



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**APUNTES DEL LABORATORIO DE MATERIALES PARA LAS MATERIAS
DE CONSTRUCCIÓN**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

GUTIÉRREZ ESCUDERO, FELIPE DE JESÚS

ASESOR: CANALES DE LA PARRA, SALVADOR

Ciudad Universitaria, México, Distrito Federal,

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO.

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-26

T-67

Al Pasante señor FELIPE DE JESUS GUTIERREZ ESCUDERO,
P r e s e n t e . 1979

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el profesor Ing. Salvador Canales de la Parra, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"APUNTES DEL LABORATORIO DE MATERIALES PARA LAS MATERIAS DE CONSTRUCCION"

1. Maderas de pino
2. Rocas
3. Materiales cementantes
4. Mamposterías
5. Concreto
6. Acero

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sus tentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 18 de agosto de 1978
EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE/OBLH/ser

C A P I T U L O I

MADERAS DE PINO

MADERAS:

La madera es un material orgánico que ha sido usado por el hombre desde la antigüedad para diversos fines, tanto culturales como técnicos. En la actualidad, los principales consumidores de madera en el mundo, por orden de importancia, son:

- I.- La industria de la construcción;
- II.- La minería;
- III.- Los transportes y comunicaciones;
- IV.- La industria de muebles;
- V.- La industria del papel, y
- VI.- La industria química.

De la producción mundial de madera se aprovecha tan sólo el 50% como madera de construcción; el 50% restante se emplea como leña. Las regiones poco desarrolladas industrialmente, como Africa y América Latina, presentan un consumo de leña muy superior al promedio mundial.

CLASIFICACION DE LAS MADERAS SEGUN SUS PROPIEDADES Y APLICACIONES EN LA CONSTRUCCION:

Maderas duras:

Proviene de árboles generalmente corpulentos de crecimiento lento, que dan una madera compacta y resistente.

Maderas blandas:

Proviene de árboles de crecimiento rápido, que dan una madera poco densa, blanda y poco resistente.

Maderas resinosas:

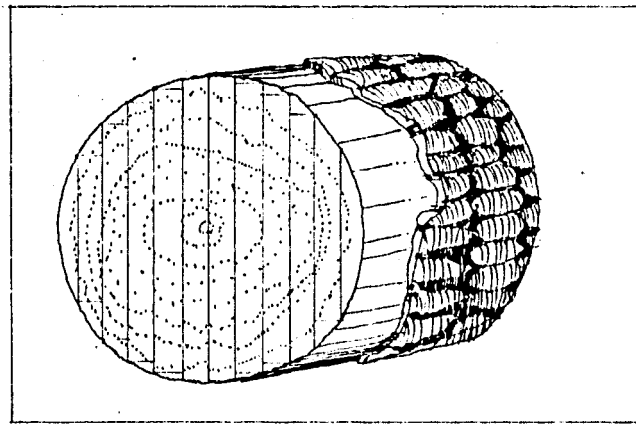
Proviene de las coníferas, y reemplazan a las maderas duras, siendo un poco más ligeras que éstas; resisten bien en el agua sin ser atacadas por aire, y en el aire sin ser atacadas por agua.

Maderas finas:

Proviene de árboles exóticos, y se emplean generalmente en la fabricación de muebles y decoración.

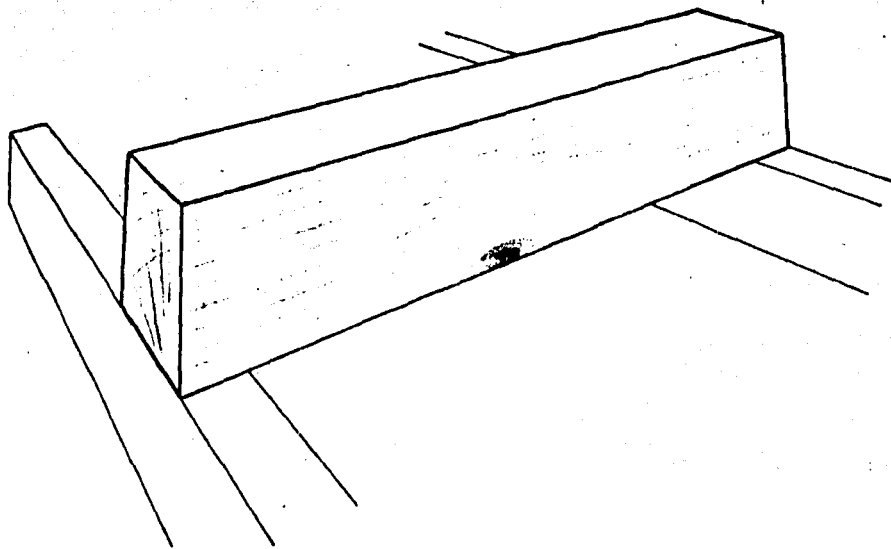
Maderas tropicales:

Proviene de árboles del Sur y del Sureste de la República, y se emplean en la fabricación de duela, lambrines, etc.



CLASIFICACION ESTRUCTURAL DE LA MADERA DE PINO

Para usar ventajosamente la madera para fines estructurales debe estar calificada y clasificada en forma precisa. Estudios hechos en Estados Unidos y en otros países --- han demostrado que la resistencia de un elemento estructural de una especie dada, depende tanto de los nudos como -- de la inclinación de las fibras, de las fisuras y de otros defectos aparentes menos importantes, así como de sus dimensiones y posición de dichos defectos en el elemento. Se ha observado que en la práctica rara vez se controla la colocación de los elementos en la obra, pudiendo quedar colocados en posición desfavorable, es decir, con su cara más débil del lado de tensión.



Tradicionalmente en México se ha comercializado la - madera con la norma DGN C18-1946, que fue pensada exclusi- vamente para clasificar madera de carpintería por su apa- riencia. La norma considera nudos, fisuras, bolsas de resi- na, partes podridas, color, torceduras, quemaduras, agujer- os de polilla, de gorgojo, etc., pero no toma en cuenta - la colocación de los defectos en el elemento, con relación - al trabajo estructural de la pieza.

La Norma DGN C18-1946 considera 5 grados de calidad para tablas y tablones, cuyos nombres y designaciones -- son los siguientes:

Grado "A".-	Selecta
" "B".-	de Primera
" "C".-	de Segunda
" "D".-	de Tercera
" "E".-	de Desecho.

La madera así comercializada se ha venido utilizando para fines estructurales, a falta de la norma correspondiente, lo que en muchos casos ha creado serios problemas, cuestionándose su adaptabilidad para la construcción. La desconfianza creada por esta situación ha ocasionado el uso de maderas importadas o nacionales seleccionadas en la integración de las pocas obras de importancia realizadas en México, obteniéndose obras costosas. En -- obras de poca importancia económica, donde se ha utilizado madera de menor calidad comercial, dicha desconfianza se ha querido contrarrestar con factores de seguridad -- exagerados, lo que ha ocasionado también obras costosas y no siempre seguras.

Debido a lo anterior, el actual Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, incluye un procedimiento que permite una mejor clasificación para fines -- estructurales, de la madera de segunda.

El procedimiento se desarrolló con base en las siguientes ideas:

- a) Se hace un estudio para comparar la resistencia de especímenes sin defectos y especímenes con -- defectos.
- b) Se forman grupos de defectos que afectan en la -- misma medida la resistencia.
- c) A cada grupo se le asocia una calidad de madera expresada en términos de porcentaje de resistencia.
- d) El efecto de los defectos, en la resistencia de la madera, no es acumulativo. Por tanto, rige el defecto mayor.
- e) Las normas técnicas incluyen 4 calidades:

V-75, V-65, V-50 y V-40, lo que significa:

V-40 = La resistencia de esa madera está entre -- el 40% y 49% de la resistencia que ten--- dría si careciera de defectos.

V-50 = La resistencia de esa madera está entre el 50% y 64% de la correspondiente a la madera sin defectos.

TIPO DE DEFECTOS Y FORMA DE MEDIRLOS

Nudos:

La manera de medir los nudos se representa gráficamente en la figura II, en que D es la dimensión que debe usarse para definir la calidad relativa del elemento. Si existen varios nudos, el que reduzca en mayor grado la capacidad del elemento será el que se compare con las calidades relativas provenientes de considerar los otros defectos.

No se permitirá la presencia de dos o más nudos de dimensión máxima en un mismo tramo de 30 cm del elemento por calificar.

Para vigas simplemente apoyadas, las dimensiones permisibles de los nudos en las zonas de canto y en las de borde fuera del tercio medio; se podrán incrementar hasta en un ciento por ciento, cuando se trate de los extremos del elemento; para posiciones intermedias, el incremento será proporcional.

En los elementos sujetos principalmente a compresión, la menor dimensión de los nudos será lo que se considere para su clasificación estructural.

Los agujeros pertenecientes a nudos caídos, se considerarán como nudos sólidos para fines de calificación.

Inclinación de las fibras:

Se medirá como lo indica la figura II. Para ello se podrá usar un detector de fibras como el que se representa en la figura III, el cual consta de una manivela giratoria, un vástago metálico y una aguja soldada al extremo del mismo. Sin hacer presión excesiva, la aguja se desplazará sin desgarrar las fibras, paralelamente a éstas. La medición de la pendiente de las fibras se hará en dos caras contiguas, tomando la de mayor pendiente para la calificación del elemento.

La medición de la pendiente de las fibras se hará sobre una distancia suficientemente grande para determinar la pendiente general; no se considerarán pequeñas desviaciones locales ni desviaciones debidas a nudos.

Fisuras:

Se medirán de acuerdo con la figura II, y su dimensión D se expresará en función de la cara de apoyo.

La profundidad de las fisuras cuando se presenten fuera de los extremos del elemento, se podrá medir con un alambre de acero, y cuando se presenten fuera de la mitad media del peralte y alejadas de los extremos más de tres veces el peralte, las dimensiones permisibles se podrán incrementar cincuenta por ciento.

Gema:

La gema o parte faltante de la sección transversal de un elemento, se medirá como lo indica la figura II. La suma de las proyecciones de las gemas sobre cualquier cara, no será mayor que la dada en la Tabla correspondiente.

Velocidad de crecimiento:

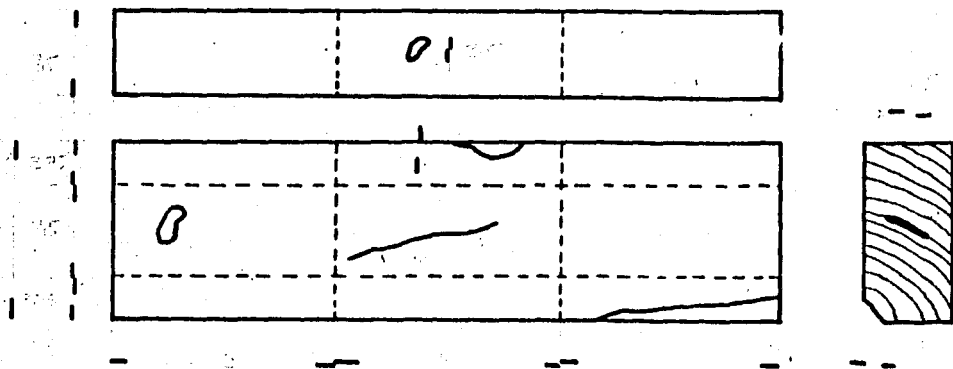
Esta medida por el número de anillos de crecimiento, contados sobre la sección transversal del elemento, que quedan comprendidos en una recta perpendicular a estos, de 5 cm de longitud.

En caso de quedar comprendido el centro del árbol en la sección transversal, la medición se hará alejada del centro cuando menos 3 cm.

Ejemplo:

Clasificación estructural de la madera en forma visual.

El elemento a clasificar trabajará a flexión y fuerza cortante, y estará libremente apoyado. Las caras mostradas son las más desfavorables.



DEFECTOS	LOCALIZACION	DIMENSION MAXIMA	CALIDAD
Nudo	Canto	2.5 cm	V-65
Nudo	Zona central	4.0 cm	V-75
Nudo	Zona de borde	2.0 cm	V-75
Inclinación de las fibras		1:10	V-50
Gema	Tercio exterior	1/4 del espesor. (sor.)	V-50
Fisuras		1/2 " "	V-50
Velocidad de crecimiento:		<u>12 anillos</u> 5 cm	V-65

RESULTADO:

La madera en cuestión queda clasificada como

V - 50

CONTENIDO DE HUMEDAD Y DENSIDAD RELATIVA DE LA MADERA

El contenido de humedad (CH) de la madera es un valor que varía en forma proporcional a las condiciones -- del medio ambiente. La importancia de determinarlo está en que para CH inferiores al 18% la resistencia de los elementos estructurales aumenta, con respecto a la resistencia de la madera saturada, como sigue:

- 10% para flexión y tensión;
- 20% para compresión paralela a la fibra;
- 50% para compresión perpendicular a la fibra.

Se dice que la madera está en condición verde (CV), cuando tiene contenidos de humedad superiores al 18%.

El punto de saturación de las fibras se logra cuando el contenido de humedad es aproximadamente de 30%.

La densidad de la madera (γ) es un valor definido como la relación entre el peso anhidro de la madera (P_0) que se obtiene cuando CH = 0 entre el volumen de la muestra, con contenido de humedad mayor o igual al 30%; sus unidades son gramos sobre centímetros cúbicos. La importancia de saberlo está en que la resistencia de la madera varía en función de su densidad relativa. Los investigadores de la UNAM, José H. Osio, Ramón Echenique-Manrique y Arturo Fuentes, recomiendan las siguientes expresiones que relacionan la resistencia en función de la densidad de cualquier especie, estando en condición verde:

SOLICITACION MECANICA	EXPRESION MATEMATICA	FACTOR DE RESISTENCIA
Flexión y tensión	$R_1 = 1400 \gamma^{1.25}$	0.28
Compresión paralela a las fibras	$R_2 = 670 \gamma^{1.25}$	0.37
Compresión perpendicular a las fibras	$R_3 = 160 \gamma^{2.00}$	0.50
Cortante	$R_4 = 190 \gamma^{1.25}$	0.19

APARATOS Y EQUIPO:

- 1.- Balanza con 0.01 gr de precisión.
- 2.- Horno capaz de mantener una temperatura constante de 105°C.
- 3.- Probeta graduada para medir el desplazamiento de agua causado por la introducción de la muestra de madera.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- En una probeta graduada medir el desplazamiento de agua causado por la introducción de la muestra. Esta lectura dará el volumen directamente. La muestra deberá tener un contenido de humedad mayor o igual al 30%. En caso de sospecharse que la muestra tiene contenidos de humedad por abajo del punto de saturación de las fibras (30% aproximadamente), esta se dejará sumergida hasta alcanzar el volumen máximo. Dos horas serán suficientes para obtenerlo.
- 2.- Para obtener el peso anhidro de la muestra deberá introducirse esta en un horno cuya temperatura interior sea de 105°C aproximadamente, hasta que su peso, medido constantemente en una balanza de precisión, no se altere.
- 3.- La relación del peso anhidro de la muestra en gramos al volumen obtenido como se indicó anteriormente en centímetros cúbicos, dará el valor de la densidad relativa.
- 4.- El contenido de humedad de la muestra se obtiene con la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{P - P_0}{P_0}$$

En donde:

P = Peso de la muestra al momento de su obtención, en gramos.

P₀ = Peso anhidro de la muestra, en gramos.

CH = Contenido de humedad de la muestra, en porcentaje.

CAPITULO II

LAS ROCAS

Uno de los más antiguos materiales de construcción son las rocas, y sus usos han variado a través del tiempo. Así, por ejemplo, en forma labrada han sido usadas para construir pirámides o castillos. En la actualidad, el uso más común de las rocas es forma triturada convenientemente, con el fin de utilizarlas en obras de concreto reforzado.

La exposición se dividirá en dos partes: una en relación con las pruebas de laboratorio para las piedras de mampostería, y otra con respecto a las rocas trituradas para fabricar concreto.

PIEDRA DE MAMPOSTERIA:

RESISTENCIA A COMPRESION DE LA PIEDRA EN DIRECCION NORMAL Y PARALELA A LOS PLANOS DE FORMACION:

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Las muestras deben ser representativas del lote.
- 2.- Los especímenes de prueba deben cortarse de la muestra por medio de sierras o de brocas para extraer un corazón en forma de cubo, de prismas cuadrangulares o de cilindro, con una base o diámetro de 7 cm y una relación altura a dimensión lateral de 1:1.
- 3.- Para la prueba deben prepararse un mínimo de tres especímenes para cada condición. Las condiciones de prueba serán: Húmedo, seco, de compresión paralela y perpendicular al lecho.
- 4.- La exactitud de los resultados del ensaye dependerá en gran parte de la distribución uniforme de la carga sobre la superficie en la que se aplique. Es necesario tener cuidado extremo de labrar las superficies de contacto con la carga de manera que queden razonablemente planas, sin rebordes y que sean paralelas opuestamente entre sí.

En cada espécimen deberán marcarse las superficies de contacto con la carga y la dirección del lecho.

Las dimensiones del espécimen deberán medirse con una aproximación de 1 mm y las áreas de contacto con la carga deberán calcularse con aproximación de un décimo de centímetro cuadrado.

Los especímenes que vayan a probarse en seco deberán estar sometidos a una temperatura de $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas antes del ensaye. Los especímenes que vayan a probarse en estado húmedo deberán sumergirse en agua a una temperatura de $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas, debiendo probarse inmediatamente después de haberse sacado del agua.

METODOS DE APLICACION DE LA CARGA EN RELACION AL LECHO DE LA PIEDRA:

- a) Carga perpendicular al lecho. b) Carga paralela al lecho.

NOTA.- Las líneas punteadas indican la dirección del lecho de la piedra, y las flechas indican la dirección de la carga.

- 5.- Los especímenes se deberán centrar en la máquina de ensaye, y la carga inicial deberá ser a una velocidad tal que permita el ajuste manual de la placa de contacto sobre el espécimen.

Debe hacerse girar la placa hacia atrás y hacia adelante en un ángulo aproximado de 30° y bajo una pequeña carga, con el objeto de asentar adecuadamente el cojinete o bloque esférico.

La velocidad de carga debe ser menor o igual a siete kilogramos sobre centímetro cuadrado cada segundo.

- 6.- Calcúlese la resistencia a la compresión de cada espécimen con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{P}{A}$$

Donde:

R = Resistencia a la compresión del espécimen.

P = Carga total al momento de la falla en kg.

A = Area de la superficie de carga en cm^2 .

Los resultados deberán redondearse al número entero más próximo.

- 7.- Cuando la relación entre la altura y el diámetro o dimensión lateral difiera de la unidad en 25% o más, se calculará la resistencia del cubo equivalente por medio de la siguiente fórmula:

$$R \text{ cubo} = \frac{R \text{ prisma}}{0.778 + 0.222 (b/h)}$$

Donde:

R cubo = Resistencia a la compresión de un espécimen cúbico equivalente.

R prisma = Resistencia a la compresión del espécimen prismático ensayado.

b = Diámetro o dimensión lateral del espécimen.

h = Altura del espécimen.

METODO PARA DETERMINAR LA ABSORCION DE LAS PIEDRAS NATURALES, CON EXCEPCION DE PIZARRAS:

APARATOS Y EQUIPO:

- 1.- Balanza con sensibilidad de 0.1 gr.
- 2.- Horno capaz de mantener una temperatura de $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- 3.- Equipo para corte y pulido de roca.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- La muestra deberá ser representativa del lote.
- 2.- Cuando menos se deberán probar tres especímenes o los necesarios, a juicio del ingeniero.
- 3.- Los especímenes deben adoptar una forma regular (cubos, prismas, cilindros), con una dimensión mínima de 5 cm y máxima de 7.5 cm. La relación entre el volumen y el área del espécimen deberá ser:

$$1.25 \quad \frac{\text{Volumen}}{\text{Area}} \quad 0.75$$

Las caras de la superficie deberán estar razonablemente tersas. Las superficies cortadas con sierra o con broca pueden considerarse satisfactorias; pero las superficies que presenten rugosidades o surcos deberán pulirse usando un esmeril o lija del número 80. No deberán usarse cinceles o herramientas similares para preparar los especímenes, en ningún estado de preparación.

- 4.- Los especímenes deben secarse durante 24 horas en un horno con circulación de aire, a una temperatura de $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Se deben dejar enfriar durante 30 minutos y pesarse. Los pesos deben determinarse con aproximación de 0.1 gr.
- 5.- Los especímenes deberán sumergirse en agua destilada a $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante 48 horas. Deberán secarse superficialmente con un trapo ligeramente húmedo y pesarse.
- 6.- El porcentaje de absorción en peso debe calcularse con la siguiente fórmula:

$$(\%) \text{ de absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

A = Peso seco del espécimen

B = Peso después de la inmersión.

RESISTENCIA AL INTEMPERISMO DE LA PIEDRA PARA MAMPOSTERIA:

Esta prueba proporciona información útil para juzgar la sanidad de los agregados expuestos a la acción de la intemperie, especialmente cuando no se dispone de información adecuada respecto al comportamiento de tales materiales en condiciones reales de intemperismo.

APARATOS Y EQUIPO:

- 1.- Recipientes perforados convenientemente para sumergir totalmente los especímenes en la solución. El volumen de la solución deberá ser por lo menos cinco veces mayor que la muestra.
- 2.- Reguladores de temperatura, adecuados para regular la temperatura durante la inmersión de los especímenes en la solución.
- 3.- Balanza con capacidad de 5 000 gr o más y sensibilidad de 1 gr o menos.
- 4.- Horno capaz de conservar las temperaturas de secado requeridas.

MATERIALES:

Prepare una solución saturada de sulfato de sodio y sulfato de magnesio, a una temperatura entre 25 y 30°C, agregando suficiente sal para asegurar no sólo la saturación sino también la presencia de exceso de cristales con el fin de evitar la inestabilidad de la solución.

La siguiente Tabla relaciona los tipos de sal con las cantidades en gramos por cada litro de agua.

Los resultados de la prueba difieren notablemente si se usa sulfato de sodio en lugar de sulfato de magnesio.

TIPO DE SAL	CANTIDAD NECESARIA PARA SATURACION:	CANTIDAD RECOMENDADA:
Na ₂ SO ₄ Anhidra	215	350
Na ₂ SO ₄ . 10H ₂ O Decahidratada	700	750
Mg SO ₄ Anhidra	350	---
Mg SO ₄ . 7H ₂ O Sal de Epsom	1 230	1 400

Bátase bien la mezcla durante la adición de la sal y la solución a intervalos frecuentes hasta que llegue el momento de usarla.

Enfriese a una temperatura de $21 \pm 10^{\circ}\text{C}$ y manténgase a esa temperatura por lo menos 48 horas antes de usarla. Antes de cada empleo rómpase la costra de sal que se pudo haber formado en el recipiente, bátase completamente la solución y determínese la gravedad específica que debe estar comprendida entre:

Sulfato de sodio	1.151	1.174
Sulfato de magnesio	1.295	1.308

Se desecha la solución si está descolorida, o se filtra y se verifica su gravedad específica.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- La muestra de roca se deberá preparar rompiéndola en fragmentos de tamaño y forma razonablemente uniformes, que pesen aproximadamente 100 gr cada uno. La muestra deberá estar formada por un número de partículas tal que pese 5 000 gr con una tolerancia de ± 100 gr. La muestra se deberá lavar y secar hasta peso constante a una temperatura de 105 a 110°C.

- 2.- Las muestras deberán sumergirse en soluciones de sulfato de sodio o de magnesio, durante un período no menor de 16 ni mayor de 18 horas, de manera que la solución las cubra con un tirante libre de por lo menos 1.5 cm.
- 3.- Los recipientes se deberán tapar para evitar o reducir la evaporación. Durante la inmersión la temperatura deberá ser de $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$.
- 4.- Se extrae la muestra, se deja escurrir y se seca en el horno a temperatura de 105 a 110°C hasta peso constante. Se dejará enfriar a temperatura ambiente y se volverá a sumergir en la solución preparada.

El proceso anterior deberá repetirse cinco ciclos.

5.- EXAMEN CUANTITATIVO:

Después del quinto ciclo la muestra se deberá lavar para quitarle todo el sulfato de sodio o de magnesio, lo cual se determinará por la reacción del agua de lavado con cloruro de Bario (Ba Cl_2).

Se secará la muestra hasta peso constante a una temperatura entre 105 y 110°C , y se pesará.

La pérdida de peso se deberá determinar restando del peso original de la muestra el peso final de todos los fragmentos que no se hayan roto en tres o más piezas.

6.- EXAMEN CUALITATIVO:

Se reportará el número de piezas afectadas, clasificadas con respecto a disgregación, ruptura, desmoronamiento, agrietamiento, escamación.

METODO PARA EL ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS

APARATOS Y EQUIPO:

- 1.- Balanza con sensibilidad de por lo menos 0.1% del peso de la muestra ensayada.
- 2.- Mallas. Las que sean necesarias para obtener la información deseada.
- 3.- Horno capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Selecciónese una muestra representativa del agregado por el método del cuarteo o con muestreador. No es necesario obtener una muestra con un peso predeterminado, pero se recomienda que para agregado fino se obtengan aproximadamente en peso seco las siguientes cantidades:

Agregado en el que el 95% pasa la malla número 8 100 gr

Agregado en el que el 90% pasa la malla número 4, y más del 5% se retiene en la malla número 8 500 gr

Para las mallas estandarizadas de 20 cm de diámetro, la cantidad de material total retenido en una de ellas no debe exceder de 200 gr.

Para el agregado grueso el peso seco de la muestra no debe ser menor que:

TAMAÑO NOMINAL MAXIMO DE LAS PARTICULAS, cm	PESO MINIMO DE LA MUESTRA, kg
0.95	2.5
1.27	4.5
1.90	7.0
2.54	11.0
3.81	16.0
5.08	20.4
6.35	25.0
7.62	45.0
8.89	68.0

- 2.- Séquese la muestra hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- 3.- La operación de cribado se realiza por medio de un movimiento lateral y vertical de la malla, acompañado de un movimiento de balanceo de tal manera -- que la muestra esté en movimiento continuo.
- 4.- El cribado se continúa hasta que no más del 1% del peso del residuo pase a través de la malla durante un minuto.
- 5.- Calcúlense los porcentajes basándose en el peso -- total de la muestra, incluyendo todo el material -- que pase de la malla número 100 (los porcentajes -- se reportarán aproximándolos hasta el número entero más cercano).
- 6.- Calcule el módulo de finura. En seguida se presenta un ejemplo al respecto:

CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DE LOS AGREGADOS POR SECADO

El contenido de humedad total de los agregados es el porcentaje de la humedad evaporable en una muestra de agregado. Este método tiene la precisión suficiente para ser usado en los ajustes a los pesos secos de --- agregados en una dosificación de concreto.

APARATOS Y EQUIPO:

- 1.- Balanza con sensibilidad de 0.1% del peso de la muestra.
- 2.- Horno ventilado capaz de mantener la temperatura que rodea la muestra entre 100 y 110°C.
- 3.- Recipiente para la muestra, que no se afecte por el calor, metálico y de volumen suficiente para que contenga la muestra sin derramar parte de la misma.
- 4.- Agitador, cuchara o espátula metálica de tamaño conveniente.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Obtener una muestra representativa del agregado de la fuente de abastecimiento.
- 2.- Pesarse la muestra, evitando pérdida de humedad lo más que sea posible. El tamaño de la muestra no deberá ser menor del que aparece en la Tabla siguiente:

TAMAÑO NOMINAL MAXIMO

Pulgadas	Milímetros	Peso de la muestra, kg
1/4	6.3	0.5
3/8	9.5	1.5
1/2	12.5	2
3/4	19.0	3
1	25.0	4
1 1/2	37.5	6
2	50.0	8
2 1/2	63.0	10
3	75.0	13

- 3.- Secar totalmente la muestra en el recipiente por medio de la fuente de calor. La muestra se considera secada totalmente cuando después del calentamiento prolongado pierde menos del 0.1% de su peso.
- 4.- Pesar la muestra seca después que se haya enfriado lo suficiente para que no dañe la balanza.
- 5.- Calcular el contenido de humedad total con la fórmula siguiente:

$$p = 100 (W - D) / D$$

En donde:

p = Contenido de humedad de la muestra en por ciento.

W = Peso de la muestra original, en gramos.

D = Peso de la muestra seca, en gramos.

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO

El peso específico de la masa del agregado fino es el valor que se necesita para efectuar los cálculos del volumen ocupado por el agregado fino en la dosificación de concretos de cemento Portland.

La absorción es la relación del peso del agua absorbida por la muestra al peso de la muestra de agregado seco.

APARATOS Y EQUIPO:

- 1.- Balanza con capacidad de 1 kg o más, y una sensibilidad de 0.1 gr o menos.
- 2.- Matraz de 500 ml de capacidad, calibrado a -- 0.15 ml a una temperatura de 20°C.
- 3.- Molde cónico metálico de 38.1 mm de diámetro en la parte superior, y 88.9 mm de diámetro en la parte inferior, y 73 mm de altura.
- 4.- Varilla apisonadora con peso de 12 onzas, que tenga una cara para apisonar plana y circular de 25 mm de diámetro.
- 5.- Horno para temperaturas de 100 a 110°C.
- 6.- Bureta con aproximación de 0.1 ml.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Obtener una muestra de aproximadamente 1000 gr por el método del cuarteo.
- 2.- Colocar la muestra en un recipiente adecuado y cubrirla con agua durante 24 horas.
- 3.- Extiéndase la muestra en una superficie plana, expuesta a una ligera corriente de aire, y -- muévase para obtener un secado uniforme.
- 4.- Esta operación deberá continuarse hasta que el agregado pueda fluir libremente.
- 5.- Colóquese el agregado en condición suelta dentro del molde cónico y compáctese ligeramente con la varilla 25 veces.

- 6.- Levántese el molde verticalmente. Si se tiene humedad libre, el cono de agregado fino conservará su forma.
- 7.- Continúese el secado moviendo constantemente el agregado fino, y ensáyese a intervalos frecuentes hasta que el cono de agregado fino pierda su forma al retirar el cono metálico. Esto indica que el agregado fino ha alcanzado la condición saturada y superficialmente seca (SSS).
- 8.- Introdúzcase en el matraz inmediatamente una muestra de 500 gr del material.
- 9.- Llénese el matraz hasta cerca de la marca de 500 ml con agua a temperatura de 20°C.
- 10.- Hágase rodar el matraz en una superficie plana, para eliminar todas las burbujas de aire.
- 11.- Después de una hora aproximadamente, llénese el matraz con agua hasta la marca de 500 ml. Durante esta hora el matraz deberá estar en un baño a temperatura constante de 23°C.
- 12.- Determínese el peso total del agua introducida en el matraz.
- 13.- Séquese la muestra a peso constante a una temperatura entre 100 y 110°C.
- 14.- Enfríese la muestra a temperatura ambiente durante una hora aproximadamente, y pésese.
- 15.- Calcúlese el peso específico de la masa, como sigue:

$$\text{Peso específico de la masa} = \frac{A}{V - W}$$

En donde:

A = Peso en gramos de la muestra secada al horno.

V = Volumen en mililitros del matraz.

W = Peso en gramos o volumen en mililitros del agua añadida al matraz.

- 16.- Calcúlese la absorción por ciento, como sigue:

$$\text{Absorción, por ciento} = \frac{500 - A}{A} \times 100$$

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO

El peso específico de la masa del agregado grueso es el valor que se necesita para efectuar los cálculos del volumen ocupado por el agregado grueso en la dosificación de concretos de cemento Portland.

La absorción es la relación del peso del agua absorbida por la muestra al peso de la muestra de agregado seco.

APARATOS Y EQUIPO:

- 1.- Balanza con capacidad de 5 kg o más, y sensibilidad de 0.5 gr o menos.
- 2.- Canasta de alambre del número 6 o del 8, de aproximadamente 20 cm de diámetro y 20 cm de altura.
- 3.- Recipiente adecuado para sumergir la canasta de alambre en agua.
- 4.- Aparato adecuado para suspender dicha canasta -- del centro del platillo de la balanza.
- 5.- Horno capaz de mantener una temperatura de 100 a 110°C.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Seleccione por el método de cuarteo aproximadamente 5 kg de agregados de la muestra que se vaya a ensayar, rechazando todo material que pase por la malla Nº 4.
- 2.- Lave cuidadosamente la muestra para remover el polvo u otras capas de la superficie de las partículas.
- 3.- Sumérjase el agregado en agua durante 24 horas.
- 4.- Retire la muestra del agua y enróllela en una tela grande y absorbente, hasta que todas las películas visibles de agua se hayan removido, aunque las superficies de las partículas aparezcan todavía húmedas.

NOTA: Séquense los fragmentos de mayor tamaño, individualmente. Téngase cuidado de evitar la evaporación durante la operación de secado superficial.

- 5.- Obténgase el peso de la muestra en la condición saturada y superficialmente seca (SSS).
- 6.- Colóquese inmediatamente la muestra saturada y superficialmente seca en la canasta de alambre, y determínese su peso sumergido en agua a una temperatura de $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$.
- 7.- Séquese la muestra hasta peso constante a una temperatura de 100 a 110°C , déjese enfriar a la temperatura del cuarto de 1 a 3 horas, y pésese.
- 8.- Calcule el peso específico de la masa, como sigue:

$$\text{PESO ESPECIFICO DE LA MASA} = \frac{A}{B - C}$$

En donde:

A = Peso en gramos de la muestra secada en horno.

B = Peso en gramos de la muestra en condición SSS.

C = Peso sumergido en gramos de la muestra saturada.

- 9.- Calcule el porcentaje de absorción, como sigue:

$$\text{ABSORCION POR CIENTO} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

PESO UNITARIO DE AGREGADOS:

El peso unitario de un agregado está definido como la relación del peso de una muestra de agregado entre el volumen que ocupa, incluyendo los vacíos. El peso unitario de un agregado, de acuerdo con la definición -- varía dependiendo del grado de compactación y de la humedad de la muestra.

El peso unitario del agregado grueso en condición "seca y compactada con varilla" es de interés particular, pues sirve para proporcionar las mezclas de concreto. El método que a continuación se describe es aplicable a agregados con tamaño máximo de 40 mm o menos.

APARATOS Y EQUIPO:

- 1.- Balanza con sensibilidad de 0.5% del peso de la muestra cuyo peso se desea determinar.
- 2.- Varilla apisonadora metálica de 60 cm de longitud aproximadamente, 5/8" (15.9 mm) de diámetro con un extremo redondo en forma de hemisferio, de 5/8" de diámetro.
- 3.- Recipiente metálico para medir, de forma cilíndrica, estanco y con rigidez suficiente para -- que conserve su forma bajo condiciones de manejo. Para un agregado de 40 mm de tamaño máximo o menores, sus dimensiones deben ser las siguientes:

Diámetro interior	255 ± 2 mm
Altura interior	295 ± 2 mm
Espesor del metal	pared 3 mm
	fondo 5 mm

PROCEDIMIENTO:

- 1.- La muestra se secará a temperatura del cuarto de ensayo, y se mezclará homogéneamente.
- 2.- El recipiente se calibrará determinando el peso del agua que se requiera para llenarlo a temperatura ambiente.
- 3.- Medir la temperatura del agua y determinar su --

peso unitario de la siguiente Tabla, interpolando si es necesario:

T A B L A

PESO UNITARIO DEL AGUA

Temperatura, °C	kg/m ³
15.6	999.01
18.3	998.54
21.1	997.97
23.0	997.54
23.9	997.32
26.7	996.59
29.4	995.83

- 4.- Calcular el factor para cada recipiente, dividiendo el peso unitario del agua entre el peso requerido - para llenar el recipiente.
- 5.- El recipiente para medir se llenará hasta la tercera parte de su volumen y la superficie se nivelará con los dedos. A continuación se darán 25 golpes -- uniformemente distribuidos sobre la superficie empleando la varilla apisonadora.
- 6.- El recipiente se llenará hasta las 2/3 partes y se compactará nuevamente con 25 golpes.
- 7.- El recipiente se llenará totalmente hasta que el material sobrepase el borde superior, se compactará - 25 veces, y se retirará el agregado sobrante, usando la varilla apisonadora por el lado recto.

NOTAS IMPORTANTES:

- Al compactar la primera capa la varilla no debe golpear fuertemente el fondo del recipiente.
- Al varillar la segunda y la última capa, solamente se usará la fuerza suficiente para que la varilla apisonadora penetre hasta la capa anterior del agregado que se halla colocado en el - recipiente.

- 8.- Determinar el peso neto del agregado contenido en el recipiente.
- 9.- El peso unitario del agregado se obtiene multiplicando el peso neto del agregado por el factor determinado en el Paso 4.

C A P I T U L O I I I

MATERIALES CEMENTANTES

En construcción se usa el nombre de aglutinantes para designar a todos aquellos materiales que, mezclados con -- agua, se hacen plásticos, y que al secarse, alcanzan cierto grado de resistencia mecánica. A continuación se hará -- un breve resumen de las características de algunos de estos materiales:

ARCILLAS:

La arcilla ha sido empleada desde la antigüedad por -- el hombre para diversos fines, y es el resultado de la descomposición lenta, por la acción de la atmósfera y la acción química del anhídrido carbónico y el oxígeno del aire de numerosas rocas o minerales sílico-aluminosos, tales -- como feldespatos, micas, granitos, basaltos, etc.

La arcilla pura (caolín) es blanca y muy untosa al -- tacto, proporcionando la sensación de un cuerpo jabonoso, y su superficie se pulimenta fácilmente con los dedos.

El proceso de endurecimiento y el de alcanzar resistencia mecánica en cualquier material aglutinante, se designa con el nombre de fraguado.

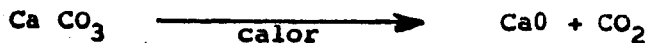
El fraguado, que en general se debe a reacciones químicas, en las arcillas crudas es un proceso exclusivamente físico, y se debe a que la materia coloidal que mantienen en estado gel, sueldan a las partículas entre sí.

La industria ladrillera emplea las arcillas, tierras arcillosas o barro. En la fabricación de ladrillos comunes la arcilla debe contener una pequeña cantidad de arena, porque si se usa arcilla plástica solamente, el ladrillo -- sufrirá grandes deformaciones y contracciones al pasar por el proceso de cocimiento.

CALES:

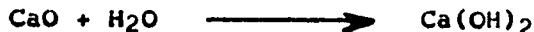
La cal se obtiene mediante el calentamiento de piedras calizas (Ca CO_3) a una temperatura entre 880 y 900°C.

El proceso químico formador de la cal es como sigue:



En donde el bióxido de carbono (CO_2) se pierde en la atmósfera y queda solamente el óxido de calcio (CaO).

El óxido de calcio así obtenido se conoce como CAL-VIVA, y al mezclarse con agua (H_2O) forma hidróxido de calcio, que recibe el nombre de CAL APAGADA.



Durante el proceso de hidratación o apagado de la cal viva, la mezcla alcanza hasta 160°C. Es difícil encontrar en la naturaleza calizas químicamente puras; por lo que se han clasificado las cales en tres tipos, dependiendo del grado de pureza del producto obtenido.

- a) Las cales grasas;
- b) Las cales magras o áridas, y
- c) Las cales hidráulicas.

a) Las cales grasas son las que contienen menos del 5% de arcilla y/o 3% de carbonato de magnesio en su caliza primitiva. Al apagarse la cal grasa da una pasta fina, trabada y untosa, que aumenta mucho de volumen, pudiendo conservarse indefinidamente blanda en sitios húmedos, pero resguardada del aire.

b) Las cales magras o áridas, son las que contienen un porcentaje mayor de impurezas en la caliza primitiva, bajando el contenido de óxido de calcio hasta un 50 u 80%. Esta cal se apaga más lentamente que la cal grasa, desprendiendo menos calor, su pasta es menos trabada y untosa y su uso debe evitarse en las construcciones.

Tanto en las cales grasas como en las cales magras, el proceso de endurecimiento de las mezclas es lentísimo, y se debe a una evaporación del agua primero, y a una carbonatación por absorción de bióxido de carbono del aire

después. Esta reacción sólo puede efectuarse en ambiente seco, si hay humedad es más difícil que exista esta reacción, siendo imposible en contacto con el agua.

Tanto a las cales grasas como a las magras se les llama cementantes aéreos, porque no fraguan en el agua.

c) Las cales hidráulicas son el resultado de la mezcla de la caliza con una cantidad de arcilla mayor del 5% sometidas a calcinación. La disociación del Ca CO_3 descrita con anterioridad, se complica, ya que los silicatos (Si O_2) y los aluminatos ($\text{Al}_2 \text{O}_3$) que contiene la arcilla, se unen al calcio de la caliza, dando origen a silicatos y aluminatos de calcio que, ligados con el óxido de calcio que queda en libertad, dan un producto llamado cal hidráulica.

Apagada la cal hidráulica adquiere la propiedad de amasarse con agua, fraguando posteriormente; pero en un tiempo mucho menor y logrando mayor resistencia mecánica. El fraguado, además, puede realizarse en contacto con agua.

CEMENTOS:

Los cementos son el resultado de la calcinación de calizas y arcillas. Como no contiene Ca O en libertad, no requiere apagado, constituyendo éste uno de los signos característicos que sirven para diferenciar una cal de un cemento.

Los cementos son los aglutinantes más usados en la actualidad, debido a sus excelentes propiedades. Su resistencia mecánica es mucho mayor que la de las cales, y puede fraguar tanto en el aire como en el agua.

CLASES Y TIPOS DE CEMENTOS

En México se fabrican las siguientes clases de cementos:

CEMENTOS PORTLAND

- Tipo I.- Común o normal, Norma NOM-C-1
- Tipo II.- Modificado, Norma NOM-C-1
- Tipo III.- Rápida resistencia alta, Norma NOM-C-1
- Tipo IV.- De bajo calor de hidratación, Norma NOM-C-1
- Tipo V.- De alta resistencia a los sulfatos, Norma NOM-C-1.

Portland blanco, Norma NOM-C-1

Portland puzolana, Norma NOM-C-2

Portland escoria de alto horno,
Norma NOM-C-175.

CEMENTOS NO PORTLAND

Cemento de escoria, Norma NOM-C-184

Cemento para morteros, Norma NOM-C-21.

NOTA: NOM significa:
Norma Oficial Mexicana.

DEFINICION DE CEMENTO PORTLAND:

El cemento Portland es el material que proviene de la pulverización del producto obtenido por la fusión incipiente de materiales arcillosos y calizos que contengan óxido de calcio, silicio, aluminio y fierro en cantidades convenientemente calculadas y sin más adición posterior que yeso sin calcinar y agua, así como otros materiales que no excedan del 1% y que no sean nocivos para el comportamiento posterior del cemento.

TIPO I.- CEMENTO PORTLAND NORMAL:

El cemento Portland normal es el más utilizado en nuestro país. Constituye aproximadamente el 90% de toda la producción de cemento. Se caracteriza por tener altas resistencias mecánicas y alta generación de calor durante su hidratación. Se emplea en las construcciones de concreto en donde el calor de hidratación no ocasione trastornos, y en obras no expuestas a la acción de los sulfatos del suelo o del agua freática.

TIPO II.- CEMENTO PORTLAND MODIFICADO:

El cemento Portland modificado está destinado a construcciones de concreto expuestas a una acción moderada de los sulfatos, o cuando se requiera un calor de hidratación moderado. En México se ha empleado en la construcción de grandes presas y en estructuras de gran tamaño en las cuales es necesario reducir el calor de hidratación, especialmente cuando se coloca en clima caluroso. También se ha usado con éxito en la construcción de estructuras para drenaje, donde las concentraciones de sulfatos en las aguas subterráneas son más altas que las normales, pero no muy severas.

TIPO III.- CEMENTO PORTLAND DE RAPIDA RESISTENCIA ALTA:

El cemento Portland Tipo III desarrolla una mayor resistencia a edades tempranas, tanto que a los 7 días es comparable con la del Tipo I a los 28 días. Se emplea cuando se desea descimbrar pronto. Genera mucho calor al hidratarse y a velocidad mayor que el Tipo I, por lo que es apropiado para resguardar las obras de los daños por congelamiento prematuro en lugares fríos. No debe usarse en construcciones masivas, sino en estructuras donde pueda disiparse rápidamente el calor. Al igual que el cemento Tipo I el Tipo III no resiste el ataque de sulfatos.

TIPO IV.- CEMENTO PORTLAND DE BAJO CALOR DE HIDRATACION:

El cemento Portland de bajo calor de hidratación es especial para usarse en obras donde se van a colar grandes volúmenes de concreto, como por ejemplo: Presas de gravedad, canales de gran envergadura, etc., en las cuales el calor de hidratación del cemento puede provocar agrietamientos graves. Posee buena resistencia a los sulfatos y desarrolla su resistencia mecánica más lentamente que otros cementos, pero es de igual resistencia a otros tipos a edades comprendidas entre los 6 y los 12 meses. Actualmente el empleo de este cemento va siendo sustituido por las nuevas técnicas de construcción.

TIPO V.- CEMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTENCIA A LOS SULFATOS:

El cemento Portland Tipo V se usa cuando se requiere una alta resistencia al ataque de los sulfatos, como son las obras de alcantarillado (tubos, pozos de visita, cajas de colector, lagunas de tratamiento de aguas negras, etc.), cimentaciones donde existan aguas freáticas con alto contenido de sulfatos, obras marítimas, etc. Genera poco calor de hidratación. La resistencia a corta edad es ligeramente más baja que la del Tipo I, lo cual ocasiona que los costos de construcción se eleven; sin embargo, en edades avanzadas (seis o doce meses) su resistencia es igual o mayor que otros cementos.

CEMENTO PORTLAND BLANCO:

El cemento Portland blanco puede estar clasificado como Tipo I o Tipo III, según satisfaga los requerimientos de la Norma para los tipos mencionados. Dado su bajo o nulo contenido de óxido férrico y el uso de arcilla blanca (caolín), se caracteriza por ser blanco y no gris. Este cemento se emplea generalmente para acabados arquitectónicos, terrazos, mosaicos, estucos, esculturas, etc., pudiéndose usar también para ciertos tipos de estructuras.

CEMENTO PORTLAND PUZOLANA:

El cemento Portland Puzolana es el conglomerante hidráulico que se obtiene de la molienda conjunta de clinker Portland, puzolana y sulfato de calcio natural, que le imparten un calor de hidratación moderado. Cuando se requiere mediana resistencia a la acción de los sulfatos, el clinker Portland que se use debe contener como máximo 8% de aluminato tricálcico. La cantidad de Puzolana debe constituir del 15 al 40% en peso del producto.

Clinker es el mineral sintético granular resultante de la cocción a una temperatura del orden de 1 400°C de materias primas arcillosas y calizas, previamente trituradas, proporcionadas, mezcladas, pulverizadas y homogeneizadas.

La Puzolana es el material silíceo o silíceo aluminoso que en sí posee poco o ningún valor cementante, pero que finamente molido y en presencia de agua, reacciona con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos cementantes.

Las Puzolanas se emplean en los cementos para mejorar su resistencia química, pudiendo producir también -- algunos efectos benéficos en el concreto, como son: mejorar la trabajabilidad, reducir la generación de calor y la contracción térmica, aumentar la impermeabilidad, mejorar la resistencia al ataque de sulfatos, reducir la reacción álcali agregado y reducir la segregación y el sangrado.

CEMENTO PORTLAND ESCORIA DE ALTO HORNO:

El cemento Portland escoria de alto horno es el producto que se obtiene por la molienda simultánea de clinker Portland, escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio natural.

La escoria de alto horno es el subproducto no metálico constituido esencialmente por silicatos y aluminosilicatos cálcicos, que se obtiene por el enfriamiento brusco con agua o vapor y aire, del residuo que se produce -- simultáneamente con la fusión de hierro en el alto horno, y que debe tener una composición química conveniente para ser utilizado en la elaboración de este tipo de cemento.

El cemento Portland escoria de alto horno es especialmente útil en concretos para obras hidráulicas o marítimas, pudiendo emplearse además en cualquier tipo de estructura.

CEMENTO ESCORIA DE ALTO HORNO:

El cemento escoria de alto horno es el que resulta de la molienda de escoria y cal hidratada. Se emplea principalmente en obras de mampostería para elaboración de morteros y de productos prefabricados.

CEMENTO PARA MORTEROS:

El cemento para morteros es el material que mezclado con agregado fino y agua, constituye un mortero plástico y cohesivo para unir piezas de mampostería, para aplanados, y para algunos otros trabajos de albañilería, excepto para la elaboración de concreto.

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA CEMENTOS

Existen dos grupos de ensayos para conocer el comportamiento y ejercer el control de calidad del cemento, que son:

Pruebas químicas, y

Pruebas físicas.

PRUEBAS QUIMICAS:

Las pruebas químicas a que se debe someter el cemento, son:

- 1.- Oxido de silicio (Si O_2)
- 2.- Oxido de aluminio ($\text{Al}_2 \text{O}_3$)
- 3.- Oxido férrico ($\text{Fe}_2 \text{O}_3$)
- 4.- Oxido de calcio (Ca O)
- 5.- Oxido de magnesio (Mg O)
- 6.- Anhídrido sulfúrico
- 7.- Pérdida por calcinación
- 8.- Residuo insoluble
- 9.- Silicatos a) Tricálcico (3 Ca O. Si O_2)
 b) Dicálcico (2 Ca O. Si O_2)
- 10.- Aluminato tricálcico ($3 \text{ Ca O. Al}_2 \text{O}_3$)
- 11.- Aluminio ferrito tetracálcico
 ($4 \text{ Ca O Al}_2 \text{O}_3 \text{ Fe}_2 \text{O}_3$)

En la elaboración de los cementos Tipos I, II, III, IV, V y blanco, sucede que los ingredientes son los mismos, sólo que en diferentes proporciones. Es por eso que estas pruebas las deben hacer los ingenieros químicos de la fábrica de cemento, con el propósito de llevar un control de calidad efectivo en el proceso de elaboración.

PRUEBAS FISICAS:

Las pruebas físicas que se deben hacer a un cemento de los Tipos I, II, III, IV, V, blanco, Portland escoria de alto horno y escoria de alto horno, para comprobar si cumple con las especificaciones de la Dirección General de Normas, son:

- 1.- Finura
- 2.- Sanidad
- 3.- Tiempo de fraguado (inicial y final)
- 4.- Resistencia a la compresión:
 - a) a las 24 horas,
 - b) a los 3 días,
 - c) a los 7 días, y
 - d) a los 28 días.

Además de los ensayos anteriores, existen otros tipos de pruebas que le sirven al Ingeniero Civil para conocer mejor el cemento y poder hacer cálculos de dosificación de concretos, o evitar percances en la construcción. Las más comunes son:

- 1.- Falso fraguado
- 2.- Peso específico
- 3.- Consistencia normal
- 4.- Calor de hidratación:
 - a) a los 7 días, y
 - b) a los 28 días.
- 5.- Resistencia a la tensión.

Para los cementos puzolánicos, la Dirección General de Normas especifica dos pruebas más de carácter opcional a juicio del comprador:

- 1.- Expansión en barras de mortero (reactividad sílice-álcalis):
 - a) a los 14 días, y
 - b) a las 8 semanas.
- 2.- Contracción por secado.

Para el cemento de morteros existen, según la Dirección General de Normas, los ensayos de:

- 1.- Contenido de aire en el mortero, y

2.- Agua retenida,

Además de las pruebas antes mencionadas.

A continuación se mencionará brevemente en qué consisten algunas de las pruebas físicas más importantes -- que se hacen al cemento con el fin de dar una idea más clara al lector.

FINURA DEL CEMENTO:

La finura del cemento es la calidad de molido de sus granos. Es importante conocerla porque entre más finamente triturados se encuentren, tendrán una hidratación más completa.

Para conocer la finura de los cementos se han desarrollado varios métodos. A continuación se mencionan algunos:

- 1.- Método de la permeabilidad al aire (con el aparato "Blaine"), que es el más utilizado en México.
- 2.- Método del turbidímetro.
- 3.- Método por medio del tamiz número 130M equivalente al US No. 325, usado en cementos puzolánicos y cementos para morteros.
- 4.- Método por medio del Tamiz No. 80M o US No. 200.

Grumos mal molidos.

Grumos molidos finamente.

El método de la permeabilidad al aire está basado en la idea de que el número y tamaño de los poros en una capa de cementante, están en función del tamaño de las partículas y determinan la velocidad del aire a través de dicha capa.

Para determinar la finura de los cementantes hidráulicos por este método se usa el aparato "BLAINE", que consta esencialmente de una serie de dispositivos que tienen por finalidad hacer pasar una cantidad determinada de aire a través de una capa preparada de cementante.

En este método la finura de los cementantes hidráulicos se mide como la superficie específica, que es el área extendida en centímetros cuadrados que ocupa un gramo de cementante.

La superficie específica se calcula básicamente por la siguiente fórmula:

$$S = K \quad T$$

En donde:

S = Superficie específica (cm²/gr)

K = Constante del aparato "Blaine"

T = Tiempo de recorrido del mercurio entre dos marcas del aparato "Blaine", en segundos.

La Dirección General de Normas marca los siguientes valores mínimos de superficie específica:

Cementos Portland Tipos I, II, III, IV, V, blanco y puzolánico.....	S = 2 800 cm ² /gr
Cemento Portland escoria de alto horno.....	S = 2 600 cm ² /gr
Cemento escoria de alto horno.....	S = 4 200 cm ² /gr

PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO HIDRAULICO

El peso específico del cemento hidráulico está definido como la relación del peso del cemento en gramos, entre el volumen neto del mismo; es decir, el volumen del cementante, sin tomar en cuenta, el volumen del aire que existe entre sus partículas.

El peso específico del cemento hidráulico, es un dato útil en el proporcionamiento de mezclas de concreto.

APARATOS

- 1.- Frasco estándar de Le Chatelier, como el mostrado en la siguiente figura:

MATERIALES

- 1.- Se usará un líquido libre de agua, tal como kerosina, con peso específico no menor de 0.730 g/ml.

PROCEDIMIENTO

- 1.- El frasco se deberá llenar con kerosina a un nivel -- entre el cero y un mililitro, marcados en el frasco.
- 2.- Sumérgase el frasco en un recipiente con agua a tem-- peratura constante, hasta que el frasco e-- té a la mis-- ma temperatura del agua.
- 3.- Tómesese lectura del nivel del líquido en el frasco.
- 4.- Pésese aproximadamente 64 gr de cemento a temperatu-- ra ambiente, con una aproximación de 0.1 gr.
- 5.- Introdúzcase en pequeñas porciones la muestra de ce-- mento al frasco. Se debe evitar que el cementante se adhiera a las paredes del frasco, y que ocasione salpicaduras.
- 6.- Tápese el frasco.
- 7.- En posición inclinada ruede el frasco sobre su eje en un círculo horizontal sobre una superficie plana, pa-- ra expulsar el aire contenido en el cemento.
- 8.- Sumérgase otra vez el frasco en agua hasta estabili-- zar su temperatura (con variaciones menores de 0.2°C).
- 9.- Tómesese lectura del nivel del líquido más el cemento.
- 10.- El peso específico del cemento hidráulico se calcula-- rá como sigue:

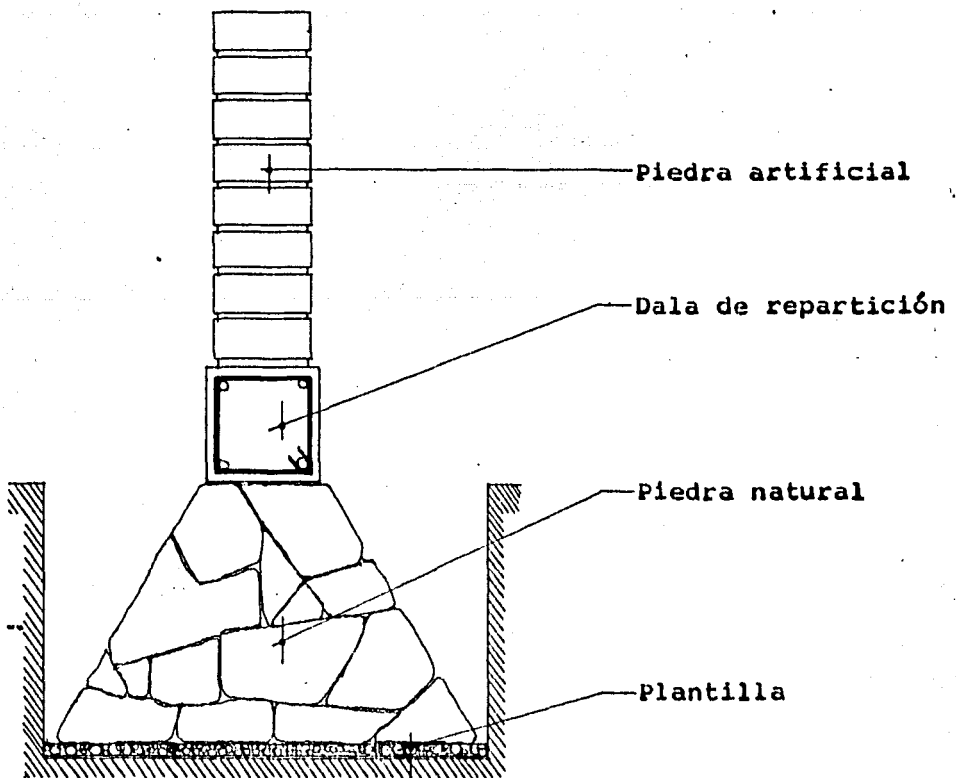
$$\text{PESO ESPECIFICO} = \frac{\text{Peso del cementante en gramos}}{\text{Volumen del líquido desplazado, en ml.}}$$

El volumen del líquido desplazado es igual a la lec-- tura final del nivel del líquido menos la lectura inicial.

CAPITULO IV

MAMPOSTERIAS

La mampostería es una obra hecha con piezas macizas (piedras naturales o artificiales) unidas entre sí por medio de un aglutinante o cementante llamado mortero. La mampostería de piedras naturales en México por lo regular se emplea en la construcción de cimentaciones superficiales. La mampostería de piedras artificiales se usa en la construcción de muros.



MAMPOSTERIAS DE PIEDRAS NATURALES:

Las piedras que se usen deberán estar limpias y sin rajaduras. No es requisito que las piedras estén labradas; pero se evitará el uso de piedras de formas redondeadas, ya que en la construcción se emplea mucho mortero para rellenar los huecos entre piedra y piedra, lo que ocasiona que se tengan puntos débiles. Por lo menos el 70 % del volumen del elemento estará constituido por piedras - con un peso mínimo de 30 Kg cada una.

PIEDRAS USUALES EN LA CONSTRUCCION

Piedra bola

Piedra laja

Sillares Piedra normal

REQUISITOS PARA LA PIEDRA DE MAMPOSTERIA:

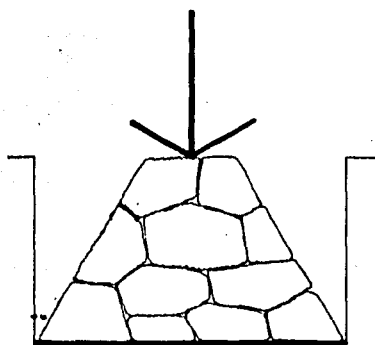
- 1.- Resistencia mínima a compresión en dirección normal a los planos de formación..... 150 Kg/cm²
- 2.- Resistencia mínima a compresión en dirección paralela a los planos de formación..... 100 Kg/cm²
- 3.- Absorción máxima..... 4 %
- 4.- Resistencia al intemperismo: máxima pérdida de peso después de 5 ciclos en solución saturada de sulfato de sodio..... 10 %

La manera de obtener estos resultados se describe en el Capítulo II, correspondiente a rocas.

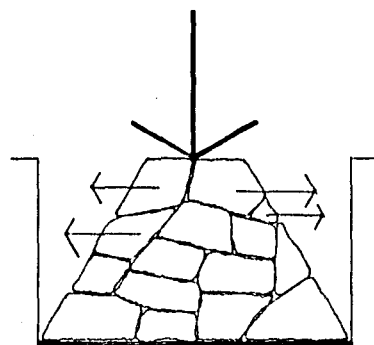
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO:

- 1.- La mampostería de piedras naturales se levantará sobre una plantilla que permita obtener una superficie plana.
- 2.- Las piedras que vayan a usarse deben humedecerse previamente.
- 3.- En las primeras hiladas se colocarán las piedras de mayores dimensiones.
- 4.- Cuando las piedras sean de origen sedimentario se colocarán de manera que los lechos de estratificación queden normales a la dirección de las compresiones.
- 5.- Las piedras se acomodarán de manera de llenar lo mejor posible el hueco formado por las otras piedras.
- 6.- Los huecos se rellenarán completamente con piedra chica y mortero.
- 7.- Deberán usarse piedras a tizón, que ocuparán por lo menos una quinta parte del paramento y estarán distribuidas en forma regular.

COLOCACION DE PIEDRAS



Forma correcta.



Forma incorrecta.

MAMPOSTERIAS DE PIEDRAS ARTIFICIALES:

Existen en el mercado diversos tipos de piezas prismáticas artificiales para la construcción. A continuación se describirán brevemente algunos de los más usados en -- las obras de mampostería estructural, como los empleados para formar muros de carga, arcos, bóvedas, etc.

ADOBE:

El adobe es un material formado por arcilla y paja o zacate. La arcilla se mezcla con agua y se amasa, luego se le agrega la paja. La masa se coloca en moldes previamente construidos y se deja endurecer durante 5 ó 10 minutos. Después de esto se saca el molde y se deja libre -- la pieza, para que seque durante un tiempo mínimo recomendado de cuatro meses.

En la actualidad los muros de adobe se usan generalmente en construcciones rurales y pobres.

El adobe tiene baja resistencia, tanto mecánica como al desgaste y al salitre.

PIEZAS PARA MAMPOSTERIA HECHAS DE BARRO, ARCILLA y/o SIMILARES MOLDEADOS, SECADOS Y COCIDOS:

Los ladrillos y bloques de barro cocido se clasifican, por su fabricación, en dos tipos: Hechos en máquina (Mq) y hechos a mano (Mn), y en los subtipos y grados de calidad indicados en las siguientes tablas:

TIPO Mq:

Los ladrillos hechos a máquina, por su diseño, se -- subdividen en 4 subtipos, y en los grados de calidad señalados en la Tabla I.

TIPO Mn:

Los ladrillos hechos a mano deben ser solamente mampozos. Son de un solo tipo y de un solo grado de calidad. --(Ver Tabla I).

DEFINICIONES :

CASCARAS.- Son las partes exteriores del ladrillo hueco, - comprendidas entre sus caras y los huecos y/o perforaciones.

PAREDES.- Son partes interiores comprendidas entre los huecos y/o las perforaciones.

T A B L A I

TIPO	Mq	DESIGNACION	Grados de Calidad
Subtipo	MqM	Ladrillos macizos	A, B, C, D
"	MqP	Perforados	B, C, D
"	MqHv	Huecos verticales	C, D
"	MqHh	Huecos horizontales	D, E
TIPO	Mn	Ladrillos macizos	E

Subtipo MqM.- Admiten perforaciones perpendiculares a sus caras mayores, tales que el volumen total sea inferior al 15 % del volumen del ladrillo, y la superficie de cada perforación sea inferior o igual a 6 cm², debiendo quedar sus lados por lo menos a 18 mm de distancia del borde exterior del ladrillo y a 30 mm entre sí.

Subtipo MqP.- Tienen perforaciones perpendiculares a las caras mayores, tales que el volumen total de las perforaciones debe ser superior al 15 % e inferior o igual al 35% del volumen del ladrillo. El área transversal de cada perforación debe ser menor o igual a 6 cm² y su distribución sobre la superficie total debe ser lo más parejo posible. El espesor de las cáscaras debe ser igual o mayor a 15 mm. El espesor de las paredes debe ser igual o menor a 5 mm en cualquier sentido.

Subtipo MqHv.- Tienen huecos dispuestos perpendicularmente a la cara de apoyo y el volumen total de éstos debe ser superior al 35% del volumen total del ladrillo o bloque. Las cáscaras del ladrillo deben tener un espesor igual o ma-

BLOQUES, LADRILLOS O TABIQUES Y TABICONES DE CONCRETO:

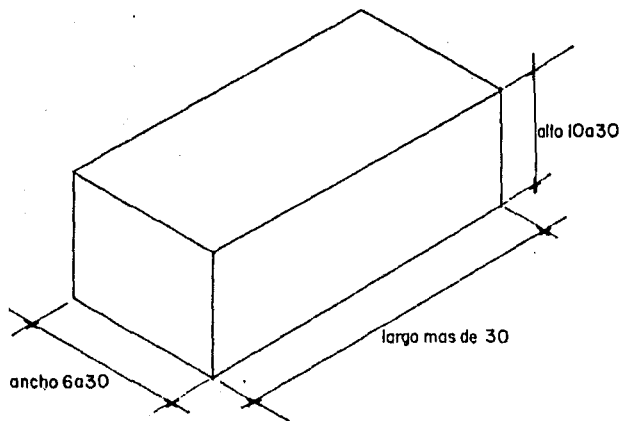
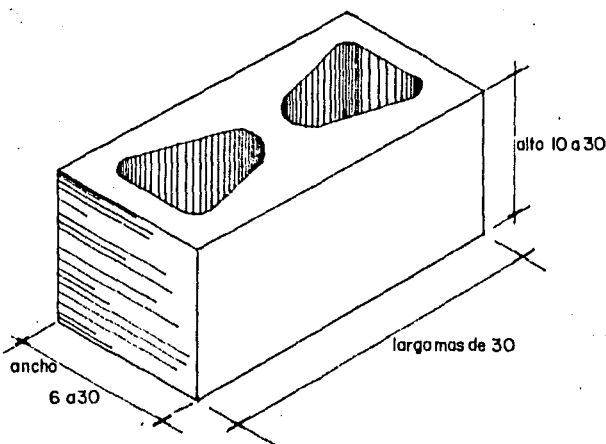
Bloques, ladrillos o tabiques y tabicones de concreto, son los materiales de construcción de forma prismática rectangular, sólidos o con huecos, fabricados con cemento y agregados apropiados, tales como arena, grava, piedra triturada, piedra pómez, escoria volcánica volcánica o tezonle, arcillas expandidas, pizarras expandidas, etc.

La Dirección General de Normas clasifica estas piezas en dos tipos:

Tipo I.- Bloques: huecos y sólidos, y

Tipo II.- Ladrillos o tabiques y tabicones: huecos y sólidos.

En las figuras siguientes se ilustran sus medidas geométricas.



TIPO I.- BLOQUES:

SUBTIPO:	REQUERIMIENTOS ESTRUCTURALES:	REQUERIMIENTOS FUNCIONALES:
A (Hueco)	Aptos para muros de carga y de relleno.	Aptos para muros aparentes en exteriores o interiores.
B (Hueco)	Aptos para muros de carga y de relleno.	Aptos para muros interiores. Si se usa en exteriores debe impermeabilizarse.
C (Hueco)	Aptos para muros de relleno exclusivamente	Aptos para muros interiores. No se recomienda usarlo en exteriores, debido a su alta absorción, excepto cuando se impermeabilice perfectamente.
D (Sólido)	Aptos para muros de carga y de relleno.	Aptos para muros aparentes en exteriores o interiores.
E (Sólido)	Aptos para muros de carga y de relleno.	Aptos para muros interiores. Si se usa en exteriores debe impermeabilizarse.
F (Sólido)	Aptos para muros de relleno exclusivamente	Aptos para muros interiores. No se recomienda usarlo en exteriores debido a su alta absorción, excepto cuando se impermeabilice perfectamente.

TIPO II.- TABIQUES O LADRILLOS Y TABICONES:

Subtipos A y B (huecos), y D, E y F (sólidos), cumplen con los mismos requerimientos que los de los bloques.

El subtipo C, no existe.

ESPECIFICACIONES PARA BLOQUES DE CONCRETO (TIPO I):

SUBTIPO	RESISTENCIA MINIMA DE RUPTURA A LA -- COMPRESION SOBRE -- EL AREA TOTAL (kg/cm ²)	ABSORCION MAXIMA DE AGUA FRIA EN 24 Hr. (lt/m ³)	VARIACION MA-XIMA DEL PESO SECO CON RELACION AL PESO DE CATALOGO.-	
	Promedio de 5 piezas:	Pieza individual	Promedio de 5 piezas:	
Huecos			Tolerancias:	
A1	70	56	220	+ 8 %
A2	60	48	240	+ 8 %
B	40	32	290	+ 8 %
C	23	18	---	+ 12 %
Sólidos				
D	100	80	240	+ 8 %
E	70	56	290	+ 8 %
F	40	32	---	+ 12 %

ESPECIFICACIONES PARA LADRILLOS O TABIQUES Y TABICONES DE CONCRETO (TIPO II):

Huecos				
A	100	80	240	+ 8 %
B	70	56	290	+ 8 %
Sólidos				
D	175	140	240	+ 8 %
E	100	80	290	+ 8 %
F	50	40	---	+ 12 %

La Dirección General de Normas también especifica los requisitos de contracción lineal cuando se trata de bloques, ladrillos o tabiques y tabicones de concreto con humedad controlada.

La Tabla siguiente establece el criterio a seguir para el número de especímenes que se tomarán al azar para someterlos a ensayos de laboratorio con el fin de verificar su calidad, según el número de piezas del lote de entrega motivo de la transacción comercial.

MUESTREO SIMPLE			
TAMAÑO DEL LOTE:	TAMAÑO DE LA MUESTRA	CRITERIO DE ACEPTACION: NUMERO DE PIEZAS DEFECTUOSAS	
		Ac	Re
1 201 a 3 200	20	1	4
3 201 a 10 000	32	2	5
10 001 a 35 000	50	3	6
35 001 a 150 000	80	5	8
150 001 a 500 000	125	7	10
500 001 o más	200	10	13

Ac = Número de aceptación.

Re = Número de rechazo.

PRUEBAS DE LABORATORIO PARA LADRILLOS Y BLOQUES

A continuación se describirán brevemente algunas de las principales pruebas de laboratorio a que deben someterse los ladrillos y bloques usados en la construcción.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE LADRILLOS Y BLOQUES:

La determinación de la resistencia a la compresión de los ladrillos y bloques, sean de barro o de concreto, es importante, ya que el diseño estructural de las obras de mampostería están basados en los resultados de estas pruebas.

APARATOS:

- 1.- Máquina para pruebas a la compresión.

MATERIALES:

- 1.- Los especímenes deben probarse completos, sin fallas ni fisuras, y con sus caras razonablemente paralelas, representativos del lote de prueba.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Los especímenes deben cabecarse con una capa de mortero (de azufre, yeso o cemento), que tenga una resistencia a la compresión superior a la especificada para el espécimen, con un espesor de 0.5 cm. Cuando se trate de especímenes con huecos, debe evitarse que el mortero penetre más de 0.5 cm dentro de ellos.
- 2.- Colóquese el espécimen en el centro de la máquina de prueba, en la posición en que deben quedar cuando se utilicen.
- 3.- La mitad de la carga máxima supuesta se debe aplicar gradualmente. La carga restante se aplica en forma continua en un tiempo no menor de un minuto ni mayor de dos.
- 4.- La resistencia a la compresión se obtiene con la siguiente fórmula:

$$R = P/A$$

En la cual:

R = Resistencia a la compresión, en kg/cm^2

P = Carga máxima indicada por la máquina de prueba en kg.

A = Promedio de las áreas totales de las superficies de apoyo del espécimen, sin descontar el área de las perforaciones o huecos.

5.- La resistencia nominal a compresión de la pieza ($f \cdot p$) se determinará con la información estadística sobre el producto en cuestión, tomando un valor tal que el 98% de las piezas producidas lo sobrepase. La determinación podrá hacerse con la siguiente fórmula:

$$f \cdot p = \frac{\bar{f}_p}{1 + 2.5 c_p}$$

En donde:

\bar{f}_p = Promedio de las resistencias en compresión de las piezas ensayadas.

c_p = Coeficiente de variación de la resistencia, que en ningún caso se tomará menor que 0.15.

La determinación se hará en un mínimo de tres lotes de 10 piezas cada uno.

DETERMINACION DEL AGUA ABSORBIDA POR LOS LADRILLOS Y BLOQUES

La medición del agua absorbida por un tabique es importante, porque nos indicará su clasificación, y si se puede usar para construir muros exteriores aparentes, o si es necesario darle un recubrimiento impermeabilizante.

APARATOS:

- 1.- Balanza de capacidad adecuada al tamaño de la pieza por probar, con sensibilidad de 0.1 % del peso de la muestra, provista de un sistema que permita la determinación del peso del espécimen sumergido.
- 2.- Horno con control de temperatura.
- 3.- Recipiente para contener cinco especímenes totalmente sumergidos.

MATERIALES:

- 1.- Cinco especímenes representativos del lote.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Séquense los especímenes hasta llegar a un peso constante y determínese su peso seco (P). El horno deberá mantener una temperatura de 100 a 110°C.
- 2.- Sumerjanse los especímenes en agua durante 24 horas a temperatura ambiente. Terminado este período se sacan, se les quita el agua superficial por medio de un trapo húmedo y se procede a pesarlos inmediatamente, así se obtiene el peso P'.
- 3.- El espécimen se ata con un alambre de acero, se cuelga de la horquilla del brazo de la balanza y se sumerge totalmente de tal modo que quede suspendido en el seno del agua; determínese su peso sumergido P''.

4.- Los cálculos se efectúan mediante las siguientes fórmulas:

a).- En porcentaje del peso seco:

$$N(\%) = \frac{P' - P}{P} \times 100$$

b).- En Kilogramos de agua por tonelada del material:

$$W(\text{Kg/Ton}) = \frac{P' - P}{P} \times 1\,000$$

c).- En litros por metro cúbico del material:

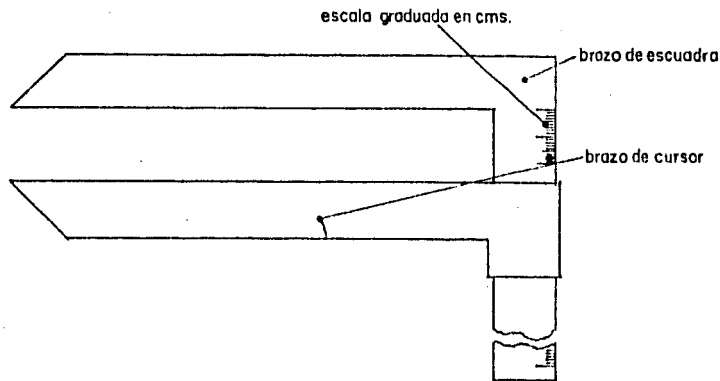
$$V(\text{Lt/m}^3) = \frac{P' - P}{P - P'} \times 1\,000$$

DETERMINACION DE LAS DIMENSIONES DE LADRILLOS Y BLOQUES PARA LA CONSTRUCCION

Dimensión de un bloque es cada una de las direcciones en que se mide la extensión del mismo, denominándolas largo, ancho y alto o peralte.

APARATOS:

1.- Escuadra metálica provista de un cursor con regla deslizante y paralela al brazo de la escuadra, como la ilustrada en la figura que sigue:



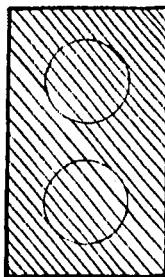
MATERIALES:

- 1.- Se tomarán cinco especímenes representativos del lote, éstos no deberán tener ningún material extraño en sus caras.

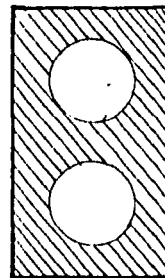
PROCEDIMIENTO:

- 1.- Colóquese el espécimen en una superficie plana-- descansando en la cara conveniente para usar la escuadra en posición horizontal.
- 2.- De cada dimensión se hacen dos mediciones, una -- colocando la escuadra longitudinalmente y otra -- transversalmente, con aproximación de 1 mm. (véa se figura en la hoja siguiente).
- 3.- Se promedian los valores aritméticos de los re-- sultados de las mediciones duplicadas, redondeando los valores al milímetro más próximo.

FORMA DE VALUAR LAS AREAS DE LOS BLOQUES Y TABIQUES:



AREA BRUTA



AREA NETA

MORTEROS

Los morteros se definen como pastas blandas aglomerantes obtenidas al mezclar agregado fino, cementante y agua.

Los morteros se pueden clasificar de acuerdo al tipo de cementante que se use en: morteros aéreos y morteros hidráulicos.

Las propiedades más importantes de un mortero son: manejabilidad, resistencia a la compresión y tensión y adherencia con las piezas. Las propiedades varían de acuerdo con el cementante empleado, la relación arena y cementante y la cantidad de agua en la mezcla, aunque esto último no se controla en obra.

La resistencia a la compresión de un mortero, no es su propiedad más importante, ya que las características de comportamiento estructural de la mampostería se relacionan más directamente con la fluidez y con el proporcionamiento del mortero. Así, un mortero de poca fluidez da mayor resistencia, pero es poco manejable y tendrá probablemente un grado de adherencia bajo. Sin embargo, el ensayo en compresión tiene valor en cuanto a que constituye un procedimiento sencillo para comparar calidades de morteros y se determina en cubos de 5 X 5 X 5cm de igual manera a la indicada para la resistencia a compresión de los cementantes hidráulicos.

Los morteros aéreos son descartados debido a su poca durabilidad y resistencia.

MEZCLADO DEL MORTERO. La consistencia del mortero se ajustará tratando de que alcance la mínima fluidez compatible con una fácil colocación. Los materiales se mezclarán en un recipiente no absorbente, prefiriéndose, siempre que sea posible, un mezclado mecánico. El tiempo de mezclado, una vez que el agua se agrega, no debe ser menor de 3 minutos.

REMEZCLADO. Si el mortero empieza a endurecerse, podrá remezclarse hasta que vuelva a tomar la consistencia deseada agregándole agua si es necesario.

Los morteros a base de cemento normal deberán usarse dentro de un lapso de 2.5 horas a partir del mezclado inicial. Los que contengan solo cemento de albañilería de serán usados dentro de un plazo de 3.5 horas a partir de su mezclado inicial, pero no podrán permanecer más de una hora sin ser remezclados.

RESISTENCIA A COMPRESION DE LA MAMPOSTERIA

El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal establece tres métodos diferentes para conocer la resistencia a la compresión de la mampostería, f^*m sobre su área bruta, es decir, sin tomar en cuenta los huecos.

- a).- La mejor manera de obtener la resistencia a la compresión de muros de mampostería es por medio de ensayos hechos a muretes cada uno de 3 piezas sobrepuestas junteadas con el mortero que se utilizará en la obra. Los muretes se probarán a los 28 días y deberán ser un número mínimo de 9 especímenes. Al igual que la resistencia a compresión de cilindros de concreto, el murete deberá cabecearse correctamente; y se le aplicará una velocidad de carga similar. La resistencia nominal a compresión de la mampostería está dada con la siguiente fórmula:

$$f^*m = \frac{\bar{f}_m}{1 + 2.5 C_m}$$

Donde:

\bar{f}_m = promedio de la resistencia de las pilas-- ensayadas, corregida por esbeltez.

C_m = Coeficiente de variación de la resistencia de las pilas.

C A P I T U L O V

C O N C R E T O

El concreto es uno de los materiales de construcción que junto con el acero le han dado una nueva fisonomía a las obras del Siglo XX. Su uso se ha extendido en toda la Tierra debido a sus ventajas, como son:

Moldeabilidad;
Resistencia a la intemperie;
Resistencia al calor;
Resistencia a la compresión, y
otras, de acuerdo al uso que se le dé.

También tiene desventajas, como son:

Alto peso volumétrico;
Baja resistencia a la tensión, y
otras, según el uso que se le dé.

La investigación continua en todo el mundo ha hecho posible superar algunas de sus desventajas, y cada vez se le dá usos más atrevidos.

Sus componentes son: cemento, agregados y agua en --proporciones convenientemente calculadas. En este Capítulo se presenta una forma confiable de proporcionar concretos basada en las "Recomendaciones para dosificar concretos de peso normal" del Comité ACI 211 (American Concrete Institute).

Existen otros métodos para la dosificación de concretos, algunos más sencillos, otros más difíciles, con determinado grado de precisión que han sido desarrollados a través de años de práctica de personas dedicadas a la elaboración de concretos.

REVENIMIENTO DEL CONCRETO FRESCO

REVENIMIENTO es la medida de la consistencia del concreto fresco, en términos de la disminución de altura, en un tiempo determinado, de un cono truncado de concreto -- fresco de dimensiones especificadas.

El método que se describe a continuación es aplicable solamente a concreto con agregado grueso de 40 mm de tamaño máximo. Cuando el concreto contenga agregado grueso con partículas mayores de 40 mm se debe retirar el agregado -- mayor de 40 mm por medio de un cribado previo a la prueba.

APARATOS Y EQUIPO:

- 1.- Molde estándar para prueba de revenimiento como el mostrado en la figura 1.
- 2.- Varilla apisonadora metálica de 60 cm de longitud aproximadamente, 16 mm de diámetro, con un extremo redondeado en forma de hemisferio de 5/8" de diámetro.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Humedézcase el molde y colóquese sobre una superficie horizontal plana, rígida, húmeda y no absorbente.
- 2.- Sujete el molde firmemente en su lugar, apoyando los pies en los estribos que tiene para ello el molde.
- 3.- Llénese inmediatamente el molde a una altura de 7 cm con la muestra de concreto representativa; - compáctese la capa con 25 penetraciones de varilla introduciéndola por el extremo redondeado, distribuidas uniformemente sobre la sección de cada capa. Para lograr lo anterior en esta capa, incline un poco la varilla. Aproximadamente la mitad de las penetraciones se hacen cerca del perímetro; - después con la varilla vertical se progresa espiralmente hacia el centro.
- 4.- Llene una segunda capa de concreto hasta una altura aproximada de 15 cm, y compáctese como se describió en el Paso 3, de manera que la varilla

penetre unos dos centímetros la capa anterior.

- 5.- Llene la última capa sobrepasando la altura del molde y compáctese como se describió en los pasos anteriores. Si como consecuencia de la compactación, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde, se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del molde todo el tiempo.
- 6.- Enrase el concreto a la altura del molde mediante un movimiento de rodamiento de la varilla. Limpie la superficie exterior de asiento e inmediatamente levante el molde con cuidado en dirección vertical (durante un tiempo de 5 a 10 segundos).

El tiempo total desde el comienzo del llenado - hasta que se levanta el molde debe ser menor de 2.5 minutos.

- 7.- Determine el revenimiento midiendo el asentamiento -- del concreto con respecto al nivel del molde en el -- centro original de la base.

Si alguna porción de concreto cae hacia un lado, se desecha la prueba y se hace otra con una nueva porción de la muestra.

DOSIFICACION DE MEZCLAS DE CONCRETO DE PESO NORMAL

P A S O I

SELECCION DEL REVENIMIENTO

- a) Si el revenimiento no está especificado, ver punto b).
- b) Escoger de la siguiente Tabla un valor apropiado para la obra.

T A B L A

REVENIMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIONES:

TIPO DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO, cm	
	Máximo*	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
Zapatas y muros de sub-estructura no reforzados	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas de edificios	10	2
Losas y pavimentos	8	2
Concreto en masa	5	2

- * Se puede incrementar en 2 cm cuando se utilicen métodos de consolidación diferentes de la vibración.

P A S O I I

SELECCION DEL TAMAÑO DE AGREGADO

- Los agregados bien graduados con el tamaño máximo mayor tienen menos vacíos que los de tamaño máximo menor.
- En ningún caso el tamaño máximo deberá exceder de:
 - a) $1/5$ de la menor dimensión entre los lados de la cimbra.
 - b) $1/3$ del peralte de las losas.
 - c) $3/4$ del espaciamiento mínimo libre entre varillas individuales de refuerzo, haces de varillas o cables pretensados.

P A S O I I I

ESTIMACION DEL AGUA DE LA MEZCLA Y DEL CONTENIDO DE AIRE.

La cantidad de agua por volumen unitario de concreto que se requiere para producir un revenimiento, depende de:

- a) El tamaño del agregado máximo.
- b) La forma de las partículas.
- c) La graduación de los agregados.
- d) La cantidad de aire incluido •

• El concreto con aire incluido debe usarse siempre en estructuras expuestas a:

- Congelación y deshielo
- Agua de mar
- Sulfatos.

T A B L A

REQUISITOS APROXIMADOS DE AGUA DE LA MEZCLA Y CONTENIDOS DE AIRE PARA DIFERENTES REVENIMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DE AGREGADO*

Revenimiento: cm	Agua en kg/m ³ de concreto para los tamaños máximos de agregado indicados:						
	10 mm	13 mm	20 mm	25 mm	40 mm	50 mm**	75 mm**
CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO							
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170
% contenido de aire: -	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3
CONCRETO CON AIRE INCLUIDO							
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135
8 a 10	200	190	180	175	165	155	150
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160
% contenido de aire: -	8	7	6	5	4.5	4	3.5

* Estas cantidades de agua de la mezcla deben usarse en el cálculo de factores de cemento para revolturas de prueba. Son las máximas para concreto con agregado grueso angular de buena forma, graduado dentro de los límites aceptados por las especificaciones.

** Los valores del revenimiento para concreto con agregado mayor de 40 mm se basaron en pruebas de revenimiento hechas después de retirar las partículas mayores de 40 mm por cribado.

P A S O IV

SELECCION DE LA RELACION AGUA/CEMENTO

La relación agua/cemento, se determina por:

- a) Resistencia
- b) Durabilidad
- c) Propiedades para el acabado.

T A B L A

CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACION AGUA/CEMENTO Y LA RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESION:

Resistencia a la compresión a 28 días, kg/cm ² •	RELACION AGUA/CEMENTO, EN PESO	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

• CEMENTO PORTLAND TIPO I

Para condiciones severas de exposición la relación agua/cemento deberá mantenerse baja, aun -- cuando los requisitos de resistencia puedan cumplirse con un valor más alto.

T A B L A

**RELACIONES AGUA/CEMENTO MAXIMAS PERMISIBLES PARA CONCRETO
BAJO CONDICIONES SEVERAS DE EXPOSICION:**

Tipo de estructura	Estructura continua o frecuentemente húmeda, y expuesta a congelación y deshielo: *	Estructura expuesta al agua de mar o a sulfatos: **
Secciones delgadas (parapetos, guarniciones, umbrales, escalones, obras ornamentales) y secciones con menos de 3 cm de recubrimiento.....	0.45	0.40
Todas las demás estructuras.....	0.50	0.45

- El concreto también debe tener aire incluido.
- ** Si se utiliza cemento resistente a los sulfatos (tipo II o V), la relación agua/cemento permisible puede aumentarse en 0.05

P A S O V

CALCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

- a) El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua en la mezcla (Paso 3), dividido entre la relación agua/cemento (Paso 4).

- b) Si la especificación señala por separado un límite mínimo de cemento mayor que el requerido -- por resistencia y durabilidad, la mezcla deberá basarse en el criterio, cualquiera que sea, que conduzca al de mayor cantidad de cemento.

P A S O VI

ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO:

a) Valores apropiados.

T A B L A

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR VOLUMEN UNITARIO DE CONCRETO:

Tamaño máximo de agregado - en mm:	Volumen de agregado grueso* por volumen unitario de concreto para diferentes -- "módulos de finura" de la arena:			
	2.40	2.60	2.80	3.00
10	0.50	0.48	0.46	0.44
13	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
75	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

* Los volúmenes están basados en agregados en condición "seca y compactada con varilla".

b) Para concretos menos manejables (Ej. Pavimentos de concreto), se pueden incrementar en un 10% los volúmenes de la Tabla.

c) Para concretos más manejables (Ej. bombeo), deberán reducirse los volúmenes de la Tabla en -- un 10%.

P A S O VII

ESTIMACION DEL CONTENIDO DE AGREGADO FINO:

Se pueden emplear dos procedimientos:

- 1.- El método por "peso", y
- 2.- El método por "volumen absoluto".

ANALISIS DEL PUNTO 1

- a) Frecuentemente el peso unitario del concreto fresco es conocido por experiencias anteriores.
- b) Cuando no existe esta información, se puede utilizar la TABLA "A" para hacer una primera aproximación.
- c) Cálculo teóricamente exacto del peso volumétrico del concreto fresco:

$$U = 10 G_a (100 - A) + C (1 - G_a/G_c) - W (G_a - 1)$$

En donde:

U = Peso volumétrico del concreto fresco en kg/m^3 ;

G_a = Promedio pesado de los pesos específicos de los agregados fino y grueso combinados en masa, en condición SSS (SSS significa "saturada y superficialmente seca");

G_c = Peso específico del cemento (generalmente 3.15 para cemento Portland Tipo I);

A = Porcentaje del contenido de aire;

W = Agua de la mezcla requerida en kg/m^3 , y

C = Cemento requerido en kg/m^3 .

T A B L A "A"

Tamaño máximo de agregado - en mm:	Primera estimación del peso volumétrico del concreto fresco en kg/m ³ *	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
10	2285	2190
13	2315	2235
20	2355	2280
25	2375	2315
40	2420	2355
50	2445	2375
75	2465	2400
150	2505	2450

- Los valores se calcularon con la ecuación del inciso c) para concretos medianamente ricos (330 kg de cemento por cada metro cúbico de concreto), -- con un agregado de peso específico igual a 2.7 y un revenimiento de 10 cm.

ANÁLISIS DEL PUNTO 2

El método por "volumen absoluto" da resultados más aproximados, y consiste en lo siguiente:

- 1.- El volumen ocupado en el concreto por cualquier ingrediente es igual a su peso, dividido entre el peso específico de ese material, y
- 2.- El volumen total de los ingredientes conocidos (agua, aire, cemento y agregado grueso) se resta del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino.

P A S O VIII

AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS:

- a) Generalmente los agregados están húmedos y a su peso seco debe sumarse el peso del agua que contienen, tanto absorbida como superficialmente.
- b) El agua de la mezcla que va a agregarse a la revoltura debe reducirse en una cantidad igual a la humedad que contiene el agregado, esto es, - humedad total menos absorción.

P A S O IX

AJUSTES A LAS REVOLTURAS DE PRUEBA:

- a) Las proporciones calculadas de la mezcla deben verificarse por medio de revolturas de prueba.
- b) Debe utilizarse sólo el agua suficiente para producir el revenimiento requerido, sin considerar la cantidad supuesta en la selección de las proporciones de prueba.
- c) Debe verificarse el peso unitario, el rendimiento y el contenido de aire del concreto.
- d) Se debe observar la manejabilidad apropiada, libre de segregación, y las condiciones de acabado.

Los ajustes deben hacerse a las revolturas subsiguientes de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- 1.- Estimar de nuevo el agua requerida en la mezcla por m^3 de concreto, dividiendo el contenido neto de agua de la mezcla de la revoltura de prueba entre el rendimiento de la revoltura. Si el revenimiento no fue el correcto, hay que aumentar o disminuir la cantidad estimada de agua en 2 kg por cada cm de aumento

o disminución del revenimiento requerido.

- 2.- Para concreto con aire incluido, si no se obtuvo el contenido deseado de aire, hay que volver a estimar el contenido de aditivo requerido para el contenido de aire apropiado, y reducir o aumentar el contenido de agua de la mezcla, indicado en el punto anterior en 3 kg/m^3 por cada 1 % en que el contenido de aire debe aumentarse o disminuirse.
- 3.- Si la base de la dosificación es el peso estimado por m^3 de concreto fresco, la reestimación de ese peso se consigue aumentándole, según corresponda, el porcentaje determinado por anticipado, mayor o menor, del contenido de aire de la revoltura ajustada con respecto a la primera revoltura de prueba.
- 4.- Calcúlense los nuevos pesos de la revoltura, partiendo del PASO IV, modificando el volumen de agregado grueso de la Tabla correspondiente si es necesario, para obtener una trabajabilidad adecuada.

EJEMPLO DE DOSIFICACION DE UNA MEZCLA DE CONCRETO
 para la construcción de una viga reforzada de 25 x 60 cm
 que no está expuesta a intemperismo severo:

DATOS: $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ a los 28 días.

AGREGADOS	M.F.	P.U.	ABSORCION	HUMEDAD TOTAL	P.E.
Grueso de 3/4"		1600	0.006	3%	2.68
Fino	2.8		0.008	8%	2.66

PASO 1.- Revenimiento:

máximo 10 cm
 mínimo 2 cm

Se escogen 10 cm para facilitar el colado.

PASO 2.- El tamaño máximo del agregado grueso es 3/4" y está dentro de lo permisible.

PASO 3.- Según la Tabla correspondiente, la cantidad de agua adecuada por metro cúbico de concreto es de 200 kg., y contiene aproximadamente 2% de aire.

PASO 4.- Conforme a la Tabla respectiva, tenemos:
 Agua/cemento = 0.62

PASO 5.- Contenido de cemento =
 $\frac{200}{0.62} = 323 \text{ kg/m}^3$

PASO 6.- Volumen de agregado grueso en condición "seco y compactado con varilla".
 De la Tabla correspondiente se obtiene un volumen de grava = 0.62
 Peso de la grava = $0.62 \times 1600 = 992 \text{ kg/m}^3$

PASO 7.- Estimación del contenido de agregado fino:

a) POR PESO:

Agua + Cemento + Grava = $200 + 323 + 992 = 1515 \text{ kg/m}^3$

Cantidad de Arena = $2355 - 1515 = 840 \text{ kg/m}^3$

2355 es el peso volumétrico del concreto fresco obtenido de la Tabla respectiva.

b) POR VOLUMEN:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de agua} &= \frac{200}{1000} &= 0.2 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen de cemento} &= \frac{323}{3.15 \times 1000} &= 0.103 \\ \text{Volumen de grava} &= \frac{992}{2.68 \times 1000} &= 0.370 \\ \text{Volumen de aire} &= 2\% &= 0.020 \\ && \hline \text{SUMA} &&= 0.693 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de arena} = 1 - 0.693 = 0.307 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Peso de la arena} &= \\ 0.307 \times 2.66 \times 1000 &= 817 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

COMPARACION DE LAS CANTIDADES OBTENIDAS CON LOS DOS PROCEDIMIENTOS:

	POR PESO	POR VOLUMEN
Agua	200	200
Cemento	323	323
Grava	992	992
Arena	840	817

PASO 8.- AJUSTE POR HUMEDAD DE LOS AGREGADOS.

Escogemos la dosificación por volumen:

$$\begin{aligned} \text{Peso del agua contenida en la grava} &= \\ 992 \times 0.03 &= 30 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso del agua contenida en la arena} &= \\ 817 \times 0.08 &= 65 \text{ kg} \end{aligned}$$

PESO DEL AGUA ABSORBIDA POR LOS AGREGADOS (no es parte del agua de la mezcla):

$$\begin{aligned} \text{Agua absorbida en la grava} &= \\ 992 \times 0.006 &= 6 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua absorbida en la arena} &= \\ 817 \times 0.008 &= 7 \text{ kg} \end{aligned}$$

La grava y la arena contribuyen con:

$$30 + 65 - 6 - 7 = 82 \text{ kg de agua}$$

los cuales debemos restar a la cantidad de agua necesaria para la mezcla. Considerando lo anterior, tenemos:

Agua	=	200 - 82	=	118	kg/m ³
Cemento	=	323	=	323	
Grava (húmeda)	=	992 + 30	=	1022	
Arena (húmeda)	=	817 + 65	=	882	

PASO 9.- AJUSTES A LA REVOLTURA DE PRUEBA

En una revoltura de prueba de 0.02 m³ se encontró que aunque el agua calculada era de 2.36 kg se necesitaron en realidad 2.86 kg de agua para producir el revenimiento de 10 cm, ya que con 2.36 kg de agua resultaba un revenimiento de 3 cm.

CANTIDADES REALES UTILIZADAS PARA LA REVOLTURA DE PRUEBA DE 0.02 m³:

Agua	2.86	kg
Cemento	6.46	
Grava	20.44	
Arena	17.64	
SUMA:	<u>47.40</u>	

A la revoltura de prueba se le calculó su peso volumétrico que resultó ser de:

$$2310 \text{ kg/m}^3$$

Rendimiento de la revoltura de prueba =

$$\frac{47.40}{2310} = 0.02052 \text{ m}^3$$

REESTIMACION DE LA DOSIFICACION:

a) Contenido de agua neta de la mezcla:

Cantidad de agua añadida	=	2.86	kg
Cantidad de agua en la grava	=		
(30 - 6) x 0.02	=	0.48	
Cantidad de agua en la arena	=		
(65 - 7) x 0.02	=	1.16	
TOTAL:	=	<u>4.50</u>	kg

$$\text{Contenido de agua reestimado} = \frac{4.50}{0.02052} = 219 \text{ kg/m}^3$$

A esta cantidad debemos agregar 2 kg de agua por cada cm de revenimiento aumentado, es decir:

$$2 \text{ kg/cm} \times (10 \text{ cm} - 3 \text{ cm}) = 14 \text{ kg}$$

$$\text{Contenido de agua} = 219 + 14 = 233 \text{ kg/m}^3$$

b) Ajuste del contenido de cemento:

$$\frac{233}{0.62} = 376 \text{ kg/m}^3$$

c) Ajuste del contenido de grava:

$$\frac{20.44}{0.02052} = 996 \text{ kg/m}^3 \text{ (húmeda)}$$

$$\frac{996}{1.03} = 967 \text{ kg/m}^3 \text{ (seca)}$$

d) Volumen de los ingredientes de la revoltura de prueba original:

$$\text{Agua} = \frac{4.50}{1000} = 0.00450$$

$$\text{Cemento} = \frac{6.46}{3.15 \times 1000} = 0.00205$$

$$\text{Grava (seca)} = \frac{20.44}{1.03} \times \frac{1}{2680} = 0.00740$$

$$\text{Arena (seca)} = \frac{17.64}{1.08} \times \frac{1}{2.66 \times 1000} = 0.00614$$
$$\underline{0.02009}$$

e) Contenido de aire del concreto:

$$\frac{0.02052 - 0.02009}{0.02052} = 0.021 = 2.1 \%$$

f) Volumen de los componentes:

$$\begin{aligned} \text{Agua} &= \frac{233}{1000} = 0.233 \text{ m}^3 \\ \text{Cemento} &= \frac{376}{3.15 \times 1000} = 0.119 \\ \text{Grava} &= \frac{967}{2.68 \times 1000} = 0.361 \\ \text{Aire} &= 2.1 \% = 0.021 \\ \text{SUMA} &= \underline{\underline{0.734}} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volumen de arena:

$$1 - 0.734 = 0.266 \text{ m}^3$$

Peso de la arena (seca):

$$0.266 \times 2.66 \times 1000 = 708 \text{ kg}$$

PESOS BASICOS AJUSTADOS:	
Agua	233 kg
Cemento	376
Grava (seca)	967
Arena (seca)	708

Con esta dosificación se pueden hacer otras revolturas de prueba y ajustar aún más los contenidos.

CAPITULO VI

EL ACERO

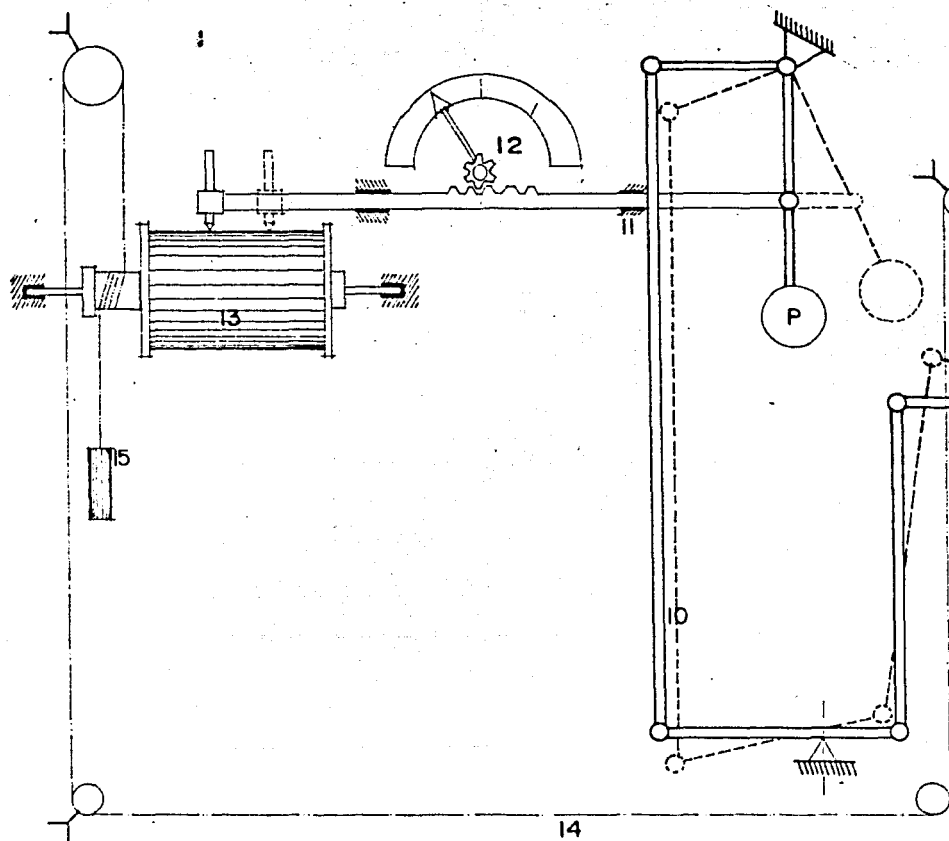
Todos los días, en el mundo, las necesidades de la industria hacen posible el desarrollo de nuevos tipos de aceros, no todos aplicables a la construcción, ya sea por su alto costo de fabricación, por su fragilidad, etc., pero ciertos tipos de acero, tienen propiedades mecánicas que los convierten en excelentes materiales estructurales.

DESCRIPCION BREVE DE UNA MAQUINA UNIVERSAL

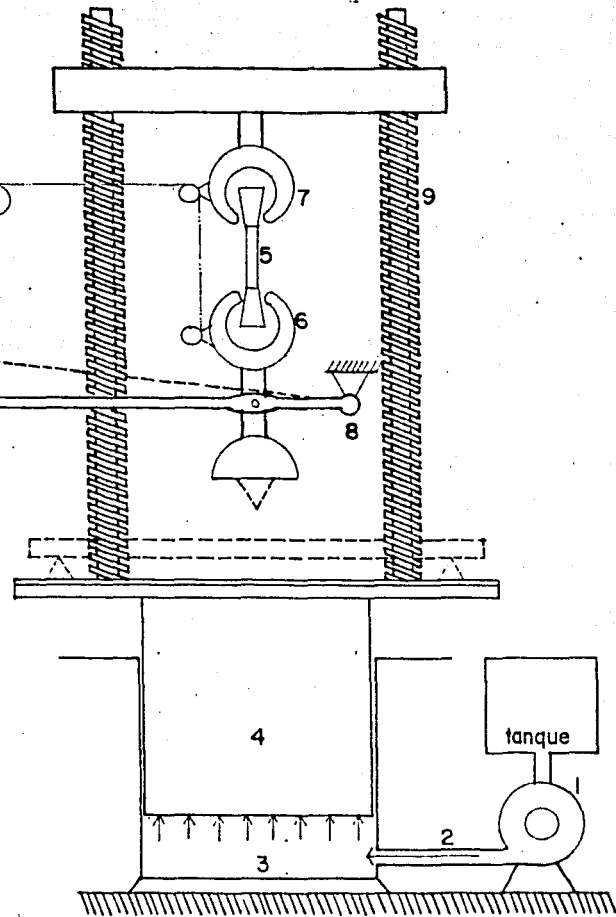
Se llama máquina universal a una prensa en la cual se pueden ensayar diferentes tipos de especímenes en TENSION, COMPRESION Y FLEXION.

La máquina que se describirá a continuación, tiene la propiedad de graficar automáticamente en papel, una curva donde se relacionan los desplazamientos del espécimen con las fuerzas aplicadas. Su funcionamiento es el siguiente:

- 1.- La bomba 1 toma el aceite del tanque y lo manda hacia el cilindro hidráulico de la máquina 3 a través de la tubería 2.
- 2.- El émbolo 4 sube por la presión del aceite.
- 3.- El espécimen 5, que se probará a la tensión está sujeto de los agarradores 6 y 7.
- 4.- El cabezal de apoyo inferior 8 es inmóvil.
- 5.- El agarrador superior 7 está conectado al émbolo 4, por medio del bastidor 9 y por lo tanto se mueve de la misma manera que el émbolo.
- 6.- Al subir el émbolo 4, el espécimen 5 queda sujeto a fuerzas de tensión, las cuales son medidas por medio de un sistema de palancas 10 equilibrado por el peso P (en forma de péndulo).
- 7.- Del peso P, se sujeta una cremallera corredera 11 que hace girar la aguja marcadora de cargas 12.



ESQUEMA DE UNA MAQUINA UNIVERSAL



- 8.- La cremallera corredera 11 porta un lápiz que dibuja en el tambor de diagramas 13, líneas verticales que indican las cargas a una escala conveniente.
- 9.- Las deformaciones que sufre el espécimen son medidas por medio de un sistema de hilo 14, que transmite un movimiento de rotación al tambor de diagramas 13; de esta manera, las líneas horizontales que marque el lápiz en el tambor de diagramas, corresponderán a las deformaciones de la probeta, agrandadas a una escala conveniente.
- 10.- En la máquina, también se pueden ensayar especímenes a la compresión o a la flexión colocándolos entre el émbolo y el cabezal inferior.

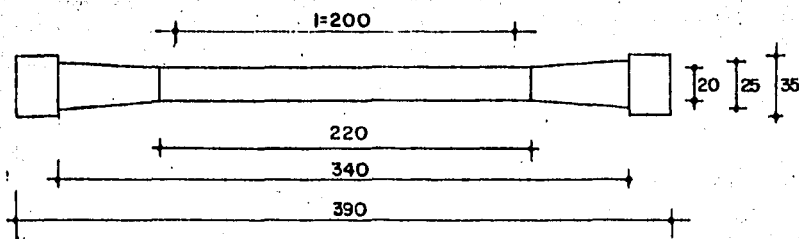
En la actualidad se han desarrollado prensas universales de gran capacidad y precisión, con dispositivos electrónicos para regular y registrar las cargas y las deformaciones, o para realizar los mismos ensayos en temperatura ambiente controlada.

DETERMINACION DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO

Las propiedades mecánicas del acero varían no solo dependiendo de su composición química, procedimiento de laminado y el tratamiento térmico dado; sino de las condiciones de ensayo como son: velocidad de carga, temperatura ambiente y geometría de la muestra.

Casi siempre para determinar las principales propiedades mecánicas del acero, se recurre por facilidad a los ensayos de tensión, y se hace la suposición para fines prácticos que el comportamiento en compresión del acero es similar al que tiene en la prueba de tensión.

El espécimen estándar tiene el aspecto mostrado en la siguiente figura:



Acotaciones en mm

$l =$ longitud de cálculo $= 10 d$

$A =$ área de probeta

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 A}{\pi}} = 1.13 \sqrt{A}$$

$$\therefore l = 11.3 \sqrt{A}$$

Después que la máquina de ensayos fue revisada, se mide el espécimen cuidadosamente y se anotan diámetros y longitudes, se coloca en posición correcta y se pone en funcionamiento la máquina. El resultado del ensayo lo podemos obtener a través del diagrama dibujado por la máquina, que para un acero A 36 tiene una forma semejante a la mostrada en el diagrama 1.

En el diagrama 2 se muestran los detalles importantes del diagrama 1.

En el diagrama 2 se observa lo siguiente:

Tramo OA .- es sensiblemente recto y se cumple la ley de Hooke.

Punto A .- Límite de proporcionalidad, indica el punto en el cual ya no se cumple la ley de Hooke.

Punto B .- Punto superior de fluencia, es el punto que aparece en las especificaciones de todos los aceros. Está definido como el punto en que no hay aumento de carga, pero sí deformaciones.

Punto C .- Punto inferior de fluencia.

Rango I .- Elástico.

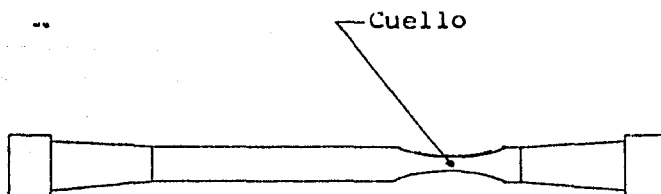
Rango II.- Plástico.

Rango III.- Endurecimiento por deformación.

En el rango elástico las deformaciones desaparecen cuando la carga se deja de aplicar.

En los rangos plástico y de endurecimiento por deformación, las deformaciones de la probeta son permanentes. En el diagrama 1, la carga se aplicó de 0 hasta E y se descargó el espécimen en este punto, la línea de descarga EH es paralela a OA. Se volvió a cargar la probeta hasta la ruptura, obteniéndose la curva H-E-F-G.

Punto F .- Es la carga máxima aplicada a la probeta. En este punto comienza la formación del cuello que origina una disminución en el área transversal de la probeta. A partir de este punto las deformaciones aumentan y las cargas disminuyen hasta llegar al punto G de ruptura.



Si se descarga la probeta en el límite del punto G antes de la ruptura, la deformación total de la probeta será OJ.

El trabajo está definido como el producto de la -- fuerza por la distancia recorrida.

$$T = F d$$

Si el espécimen se carga en forma instantánea el -- trabajo de deformación será:

$$T = \text{Carga} \times \text{deformación}$$

Suponiendo que la curva fuerza-deformación mostrada en la Fig. 1, no se altere si la carga se aplicara instantáneamente el trabajo sería el área del rectángulo -- O L M K.

Si el espécimen se carga en forma gradual como sucede en la realidad, el trabajo de deformación es el -- área bajo la curva fuerza-deformación como la mostrada en el diagrama 1.

A la curva fuerza-deformación obtenida como se describió anteriormente se acostumbra, para fines prácticos, generalizarla en la siguiente forma:

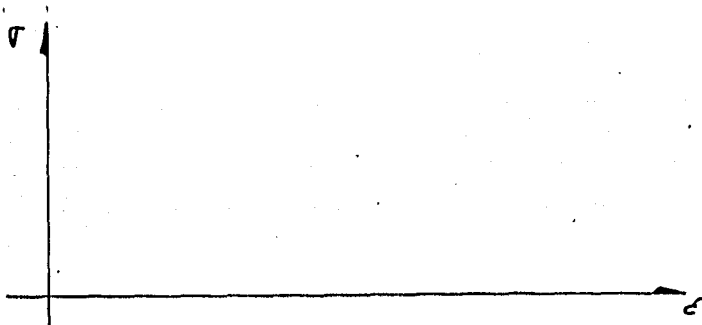
- a) Las fuerzas o cargas se dividen entre el área inicial de la probeta. A los resultados se les llama esfuerzos:

$$\sigma = P/A$$

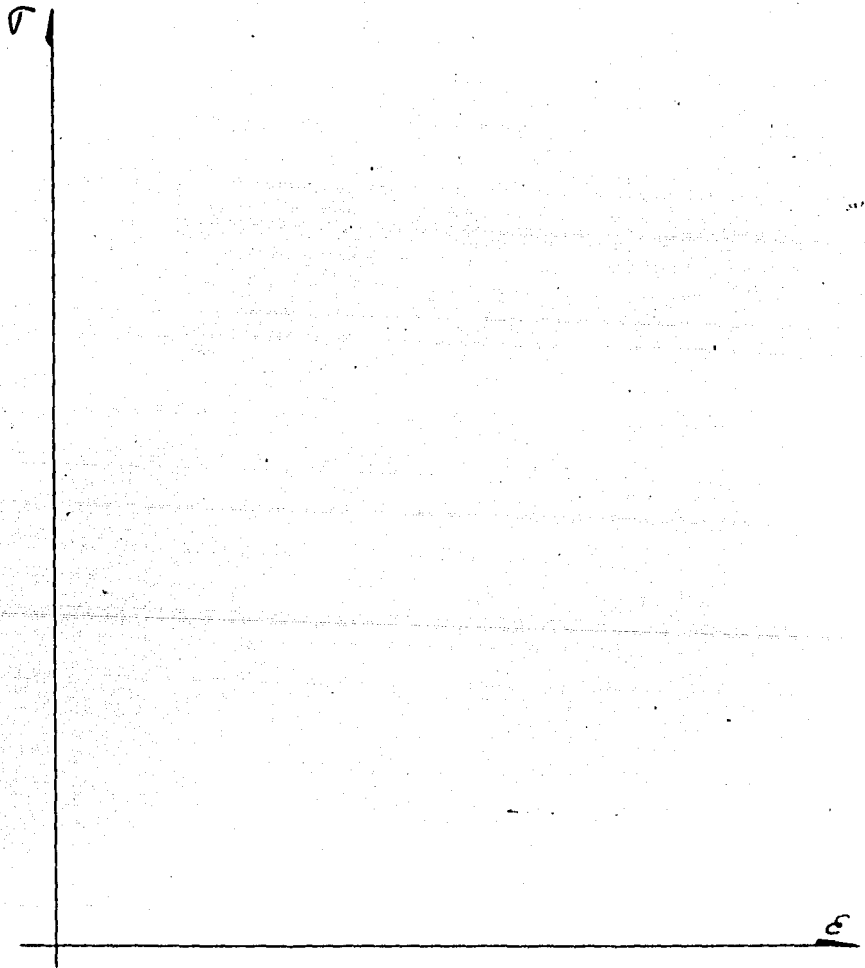
- b) Las deformaciones (δ) se dividen entre la longitud inicial del espécimen. A los resultados se les llama deformaciones unitarias:

$$\epsilon = \delta/l.$$

La curva esfuerzos-deformaciones es proporcional a la curva fuerza-deformación.



Los aceros de alta resistencia tratados térmicamente o laminados en frío no tienen una curva esfuerzo-deformación, en donde se pueda distinguir claramente el punto de fluencia, por esa razón se ha definido el punto de fluencia de estos aceros como la intersección de la curva esfuerzo-deformación con una recta paralela al rango elástico de la misma defasada 0.2 % como se indica en la figura:



Curvas esfuerzo-deformación de diferentes tipos de aceros. La línea punteada al intersectarse con la curva $\sigma-\epsilon$ define el punto de fluencia.

DEFINICIONES

MODULO DE ELASTICIDAD (E):

Se define como módulo de elasticidad a la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en el rango elástico.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

El módulo de elasticidad para cualquier tipo de acero tiene un valor cercano a:

$$2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{y} \quad 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

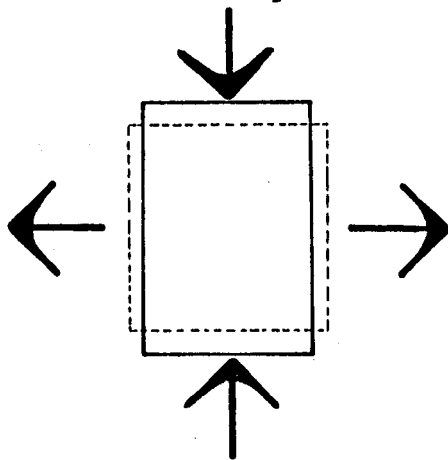
El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal establece que se debe tomar igual a $2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, para fines de cálculo estructural.

MODULO DE ELASTICIDAD TANGENTE:

Se define como la pendiente de la curva en cualquier punto después del límite de proporcionalidad.

MODULO DE POISSON:

Se define como la relación entre la deformación unitaria transversal y la deformación unitaria longitudinal, bajo una carga axial dada. Este valor varía para el acero de 0.25 a 0.33 dentro del rango elástico.



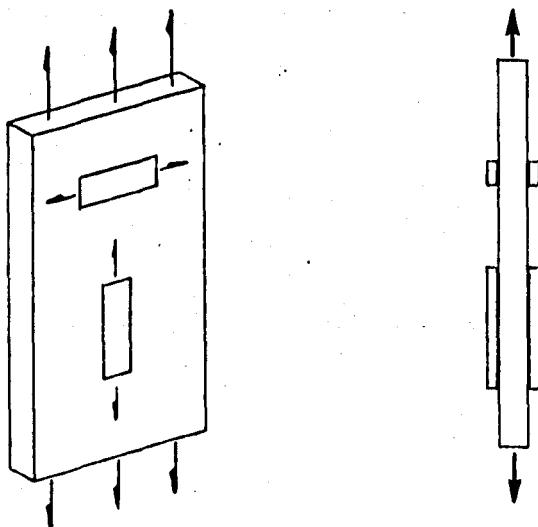
MODULO DE ELASTICIDAD AL ESFUERZO CORTANTE (G):

Es la relación del esfuerzo cortante a la deformación unitaria por cortante, dentro del rango elástico. Puede determinarse por la fórmula:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

DETERMINACION DEL MODULO DE POISSON

La magnitud del módulo de Poisson es la misma tanto para la tensión como para la compresión. Se determina en probetas planas como la mostrada en la siguiente figura:



La medición de las deformaciones se hace con extensómetros colocados como se indica en la figura anterior.

Los extensómetros de más cómodo uso son los extensómetros eléctricos, como el que se describirá en las siguientes páginas.

Sobre la probeta se colocan dos extensómetros para medir deformaciones longitudinales, y dos para medir deformaciones transversales.

La deformación se toma como el promedio de la lectura de los dos extensómetros para evitar errores debidos a la excentricidad de la carga.

Durante el ensaye la probeta se debe cargar en un solo sentido (por lo general en forma creciente).

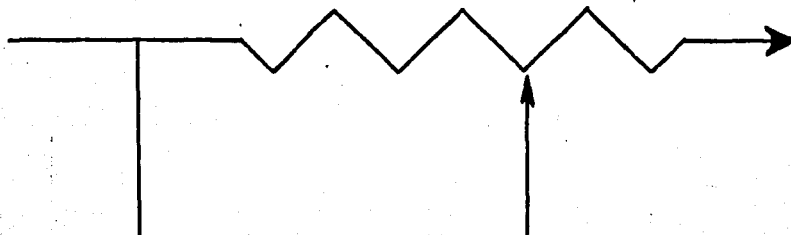
El resultado será el siguiente:

$$\mu = \frac{\text{Deformación unitaria transversal}}{\text{Deformación unitaria longitudinal}}$$

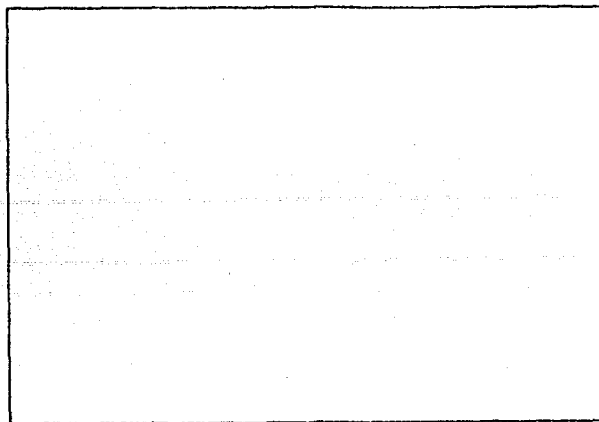
EXTENSOMETRO ELECTRICO:

Los extensómetros eléctricos son usados en la actualidad en forma amplia, debido a su facilidad de colocación en el espécimen, y sobre todo cuando se tienen que estudiar deformaciones dinámicas momentáneas, cuando los extensómetros mecánicos no pueden ser utilizados.

El funcionamiento del extensómetro eléctrico de hilo se funda en la variación de la resistencia del hilo a causa de su deformación. Véase la figura siguiente:



La parte principal del extensómetro es un captador de hilo de manganina (aleación de cobre 84%, níquel 4% y manganeso 12%) o de constantán (aleación de cobre 60% y níquel 40%), colocado en unos cuantos lazos paralelos como se muestra en la figura siguiente:



Captador eléctrico

El hilo del captador va cubierto con una película aislante.

El captador va pegado a la probeta de tal manera que se deforme lo mismo que ésta. La deformación que sufre el captador cambia su resistencia inicial, la cual se puede medir por medio de un circuito llamado PUENTE DE WHEATSTONE (existen otros tipos de circuitos que también miden el cambio de resistencia).

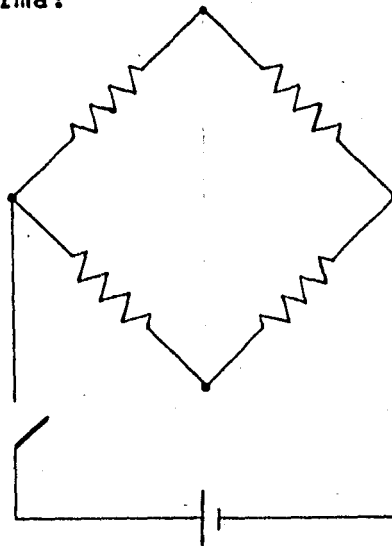
La deformación del captador está en función de su cambio en la resistencia:

$$\epsilon = \frac{l}{\nu} \frac{\Delta R}{R}$$

El valor de ν se determina experimentalmente colocando el captador a una probeta donde previamente se ha colocado también otro extensómetro para medir las deformaciones unitarias. R es la resistencia inicial del captador.

PUENTE DE WHEATSTONE:

El puente de Wheatstone se puede representar en la siguiente forma:



R_1 es la resistencia del captador.

Quando se cierra el interruptor S1, se le aplica un voltaje al puente y circula la corriente i que, al llegar al punto I se divide en dos partes: i_A e i_B .

Se dice que el puente está en equilibrio cuando por el galvanómetro G no circula ninguna corriente eléctrica, es decir, cuando marque cero. La condición de equilibrio del Puente de Wheatstone se cumple en el momento en que la diferencia de potencial entre los puntos II y IV es nula, lo cual se puede expresar matemáticamente como sigue:

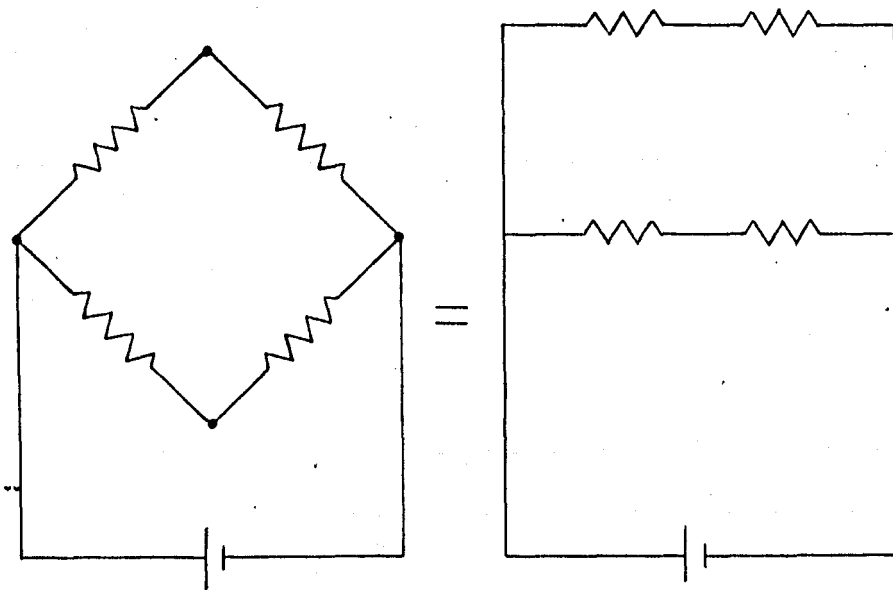
$$i_A R_A = i_B R_B \quad \text{----- Condición 1}$$

Ya que por la Ley de Ohm:

$$V_{RA} = i_A R_A$$

$$V_{RB} = i_B R_B$$

Si variamos la resistencia R_A de tal manera que nos proporcione la Condición 1, el circuito se simplificará en la siguiente forma:



Conocidas las resistencias R_A , R_B y R_C , podemos deducir el valor de la resistencia del captador R_1 .

Tomando en cuenta que $i_A = i_1$ por estar las resistencias R_A y R_1 en serie, por la Ley de Ohm tenemos:

$$i_A = \frac{E}{R_A + R_1} \quad \text{-----} \quad 2$$

De la misma manera:

$$i_B = \frac{E}{R_B + R_C} \quad \text{-----} \quad 3$$

Sustituyendo las ecuaciones 2 y 3 en la Condición 1, tenemos:

$$\frac{E}{R_A + R_1} R_A = \frac{E}{R_B + R_C} R_B$$

Despejando R_1 obtenemos:

$$R_1 = \frac{R_A}{R_B} R_C$$

R_1 es la resistencia inicial del captador. Cuando la probeta sufre una deformación, la resistencia del captador variará a: $R_1 + \Delta R_1$ que se podrá deducir en forma semejante.