transversal y para proceder a efectuar una inspección metalúrgica macroscópica, que consiste en someter una muestra de la varilla cortada en forma de pequeña “tajada” de aproximadamente 1½ cm de espesor, al ataque de una solución de ácido clorhídrico al 50% a una temperatura de 80° C durante una hora.

El objeto que se persigue es el de descubrir defectos de laminación y defectos tales como grietas, poros, inclusión de materiales extraños, etc.

Se ha visto y demostrado que cuando las varillas de acero de alta resistencia han sufrido un ataque intenso de oxidación, así como los cables que se emplean para preesfuerzo, se puede originar una reducción en su límite de tolerancia a menos del 20% de su esfuerzo máximo cuando se encuentran en estructuras sometidas a esfuerzos repetidos.

Igualmente, cuando se tienen defectos en el proceso de laminación o las varillas o las varillas provienen de fierro de paquete, se presentan defectos en su sección transversal, los cuales reducen hasta en un 50% la capacidad de resistencia de ellas; en algunas pruebas realizadas por N. E. Frost se encontró que bastan grietas de un centésimo de pulgada de profundidad en dos de las caras de una probeta rectangular, para que el límite de tolerancia de la muestra de acero estructural, se reduzca hasta en un 25% del esfuerzo máximo.

Los defectos principales que se encuentran en las varillas de refuerzo para concreto, son las siguientes:

- a) Varillas que se han fabricado con fierro de paquete, el cual se encuentra constituido por material de desperdicio. Las varillas de ésta procedencia no cumplen la especificación química ni la de uniformidad de éstos materiales, por lo cual se encuentran fuera de especificaciones.
- b) Varillas con grietas de laminación producidas por enfriamiento o por temperaturas de laminación inadecuadas.
- c) Varillas con material muy poroso a causa de haberse elaborado de lingotes defectuosos. La resistencia de éste tipo de varillas es muy baja.
- d) Varillas con tubo o inclusión de materias extrañas, causadas por falta de descarte antes de proceder al laminado de los lingotes.

Todos los defectos mencionados anteriormente son motivo de rechazo de las varillas, ya que como antes se indicó la reducción de su resistencia máxima cuando se presentan esfuerzos repetidos, puede ser un serio peligro para la estabilidad de la obra.

El muestreo cuidadoso y el ensaye correcto de las varillas de refuerzo para concreto es de primordial importancia para lograr obtener resultados que sean fieles representativos de la calidad del material que pretende emplearse.

Por lo que respecta a la prueba de doblado, el número especificado de dobleces que se hagan al material puede ser uno o más, no teniendo relación directa con el esfuerzo de ruptura del material. Se considera que el material pasa la prueba de doblado cuando después de haberla realizado no se observan agrietamientos ni ruptura del material; sin embargo, cuando el material presenta alguno de los defectos citados con anterioridad, se puede observar claramente en la parte exterior del doblado una especie de escamamiento y deslizamiento del metal cuando su constitución no es la adecuada.

8.6. Prueba de Tensión.

Para conocer las cargas que pueden soportar los materiales, se efectúan ensayos para medir su comportamiento en distintas situaciones. El ensayo destructivo más importante es el ensayo de tensión, en donde se coloca una probeta en una máquina de ensayo consistente de dos mordazas, una fija y otra móvil. Se procede a medir la carga mientras se aplica el desplazamiento de la mordaza móvil. Un esquema de la máquina de ensayo de tensión se muestra en la **Figura 1**.

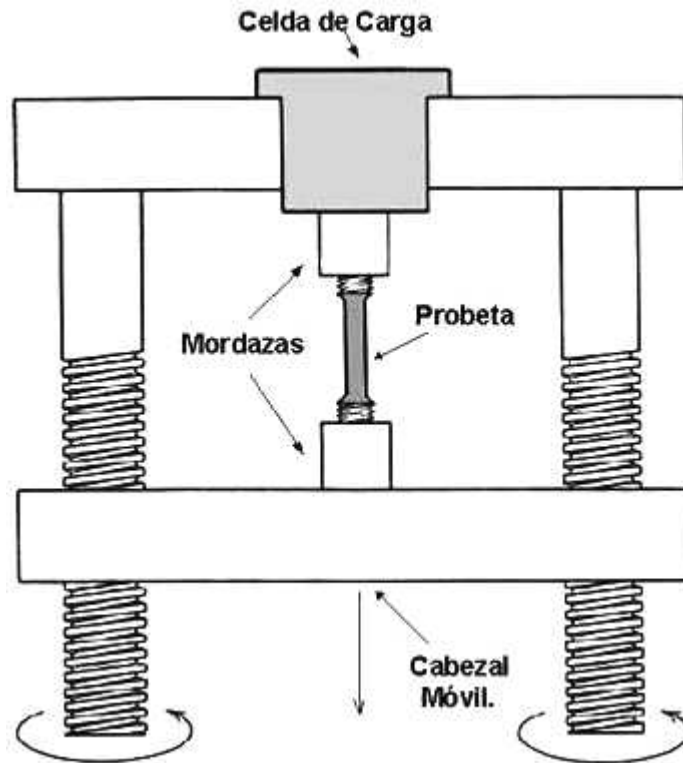
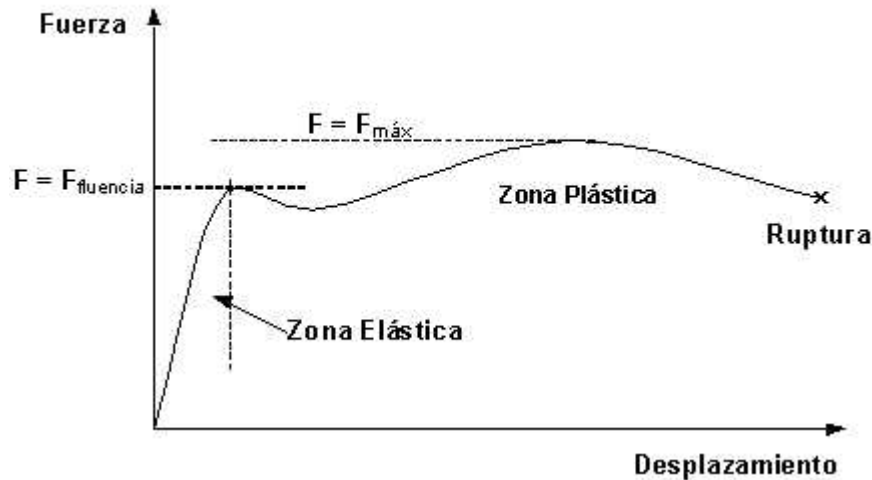


Figura 1. Máquina de Ensayo de Tensión

La máquina de ensayo impone la deformación desplazando el cabezal móvil a una velocidad seleccionable. La celda de carga conectada a la mordaza fija entrega una señal que representa la carga aplicada, las máquinas poseen un plotter que grafica en un eje el desplazamiento y en el otro eje la carga leída.

ENSAYO DE TENSION

La Figura 2 muestra el gráfico obtenido en una máquina de ensayo de tensión para un acero.

8.7. Curva fuerza - deformación de un acero.

La curva tiene una primera parte lineal llamada zona elástica, en donde la probeta se comporta como un resorte: si se quita la carga en esa zona, la probeta regresa a su longitud inicial.

Se tiene entonces que en la zona elástica se cumple:

$$F = K (L - L_0)$$

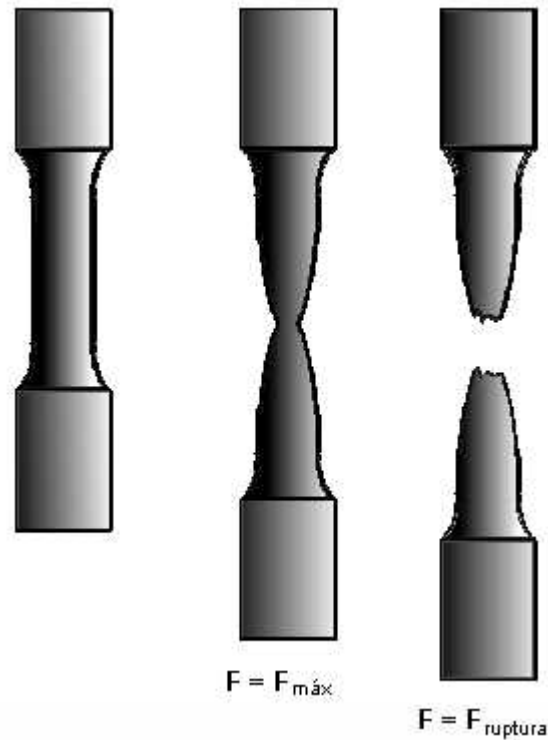
F: fuerza, K: cte del resorte, L: longitud bajo carga, L_0 : longitud inicial

Cuando la curva se desvía de la recta inicial, el material alcanza el punto de fluencia, desde aquí el material comienza a adquirir una deformación permanente. A partir de este punto, si se quita la carga la probeta quedaría más larga que al principio. Deja de ser válida nuestra fórmula $F = K (L - L_0)$ y se define que ha comenzado la zona elástica del ensayo de tracción. El valor límite entre la zona elástica y la zona plástica es el punto de fluencia (yield point) y la fuerza que lo produjo la designamos como:

$$F = F_{yp} \text{ (yield point)}$$

Luego de la fluencia sigue una parte inestable, que depende de cada acero, para llegar a un máximo en $F = F_{máx}$ entre $F = F_{yp}$ y $F = F_{máx}$ la probeta se alarga en forma permanente y repartida, a lo largo de toda su longitud. En $F = F_{máx}$ la probeta muestra su punto débil, concentrando la deformación en una zona en la cual se forma un cuello.

La deformación se concentra en la zona del cuello, provocando que la carga deje de subir. Al adelgazarse la probeta la carga queda aplicada en menor área, provocando la ruptura.



La Figura 3 muestra la forma de la probeta al inicio, al momento de llegar a la carga máxima y luego de la ruptura.

Para expresar la resistencia en términos independientes del tamaño de la probeta, se dividen las cargas por la sección transversal inicial A_o , obteniéndose:

Resistencia a la fluencia:

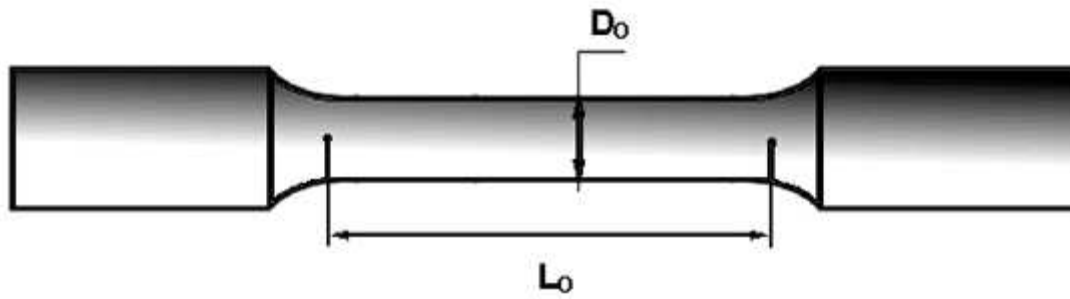
$$f_y = F_y / A_o$$

Resistencia a la tensión:

$$f_u = F_{\text{máx}} / A_o$$

Unidades : Kg/cm^2 ó Mpa ó Ksi

Considerando una probeta cilíndrica: $A_o = D_o^2 / 4$



La Figura 4 ilustra una probeta al inicio del ensayo indicando las medidas iniciales necesarias.

Analizando las probetas después de rotas, es posible medir dos parámetros: El alargamiento final L_f (Figura 5) y el diámetro final D_f , que nos dará el área final A_f .

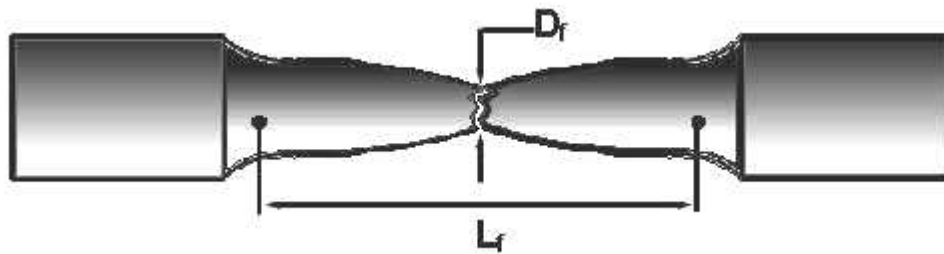


Figura 5

Estos parámetros se expresan como porcentaje de reducción de área $\%R_A$ y porcentaje de alargamiento entre marcas $\%L$:

$$\% R_A = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$

$$\% L = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100$$

Ambos parámetros son las medidas normalizadas que definen la **ductilidad** del material, que es la capacidad para fluir, es decir, la capacidad para alcanzar grandes deformaciones sin romperse. La **fragilidad** se define como la negación de la ductilidad. Un material poco dúctil es frágil. La Figura 6 permite visualizar estos dos conceptos gráficamente.

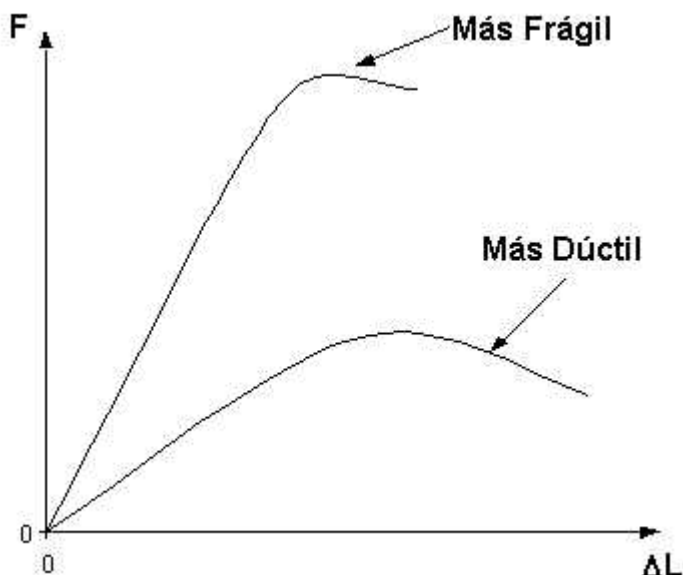


Figura 6

El área bajo la curva fuerza - desplazamiento (F versus L) representa la energía disipada durante el ensayo, es decir la cantidad de energía que la probeta alcanzó a resistir. A mayor energía, el material es más tenaz.

A partir de los valores obtenidos en el gráfico **Fuerza - Desplazamiento**, se puede obtener la curva Esfuerzo - Deformación. El esfuerzo, que tiene unidades de fuerza por área, ha sido definido anteriormente, la deformación unidimensional:

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$



En la Figura 7 se presenta un ejemplo del gráfico Esfuerzo-Deformación de un acero.

En la zona elástica se cumple:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

E: Módulo de Elasticidad = 2.1×10^6 (Kg / cm²)

Pero, $\sigma = F/A_0$ y $\epsilon = (L_f - L_0)/L_0$ con lo que queda

$$F/A_0 = E (L_f - L_0)/L_0 \text{ y definitivamente}$$

$$F = (E A_0 / L_0) (L_f - L_0)$$

En donde la "constante de resorte":

$$K = EA_0/L_0$$

El siguiente ejemplo de la Figura 8, muestra una curva característica del acero.

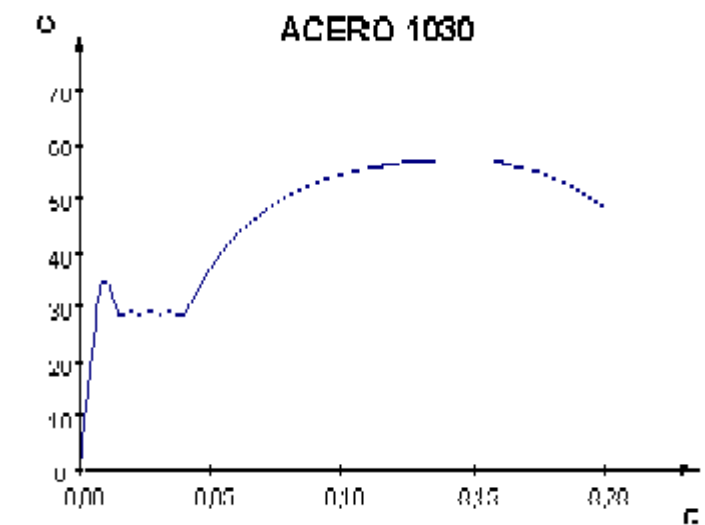


Figura 8
Curva , en (1000 lb/pulg²).

Los diagramas esfuerzo-deformación de diversos materiales varían ampliamente y diferentes ensayos de tensión con el mismo material pueden producir resultados diferentes de acuerdo con la temperatura de la probeta y la velocidad de carga. Sin embargo, es posible distinguir algunas características comunes a los diagramas de varios grupos de materiales y dividirlos en dos amplias categorías: materiales dúctiles y materiales frágiles, conceptos definidos anteriormente.

Durante el ensayo de tensión, si se descarga la probeta, luego de alcanzar la zona plástica, pero antes de producirse la ruptura, la curva cambia de forma. La longitud de la probeta tiende a recuperarse, pero no alcanza la longitud inicial, quedando con un longitud mayor, que se denomina deformación permanente. A nivel gráfico, la curva se devuelve con la pendiente de la zona elástica (Figura 9).

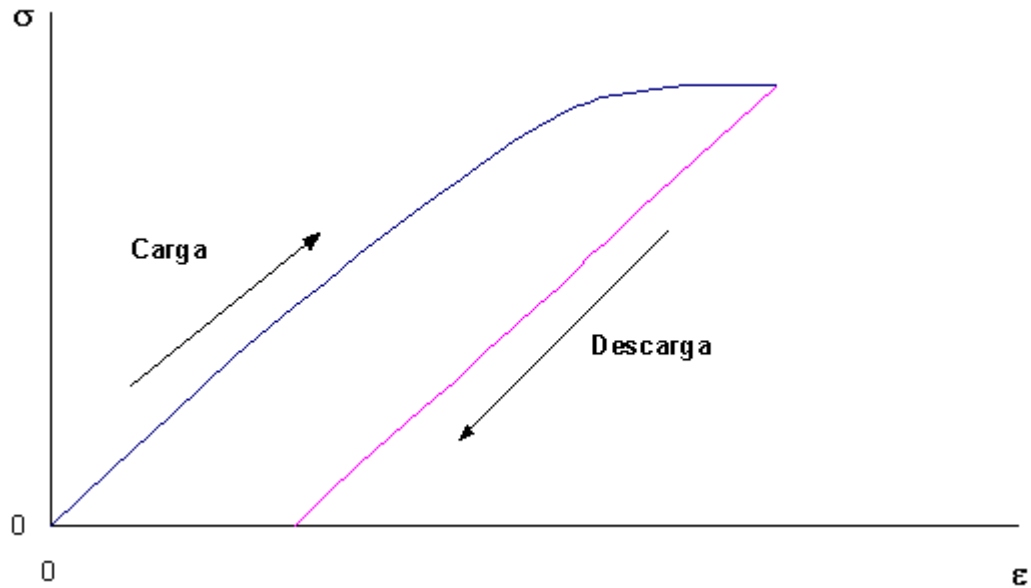


Figura 9

Finalmente, si la curva del material no presenta claramente dónde termina la zona elástica y comienza la zona plástica, se define como punto de fluencia al correspondiente a una deformación permanente del 0,2%.

La Figura 10 ilustra lo anterior, mostrando el diagrama de esfuerzo contra deformación para cobre policristalino.

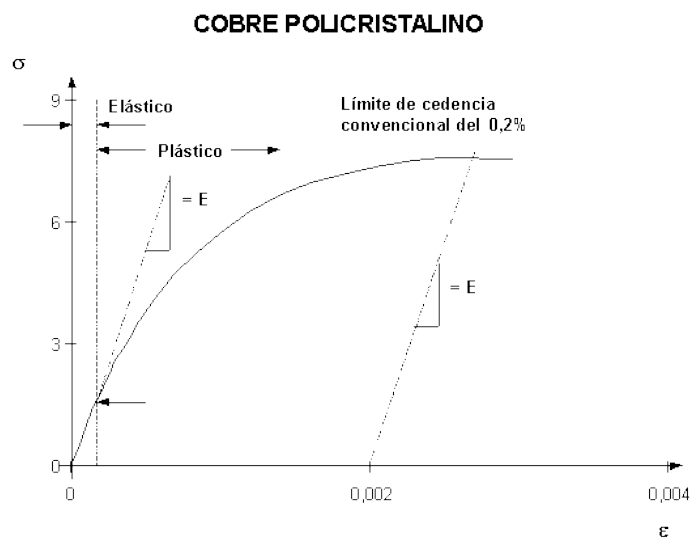


Figura 10

Región elástica y región plástica inicial que muestra el límite de fluencia para una deformación permanente de 0,2%.

9. COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE VIGAS Y COLUMNAS DE CONCRETO REFORZADO

9.1. Vigas:

Descripción y diseño de los especímenes de prueba.

a). El espécimen 1 es una viga con una sección transversal de 15 x 30 cms. y una longitud total de 3.00 m. . un claro libre de 2.80 m., quedan do 10 cm. a cada lado para proporcionar una buena zona de apoyo. Se diseñó para que tuviera una falla por fluencia del acero para lo cual se armó con una cuantía menor que la balanceada.

El armado consiste en cuatro varillas #4 con escuadra en ambos extremos proporcionándose estribos de alambazón. Se incluyó en la zona de compresión dos varillas longitudinales #3 para mantener el armado vertical en su Posición. Todos los diseños fueron hechos de acuerdo a la teoría plástica, sin tener en cuenta ningún reglamento y sin reducir o modificar la capacidad de los especímenes.

Al final de este capítulo se incluyen cálculos de cada espécimen. b). El espécimen 2 es una viga con una cuantía mayor que la balanceada para que su falla fuese por aplastamiento del concreto. Las dimensiones fueron iguales al espécimen #1, sólo varió el acero de tensión que en este caso se armó con dos varillas #12, no se armó a cortante en tercio medio ni llevó acero longitudinal de compresión en dicha zona contribuyera al aumento de resistencia del espécimen.

c). El espécimen 3 es una viga diseñada para que su falla sea por te diagonal. Se armó longitudinalmente en tensión con 4 varillas #5; no proporcionó acero de compresión ni acero vertical (estribos). Las mansiones son iguales a las dos anteriores. d). El espécimen 4 es una viga con idénticas características al anteriores variando únicamente la posición de la carga.

e). El espécimen 5 es una viga diseñada para que falle por adherencia. Consiste en un claro libremente apoyado y un Volado en uno de sus extremos, el acero de tensión en el volado se llevó hasta el punto de inflexión del diagrama de momentos para que dicho acero estuviera rodeado en da su longitud por zonas de tensión y fuera el que fallara por adherencia Se proporcionó acero para armado de estribos (longitudinal) y estribo de acuerdo a su capacidad para que no fallara por otra causa sino por adherencia.

9.1.1. Diseño de los especímenes.

Datos comunes a todos los especímenes:

$$f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$b = 15 \text{ cm.}$$

$$h = 30 \text{ cm.}$$

$$P_b = 0.042$$

$$f'_y = 2,530 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$d = 27.5 \text{ cm.}$$

$$R = 2.5 \text{ cm.}$$

9.1.2. Comportamiento bajo carga

Comportamiento antes de la carga de agrietamiento

Durante los primeros incrementos de carga, aparecen grietas de flexión más o menos verticales en las zonas de momento puro o máximo según el espécimen. Las flechas y las deformaciones en las varillas son proporcionales a la carga.

Al ir incrementando la carga van apareciendo grietas en el claro donde hay cortante, aumentando en inclinación a medida que éstas se van originando hacia los apoyos que generalmente no son continuación de las grietas que se originaron por flexión. Los siguientes incrementos de carga hacen que las grietas por flexión aumenten un poco más y las debidas a cortante igualmente, notándose mayores deflexiones y deformaciones en el acero. A medida que la grieta aumenta en longitud aumenta también en abertura. Los posteriores incrementos de carga producen efectos muy variados en cada viga y son particulares dependiendo del tipo de falla al que está previsto el diseño. .

a) Falla por flexión. Esta ocurre después de aparecer grietas por tensión diagonal en un lado y luego en el otro permaneciendo prácticamente sin crecer. Continúan apareciendo grietas por flexión principalmente donde el momento es máximo. Las deflexiones aumentan considerablemente al igual que las deformaciones en el acero; esto indica que esta fluyendo y prácticamente la carga permanece constante. Se sigue aplicando carga aun cuando esta no aumente y las grietas se hacen bastante amplias y luego viene la falla por aplastamiento del concreto con una deflexión bastante considerable.

b) Falla por compresión. En las primeras etapas de carga se comporta de una manera similar a la anterior, sólo que en este caso las grietas por tensión o flexión no son de la misma longitud, debido a que tiene una cuantía mayor que la balanceada; este tipo de especímenes tienen mayor capacidad a flexión lo cual hace que el cortante sea bastante mayor y las grietas por flexión son más pequeñas en cuanto a abertura y longitud. A medida que se va incrementando la carga llega un punto en el cual, aún cuando se siga aplicando carga, ésta no aumenta, notándose un rápido descenso en el manómetro y la falla por aplastamiento viene de súbito y sin previo aviso. Esto sucede en segundos formándose un cono de falla en la parte central del espécimen.

c) Falla por tensión diagonal. Esta falla ocurre al instante en que aparece la grieta inclinada en uno de los dos extremos; viene la falla súbita y se pierde toda capacidad de carga. El proceso de formación de grietas es similar, lo que se diferencia principalmente es que las grietas por flexión se estabilizan y las debidas a cortante se siguen presentando aumentando en longitud, abertura e inclinación cuanto más cerca se encuentren de los apoyos hasta aproximadamente tener 45°

d) Falla de compresión por cortante. La falla ocurre a una carga mayor debida a cortante, siendo mayor que la que origino la primera grieta inclinada importante. Después de la carga de agrietamiento palpable y al aumentar la carga, como en el caso anterior, las grietas se ensanchan y se alargan . La grieta inclinada se prolonga hasta la zona de compresión del claro donde hay cortante y puede continuar aun bajo la placa de carga o hasta antes de ésta. La falla

final es la destrucción de la zona de compresión arriba de las grietas debidas a tensión diagonal.

e) **Falla por adherencia.** Al empezar a aplicar la carga se van originando grietas en el apoyo donde hay momento negativo debido a la acción del volado que son una combinación de flexión y cortante que se unen en la parte superior con una grieta longitudinal formada a todo lo largo del acero que se encuentra colocado en dicha zona. Cuando aparece la primera grieta de consideración longitudinal se pierde la capacidad, aunque la recupere en parte, mediante la aplicación de más carga, perdiéndose después completamente. No se vuelve a llegar al primer máximo.

9.2. Columnas cortas

9.2.1. Columna con falla por compresión axial:

Las columnas se definen como elementos que sostienen principalmente cargas a compresión. En general, las columnas también soportan momentos flectores con respecto a uno o a los dos ejes de la sección transversal y esta acción de flexión puede producir fuerzas de tensión sobre una parte de la sección transversal. Aun en estos casos, se hace referencia a las columnas como elementos a compresión puesto que las fuerzas de compresión dominan su comportamiento. Además de] tipo más común como son los elementos verticales de estructuras, los elementos a compresión incluyen elementos principales de arcos, de pórticos rígidos inclinados o no, elementos a compresión en cercas, cascarones o porciones de éstas que soportan compresión axial y otras formas estructurales. En este capítulo se utilizará el término *columna* en forma intercambiable con el término *elemento a compresión*, por simplicidad y de conformidad con el uso general.

Se utilizan tres tipos de elementos a compresión de concreto reforzado:

1. Elementos reforzados con barras longitudinales y flejes transversales.
2. Elementos reforzados con barras longitudinales y espirales continuas.
3. Elementos compuestos a compresión reforzados longitudinalmente con perfiles de acero estructura] o con tubos con o sin barras longitudinales adicionales, además de diferentes tipos de refuerzo transversal.

Los tipos 1 y 2 son los más comunes y la mayor parte de] análisis en este capítulo se refiere a ellos,

El refuerzo principal en columnas es longitudinal, paralelo a la dirección de la carga y consta de barras dispuestas en forma de cuadrado, rectángulo o círculo.

Las columnas pueden dividirse en dos grandes categorías: las *columnas cortas*, en las cuales la resistencia se rige por la resistencia de los materiales y por la geometría de la sección transversal, y las columnas esbeltas en las cuales la resistencia puede reducirse en forma significativa por deflexiones laterales. Hace algunos años, un estudio conjunto del ACI y la ASCE señalaba que el 90 por ciento de las columnas arriostradas contra desplazamiento lateral y el 40 por ciento de 1 arriostradas podrían diseñarse como columnas cortas. El arriostramiento lateral efectivo, que el movimiento lateral relativo de los dos extremos de una

columna, se proporciona mediante muros de cortante, núcleos de ascensores y de escaleras, arriostramiento diagonal o una combinación de éstos. Aunque las columnas esbeltas son ahora más comunes por el uso de materiales de alta resistencia y por el mejoramiento en los métodos para calcular la dimensiones de los elementos, resulta aún válido que, en la práctica corriente, la mayor parte de las columnas pueden considerarse columnas cortas.

Con respecto al Código ACI 10.3.5, la *resistencia de diseño* útil de una columna cargada axialmente debe determinarse con la ecuación (8.3b) con la introducción de coeficientes de reducción de resistencia. Los coeficientes del ACI son menores para columnas que para vigas; esto refleja la mayor importancia de las columnas en una estructura. En general, la falla de una viga afectará solamente una región de la estructura, mientras que la falla de una columna puede generar el colapso de la estructura completa. Además, estos coeficientes reflejan las diferencias en el comportamiento de columnas con flejes y de aquéllas reforzadas en espiral, tema que se analizará en la sección 8.2. Para columnas reforzadas en espiral se utiliza un coeficiente básico 0 de 0.75 y para aquéllas con flejes, $\phi = 0.70$, en comparación con el valor de 0.90 para vigas.

El Código ACI 10.3.5 establece una limitación adicional en la resistencia de las columnas con el fin de compensar excentricidades accidentales de cargas no tratadas en el análisis. Esto podría lograrse especificando una excentricidad mínima (como se hizo en ediciones previas al Código) o más directamente, con la determinación de un límite superior en la capacidad, menor que la resistencia calculada de diseño. Este límite superior se toma igual a 0.85 veces la resistencia de diseño para columnas reforzadas en espiral y 0.80 veces la resistencia calculada para las columnas con flejes. Entonces, de acuerdo con el Código ACI 10.3.5, para columnas reforzadas en espiral

$$\phi P_n(\text{máx}) = 0.85\phi[0.85f_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

9.3. Compresión más flexión de columnas rectangulares

En edificios y otras estructuras resulta muy raro encontrar elementos cargados axialmente, es decir, concéntricamente a compresión. Algunos componentes, como las columnas y los arcos, sostienen ante todo cargas a compresión pero casi siempre está presente una flexión simultánea. Los momentos flectores se producen por continuidad, es decir, por el hecho de que las columnas son partes de pórticos monolíticos en los cuales los momentos en los apoyos de las vigas son resistidos en parte por las columnas de soporte, también bajo condiciones de cargas horizontales como fuerzas de viento, y frente a cargas aplicadas en forma excéntrica en ménsulas de columnas o en arcos donde el eje del arco no coincide con la línea de presión. Aún cuando los cálculos de diseño demuestren que un elemento está cargado axialmente, las imperfecciones inevitables de la construcción causarán excentricidades y la consecuente flexión en el elemento construido. Por esta razón, los elementos que deben diseñarse para compresión y flexión simultáneas son muy frecuentes en casi todos los tipos de estructuras de concreto.

Cuando un elemento esta sometido a una compresión axial p combinada con un momento flector M por lo general es conveniente remplazar la carga axial y el momento flector por una

carga equivalente de igual magnitud P aplicada con una excentricidad $e = MIP$. Las dos situaciones de carga son estéticamente equivalentes. Todas las columnas pueden entonces clasificarse en términos de la excentricidad equivalente. Aquéllas con un valor de e relativamente pequeño se caracterizan en general por una compresión a lo largo de toda la sección de concreto y, si se sobrecargan, fallarán por aplastamiento del concreto junto con una fluencia del acero a compresión en el lado más cargado. Las columnas con excentricidades grandes se someten a tensión sobre, al menos, una parte de la sección y, cuando se sobrecargan, pueden fallar por fluencia del acero a tensión en el lado más alejado de la carga.

Para las columnas, los estados de carga previos al estado último por lo general no son de importancia. El agrietamiento del concreto, aun para columnas con excentricidades grandes, no es en general un problema serio y las deflexiones laterales para cargas de servicio rara vez son un factor digno de tener en cuenta. El diseño de columnas se basa, entonces, en el estado de sobrecargas mayoradas, para el cual la resistencia requerida no debe exceder, como de costumbre, la resistencia de diseño, es decir:

$$\phi M_n \geq M_u$$

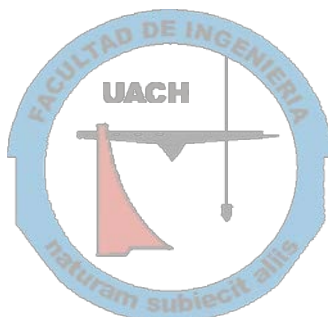
$$\phi P_n \geq P_u$$

BIBLIOGRAFÍA:

1. Última edición de las especificaciones ASTM y DGN
2. Práctica recomendada para el proporcionamiento de mezclas de concreto ACI 613-54.
Traducción del IMCYC
3. Comportamiento de elementos de concreto reforzado sujetos a flexión, Pompeyo E. Portillo E., Tesis Profesional (1967), Fac. de Ingeniería, U.A.CH.
4. Diseño y control de mezclas de concreto
Traducción de IMCYC
5. Curso básico de construcción
H. Bailey



Universidad Autónoma de Chihuahua. FACULTAD DE INGENIERÍA



Manual de Prácticas de
Laboratorio de Concreto.