



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales

" ARAGON "

**ASPECTOS FUNDAMENTALES
Y PRUEBAS DE LOS MATERIALES
DE CONSTRUCCION**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N:

LAURA SUMANO MALDONADO

JOSE PORTILLA RODRIGUEZ

ENEP



ARAGON

San Juan Aragón, Edo. de México

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONTENIDO

PAG.

CAPITULO I	INTRODUCCION.....	1
CAPITULO II	LAS ROCAS.....	4
	Origen, Minerles que las forman. Clasificación, Igneas, Sedimentarias y Metamórficas. Usos y Propiedades Físicas.	
CAPITULO III	PRUEBAS GENERALES A LAS ROCAS.....	18
	Prueba N ^o 1: Peso Volumétrico.....	19
	Prueba N ^o 2: Absorción.....	22
CAPITULO IV	LOS AGREGADOS.....	24
	Definición. Clasificación, Arena y Agregados Gruesos. Propiedades y Características	
CAPITULO V	PRUEBAS A LOS AGREGADOS.....	39
	Prueba N ^o 3: Densidad de los Agregados.....	40
	Prueba N ^o 4: Humedad de los Agregados.....	43
	Prueba N ^o 5: Granulometría de la Grava.....	45
	Prueba N ^o 6: Granulometría de la Arena.....	49
CAPITULO VI	LOS CEMENTANTES.....	54
	Clasificación, Arcillas, Yesos, Cales. Cementos, Fabricación, Tipos: Naturales, Artificiales, Portland, Especiales. Características y Usos.	

	PAG.
CAPITULO VII PRUEBAS A LOS CEMENTANTES.....	73
Prueba N ^o 7: Resistencia a Flexión y Compresión del Yeso.....	74
Prueba N ^o 8: Estabilidad de Volúmen del Cemento.....	76
Prueba N ^o 9: Peso Especifico del Cemento.....	78
CAPITULO VIII EL CONCRETO.....	80
Generalidades. Elaboración, Dosificación y Mezclado. Colocación. Endurecimiento. Resistencia. Tipos de Concreto.	
CAPITULO IX PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO.....	106
Prueba N ^o 10: Fraguado.....	107
Prueba N ^o 11: Revenimiento.....	110
Prueba N ^o 12: Fluidez.....	114
Prueba N ^o 13: Manejabilidad.....	117
Prueba N ^o 14: Calor de Hidratación.....	120
CAPITULO X PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO.....	123
Prueba N ^o 15: Cabeceo de Especímenes.....	124
Prueba N ^o 16: Compresión.....	127
Prueba N ^o 17: Tensión.....	134
Prueba N ^o 18: Segregación.....	137
Prueba N ^o 19: Curado Acelerado.....	140
Prueba N ^o 20: Extracción de Corazones..... (Destructiva)	145
CAPITULO XI PRUEBAS A CONCRETOS ESPECIALES.....	148
Prueba N ^o 21: Concreto Ligero.....	149
Prueba N ^o 22: Concreto Resistente a Sulfatos.....	152
Prueba N ^o 23: Concreto con Inclusión de Aire.....	156
Prueba N ^o 24: Concreto de Alta Resistencia.....	159

CAPITULO XII	EL ACERO.....	165
	<i>Definición, Clasificación, Características, Usos y Tipos Comerciales.</i>	
CAPITULO XIII	PRUEBAS AL ACERO ESTRUCTURAL.....	177
	<i>Prueba N° 25: Resistencia a Tensión.....</i>	<i>178</i>
	<i>(Límite de Fluencia)</i>	
	<i>Prueba N° 26: Corrosión.....</i>	<i>182</i>
	<i>Prueba N° 27: Dilatación.....</i>	<i>185</i>
CAPITULO XIV	LA MADERA.....	189
	<i>Definición. Estructura. Propiedades y Características. Resistencia. Clases. Formas comerciales y sus Derivados.</i>	
CAPITULO XV	PRUEBAS A LA MADERAS.....	204
	<i>Prueba N° 28: Flexión en Vigas de Madera.....</i>	<i>205</i>
	<i>Prueba N° 29: Agentes destructivos.....</i>	<i>208</i>
CAPITULO XVI	LADRILLOS Y CERAMICAS.....	212
	<i>Materiales Aglomerados, Tabiques, Ladrillos y Bloques de Concreto, Cerámicas y Ladrillos procedentes de arcillas.</i>	
CAPITULO XVII	PRUEBAS A TABIQUES Y BLOQUES.....	223
	<i>Prueba N° 30: Absorción en Tabiques.....</i>	<i>224</i>
	<i>Prueba N° 31: Compresión en Bloques.....</i>	<i>227</i>
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	230
	INDICE DE TABLAS	
	BIBLIOGRAFIA	

CAPITULO I
INTRODUCCION

CAPITULO I INTRODUCCION

En los últimos años, la Universidad Nacional Autónoma de México está sufriendo cambios internos en el ámbito académico, con la firme intención de, si no estar a la vanguardia, si conseguir el nivel que la sociedad moderna y sus necesidades nos exige, en virtud de los cambios socio-económicos que se están generando a nivel mundial.

Las autoridades de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales de Aragón, y concretamente en el área de Ingeniería Civil, se han preocupado por esta situación y han logrado crear e implementar un nuevo Plan de Estudios que cumple con las expectativas académicas del presente, así como con innumerables ventajas.

Derivado del nuevo plan de estudios y con la finalidad de apoyar el área de construcción en su nueva estructura, surge el presente trabajo, el cual además de exponer una serie de pruebas de control de calidad y de conocimiento de las propiedades de los materiales de construcción más usuales, contiene un marco teórico con lo más esencial para la comprensión de dichas pruebas y un capítulo de teoría que nos proporciona un panorama global del comportamiento y características de estos materiales de estudio.

De esta forma se intenta aportar un conocimiento de apoyo, tanto para el académico, como para el estudiante de la carrera, al cual se invita a participar en los laboratorios de ingeniería, con prácticas que le permitan adquirir un conocimiento más amplio de lo que en la materia se expone.

De los recursos materiales con que se cuenta en la construcción, se han elegido para elaborar esta tesis los que generalmente se tienen en cualquier obra, es decir los básicos.

Así pues, dentro del contenido tenemos como inicio el tema de las Rocas, donde se conoce su origen, sus principales componentes, su clasificación, los usos en la industria y sus principales propiedades físicas. Continuando con dos pruebas que nos permiten determinar su peso volumétrico y absorción.

Análogamente se considera a los agregados y sus propiedades, junto con una serie de cuatro pruebas de gran importancia para su estudio en el laboratorio.

A los cementantes y al concreto se les dedica más espacio, seis capítulos, por considerarse elementos medulares en la construcción. Intentando ser bastante explícitos en su clasificación, tipos, usos, características, ventajas, desventajas, etc.

Como consecuencia se derivan dieciocho pruebas de laboratorio, todas ellas de suma importancia para el control de calidad y el conocimiento del comportamiento de los cementantes y concretos; los cuales intervienen en el desarrollo de una obra de ingeniería.

Sin restarle importancia al acero se hace un bosquejo de sus principales características, usos, ventajas, formas comerciales, etc. Complementado con pruebas de laboratorio que nos indican algunas de sus propiedades.

Otro elemento que se utiliza en el medio, es la madera, ya sea de manera decorativa, de forma estructural o como material para cimbras. Por lo que se impone conocer su naturaleza, su estructura, tipos, propiedades, calidades, etc.

Por último entramos en el tema de ladrillos y cerámicas, los cuales forman parte de las construcciones en infinidad de formas, tamaños y calidades, pero conservan ciertas características inherentes al material que los origina, las cuales es necesario conocer, mediante pruebas de laboratorio, para así emplearlos adecuadamente.

Consideramos importante mencionar, que para la consulta de este trabajo, es necesario recurrir a las Conclusiones y Recomendaciones que se presentan al final, puesto que en ellas se exponen múltiples situaciones que deben tomarse en cuenta, para que los resultados de las pruebas sean fidedignos y lo más acertados; ya que el caer en errores nos puede conducir a tomar decisiones equivocadas con respecto al material en estudio.

CAPITULO II

LAS ROCAS

CAPITULO II LAS ROCAS

ORIGEN DE LAS ROCAS

Las rocas se encuentran en la naturaleza en formaciones de grandes dimensiones, sin aspecto determinado y constituyendo el principal componente de la parte sólida de la corteza terrestre.

Es uno de los más antiguos materiales de construcción empleados por el hombre, el cual aprendió a trabajar y manejar la piedra natural como arma, como herramienta y como materia prima para la construcción de sus primeros refugios y monumentos. Muchos de estos objetos y construcciones primitivas se conservan hasta la fecha gracias a sus excepcionales características.

En términos generales, las rocas son agregados de minerales. Las principales excepciones son los cristales de roca y los carbones. El término no solo se refiere a los materiales coherentes y en estado consolidado, sino también a los materiales no consolidados ni cementados; por ejemplo, la arcilla, arena, arena gruesa y otros tipos menos conocidos.

Para entender su comportamiento estudiaremos a los minerales, que son los que constituyen a las rocas.

MINERALES

Son sustancias naturales inorgánicas generalmente cristalinas, cuyas composiciones químicas son fijas o variables dentro de unos límites previamente establecidos.

Los minerales presentan una gran diversidad de elementos, como se muestra en la siguiente relación:

ELEMENTOS NATIVOS

Oro	Au
Plata	Ag
Diamante	C
Grafito	C
Azufre	S

HALUROS

Halita	NaCl
Fluorita	CaF ₂

SULFUROS

Galeana	PbS
Calcopirita	CuFeS ₂
Pirita	FeS ₂

OXIDOS

Hematites	Fe_2O_3
Magnetita	Fe_3O_4

CARBONATOS

Calcita	$CaCO_3$
Dolomita	$CaMg(CO_3)_2$

SULFATOS

Yeso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Anhidrita	$CaSO_4$

SILICATOS

Cuarzo	SiO_2
Feldespatoides	
Leucita	$KAlSi_3O_8$
Nefelina	$NaAlSi_3O_8$
Feldespatos	
Ortoclasa	$KAlSi_3O_8$
Plagioclasas	
Albita	$NaAlSi_3O_8$
Anortita	$CaAl_2Si_2O_8$
Minerales de Arcilla	
Caolinita	$Al_2(OH)_4Si_2O_{10}$
Micas	
Biotita	$K_2Mg_3(Mg, Fe, Al)_3(Si, Al)_3O_{20}$
Moscovita	$KAl_2(OH)_2Si_3AlO_{10}$
Clorita	$(Mg, Fe, Al)_3(OH)_2(SiAl)_4O_{10}$
Piroxenos	
Augita	$Ca(Mg, Fe)Si_2O_6$
Enstatita	$(Mg, Fe)SiO_3$

Y otros silicatos de menor presencia en la naturaleza.

Casi todos los minerales presentan una estructura interna regular a escala atómica, es decir son cristalinos, lo que hace que muestren esa estructura externamente.

Los minerales pueden identificarse fácilmente por sus propiedades físicas o químicas, ya que sus variaciones se producen dentro de límites relativamente estrechos. De estas dos clases de propiedades, las que se determinan de forma más sencilla en campo o en gabinete son las físicas. Por lo que se requiere conocer las características siguientes:

- 1.- Color y raspadura
- 2.- Crucero y fractura
- 3.- Dureza
- 4.- Lustre
- 5.- Estructura

Otras propiedades físicas de menor importancia para la identificación de la mayor parte de los minerales son: la forma cristalina, el peso específico y el magnetismo. Además pueden ser útiles las asociaciones con otros minerales y el modo de presentarse.

MINERALES QUE FORMAN LAS ROCAS

Los químicos han reconocido más de noventa y dos elementos de estos sin embargo, solo hay ocho que entran en forma abundante en la composición de la porción externa del globo terráqueo, en efecto estos ocho elementos constituyen algo más del 98% de las partes de la tierra que pueden ser observadas. Dichos elementos en orden de abundancia son:

Oxígeno	(O)
Silicio	(Si)
Aluminio	(Al)
Hierro	(Fe)
Cálcio	(Ca)
Sodio	(Na)
Potasio	(K)
Magnesio	(Mg)

De todas las combinaciones posibles de estos ocho elementos, que pueden existir en la naturaleza, solo algunas que constituyen los minerales más comunes, forman la mayor parte de las rocas.

Son éstas combinaciones los llamados feldespatos (silicatos de K, Na y Ca con Al), el cuarzo (SiO_2), las micas (silicatos complejos de K, Fe, Mg, Al, con pequeñas cantidades de agua y algunas veces con otros elementos en sustitución de los mencionados), los anfíboles (silicatos hidratados complejos de Ca, Fe, Na, Al y Mg), los piroxenos (semejantes a los anfíboles, pero carentes de agua) y la olivina (Mg, Fe, Si y O).

Otros muy comunes, pero que forman menor porción de la corteza externa de la tierra son: la calcita (Ca, C y O) y la caolinita (Al, Si, O y agua). La calcita forma la parte más importante de las calizas, la caolinita predomina en las arcillas.

La tabla II.1 a continuación nos muestra las principales características de estos minerales, como color, raspadura, dureza, crucero, brillo y estructura, así como su composición química, presencia en la naturaleza y tipo de roca en que se encuentran.

Tabla II.1.- Minerales que forman las rocas

MINERAL	PRESENCIA EN LA NAT.	EN ROCA IGNEA	EN ROCA SEDI-MEN.	EN ROCA META-MOR.	CO-LOR	RASPA-DURA	DU-REZA	CRU-CE RO	BRI-LLO	ES-TRUC-TURA
Feldespatos Ortoclasa Plagioclasa	Abund. Asoc. c/otro mineral	Si Si	Si rara vez	Si Si	1 c/2 1 con 3	clara o in- colora	6	2 di- rec a 90°	de A a B	I ó II
Cuarzo	Abund. en vetas	Si abun- da	Si	Si	inco- loro 1,2 ó 3	clara	7	no mues- tra	A	III
Micas Moscovita Biotita	± Abund.	Si Si	Si rara vez	Si Si	1 ó inco- loro 5	clara clara	2½ a 3 3	lam. elás- tica	B B	IV IV
Anfiboles Hornablenda	± Abund.	Si abun- da	rara vez	Si	de 4 a 5	clara	5 a 6	2 pl 124°	C	V
Piroxenos Augita	Regu- lar	Si	No co- mún.	No co- mún.	de 4 a 5		5 a 6	2 pl 90°	A a C	VI
Olivina	Regu- lar	Si (con cuar- zo)	no	rara- vez	4	clara	6½ a 7	in- dis- tin- to	A	VI
Calcita Dolomita	Regu- lar	No	Si	Si (mar- mol)	inco- loro 1 ó 3	clara	3 3½ a 4	3 pl 74°	A	VII
Caolinita (Arcilla)	De origen Feldes- patos	No	No	Si	de 1 a 3	clara	1 a 2½	in- dis- tin- to	D	VI
Oxidos de Hierro	Pigmen- ta a las rocas	No	Si	Si	6,7, 8	roja, amari- lla	5½ a 6		de E a F	VIII

COLORES: 1=blanco, 2=rosa, 3=gris, 4=verde, 5=negro, 6=rojo, 7=amarillo y 8=pardo
BRILLO: A=vitreo, B=perlado, C=sedoso, D=terroso, E=semimetálico, F=mate
ESTRUCTURA: I=tabular, II=plana, III=prismas hexagonal, IV=laminar, V=prisma
alargado, VI=granular, VII=romboedro, VIII=escamosa y fibrosa

CLASIFICACION GENERAL DE LAS ROCAS

Las propiedades de las rocas, su estructura, sus modos de existir y su forma actual, dependen del medio en que se han originado y de los factores del ambiente que les han afectado posteriormente.

ROCAS IGNEAS

Así las rocas que se han solidificado a partir de una solución fundida se llaman rocas ígneas. Las rocas ígneas se han formado bajo la superficie de la tierra a profundidades desconocidas. Se han formado y se siguen formando en la actualidad, mediante la consolidación de lavas expulsadas sobre la superficie de la tierra. Una vez que las rocas ígneas aparecen, ya sea a través de una erupción volcánica o por el desgaste de los materiales que las cubrían, quedan sometidas a un medio totalmente distinto de aquel en que se formaron. En la superficie o cerca de ella, sufren el ataque de agentes superficiales como el agua, el oxígeno, el anhídrido carbónico y los cambios de temperatura. Las rocas más duraderas acaban por sucumbir al ataque de estos agentes. El proceso colectivo de desintegración y descomposición de las rocas, se llama intemperización.

ROCAS SEDIMENTARIAS

Cuando las rocas, a causa de la intemperización, se han reducido a un material suelto, quedan expuestas a su movilización por el viento, el agua, el hielo o los organismos vivos. Si son movilizados tienen que llegar a depositarse de nuevo, dando origen a las rocas sedimentarias. Durante la intemperización, algunas porciones son transportadas en solución y pueden dar origen más tarde a precipitados formando sedimentos, vetas, cementaciones de materiales fragmentados o permanecer en solución, como ocurre con las sales de mar.

ROCAS METAMORFICAS

Después de haberse formado a partir de soluciones fundidas o a través de un proceso de sedimentación, puede actuar sobre la roca un nuevo medio de calor, presión o ambos, determinándose transformaciones acordes con el cambio de esos agentes. Las rocas así alteradas y modificadas con respecto a su forma original ígnea o sedimentaria, se llaman rocas METAMORFICAS.

USOS DE LAS ROCAS

Además de servir como base natural sobre la que descansan todas las obras de ingeniería, las rocas se usan como material estructural de muchos modos:

PIEDRA LABRADA

Se usa como material de construcción cortada en bloques, tanto para fines de interior como de exterior. Entre sus usos en el interior figuran las losas para pisos, los escalones, las balaustras, artesonados, chimeneas, campanas y hogares de chimeneas, zócalos y otras aplicaciones. Entre los usos en el exterior figuran: muros de edificios, puentes, presas, muros de contención, defensas contra el mar, muelles y otras estructuras para las que se desee resistencia, duración y efecto arquitectónico.

La piedra para construcción se clasifica en: sillares o piedra labrada, bloques regulares con la superficie sin labrar, mampuestos y ripio o cascote. Los sillares tienen la forma determinada por las especificaciones de cada caso. Los bloques sin labrar son en general más pequeños que los sillares y no tienen su forma tan bien definida. Los mampuestos son bloques de diferentes tamaños y formas, mientras que el ripio o cascote es una piedra irregular que solo tiene una cara buena.

ROCA TRITURADA

Ese tipo de utilización se presenta en la construcción de carreteras y aeropuertos, como material de base y superficie, así como en la fabricación del concreto. Las principales propiedades que se deben tomar en cuenta al elegir una roca triturada son: su calidad, su probable duración y su resistencia al desgaste.

MATERIA PRIMA

La roca se utiliza también como materia prima para la fabricación de ladrillos, tejas, cemento, yeso, pinturas, lana mineral, gránulos para techar, etc.

Esta utilidad dependerá de las características y propiedades físicas de la roca que se emplee, las cuales se analizarán a continuación.

PROPIEDADES FISICAS DE LAS ROCAS

Las propiedades de las rocas se pueden determinar, en general, fácilmente en el laboratorio. El uso específico que se desee dar a una roca determinará cuales son las características que mas interesan y por tanto las pruebas que deben hacerse. A continuación se describen las propiedades físicas relacionadas mas directamente con la calidad de las rocas desde el punto de vista de la ingeniería civil.

La resistencia a la compresión, a la flexión, al esfuerzo cortante, al impacto o al desgaste son propiedades que dependen en gran parte de la textura de la roca y de la naturaleza de la liga entre las partículas minerales individuales que forman la roca. También la composición mineral, tiene influencia importante sobre éstas propiedades. Otro factor que debe mencionarse igualmente, es la estructura de los ejemplares de roca que se someten al análisis.

Muchas rocas, si no la mayoría de ellas, presentan planos estructurales que dan lugar a diferencias en los resultados de las determinaciones, según la orientación de los bloques sometidos a estudio. Al registrar los resultados de las pruebas mecánicas, debe seguirse la práctica general de consignar al mismo tiempo la posición estructural de los ejemplares sometidos a estudio.

En consecuencia, en las piedras de base, especialmente en las posiciones en que las cargas son mayores, parece ser buena práctica procurar que la dirección de mas fácil rotura, los planos de sedimentación o los planos de foliación se coloquen perpendicularmente a la máxima presión.

RESISTENCIA A LA COMPRESION

La resistencia a la compresión de las rocas consolidadas de buena calidad, no merece tomarse en cuenta, o realizar una prueba para constatarla. Todas las rocas de buena calidad tiene una resistencia a la compresión muy superior a cualquier carga de trabajo o de diseño. La mayor parte de dichas rocas, tienen una resistencia a la compresión de mas de 1000 Kg/cm², y en el caso de las rocas cristalinas (ígneas y metamórficas) puede llegar a mas de 4000 Kg/cm². En la tabla II.2 se exponen algunos ejemplos de rocas, con sus resistencias relativas a la compresión.

Es importante notar que esta prueba adquiere importancia cuando se trata de algunos tipos de sedimentos que no están completamente consolidados o endurecidos.

Tabla II.2 Resistencia a la Compresión

MATERIAL.	RESISTENCIA A COMPRESION KG/CM ²
Granito	351.5 - 4218.0
Mármol	562.4 - 1898.1
Caliza	182.8 - 1968.4
Arenisca	351.5 - 1406
Guarcita	1124.8 - 3163.5
Ladrillo	70.3 - 1406.0

RESISTENCIA LA FLEXION

La resistencia a la flexión o al encorvamiento, se mide expresándola por el módulo de ruptura, calculado por la fórmula:

$$R = \frac{3WL}{2bt^2} \quad [\text{Kg/cm}^2]$$

- W= carga de ruptura en el punto medio del claro [Kg]
 L= distancia entre los soportes [cm]
 b= anchura de la muestra [cm]
 t= espesor [cm]

Normalmente, en la ingeniería moderna, las piedras no suelen estar sujetas a elevadas cargas de flexión, no es frecuente determinar el módulo de ruptura. En la tabla II.3 se muestran los resultados comparativos de determinaciones del módulo de ruptura para diversas clases de rocas.

Tabla II.3 Resistencia a la Flexión

MATERIAL	RESISTENCIA A FLEXION KG/CM ²
Granito	97.0 - 390.2
Mármol	42.2 - 281.2
Caliza	35.2 - 140.6
Pizarra	421.8 - 1054.5
Arenisca	49.2 - 161.7

RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE

La resistencia al esfuerzo cortante de una piedra empleada en la construcción de grandes estructuras, puede tener importancia como resultado de una construcción defectuosa, que señala algunas veces la concentración de grandes cargas en los ángulos de los bloques. En la tabla II.4 se muestran resistencias comparativas de diferentes rocas al esfuerzo cortante.

Tabla II.4 Resistencia al Esfuerzo Cortante

MATERIAL	RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE Kg/cm ²
Granito	260.1 - 337.4
Pizarra	140.6 - 253.1
Mármol	91.4 - 456.9
Caliza	56.2 - 253.1
Arenisca	21.1 - 210.9

TENACIDAD Y RESISTENCIA AL DESGASTE

La tenacidad de una roca queda definida por su resistencia al impacto. Esta propiedad es particularmente importante cuando la roca ha de estar sometida a un gran esfuerzo de impacto. La tenacidad se prueba por medio de un aparato destinado a arrojar pesos desde distancias determinadas contra la muestra sometida a la prueba.

La tabla II.5 nos muestra algunos casos de rocas y su resistencia a el impacto.

Para hacer esta prueba se monta la muestra en forma fija sobre una base de hierro forjado; se coloca sobre la muestra una varilla o émbolo de acero, con el extremo inferior redondeado, y se deja caer sobre dicho émbolo un peso de 2 kg, por medio de un motor que mueve una cadena con engranaje. La altura de la primera caída es de 1 cm y cada caída sucesiva aumenta de altura en un centímetro mas.

Tabla II.5 Tenacidad

MATERIAL	VARIACION	PROMEDIO
Granito	7 - 28	13
Diorita	6 - 38	23
Basalto	2 - 40	20
Diabasa	6 - 50	19
Cuarcita	5 - 30	15
Arenisca	2 - 35	10
Mármol	2 - 23	7
Caliza	5 - 20	6
Pizarra	10 - 25	---

En algunos casos, es conveniente determinar la resistencia de un tipo de roca al desgaste. Hay varias maneras de cuantificar esta propiedad. El método de la Oficina Nacional de Normas se basa en la trituración de roca de 2" x 2" x 1", bajo una presión de 2 lb, sobre un disco triturador de hierro fundido, al que se le adiciona corindón artificial en proporción constante. La resistencia o dureza para el desgaste, se calcula con la fórmula:

$$H_2 = \frac{10(W_1 + 2000)G}{2000 W_2}$$

W_1 = Peso original del trozo de roca [Kg]

G = Peso específico

W_2 = Pérdida de peso después de la trituración [Kg]

En la siguiente tabla se exponen durezas para el desgaste de diferentes tipos de rocas.

Tabla II.6 Resistencia al Desgaste

MATERIAL	VALORES DE H_2
Granito	37 - 98
Mármol	8 - 42
Caliza	1 - 24
Arenisca	2 - 26
Pizarra	6 - 12

Otras propiedades de las rocas que tienen importancia en la ingeniería, y que para ciertas obras tienen una importancia fundamental son la densidad, la absorción, la porosidad y la permeabilidad, la resistencia al calor y la duración.

DENSIDAD

La densidad aparente de una roca se determina tomando el peso en seco de un trozo de roca y su peso sumergida en agua, después de una sumersión prolongada la densidad se calcula por la fórmula:

$$D_s = \frac{W_1 d}{W_2 - W_3} \text{ [Kg/m}^3\text{]}$$

W_1 = peso seco de la roca [Kg]

W_2 = peso en el aire después de una sumersión prolongada [Kg]

W_3 = peso de la roca sumergida en agua después de una sumersión prolongada [Kg]

d = densidad del agua [Kg/m³]

La densidad real de la roca se puede determinar mediante el uso del frasco de Le Chatelier o del picnómetro. Debido a la poca porosidad de la mayor parte de las rocas ígneas y metamórficas, la densidad aparente y la densidad real se diferencian poco y en tales casos, basta la determinación de la densidad aparente.

ABSORCION

La determinación de la absorción se hace sobre trozos de roca que se han desecado previamente y después se han sumergido en agua por diversos períodos. La absorción se calcula por medio de la fórmula:

$$A = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \text{ [\%]}$$

W_1 = peso seco [Kg]

W_2 = peso después de un período de sumersión [Kg]

La absorción de las rocas cristalinas (rocas cuyos granos minerales están firmemente unidos, como la mayor parte de las metamórficas y de las ígneas) es pequeña en general, y por tanto su resistencia a los efectos desintegradores de las heladas es relativamente alta. En la tabla posterior se dan algunos valores representativos de la absorción.

Tabla II.7 Absorción

MATERIAL	ABSORCION EN PESO %
Granito	0.07 - 0.30
Mármol	0.06 - 0.45
Pizarra	0.01 - 0.60
Guarcita	0.10 - 2.00
Arenisca	2.00 - 12.00
Ladrillo	0.20 - 30.00

POROSIDAD Y PERMEABILIDAD

Estas propiedades están íntimamente relacionadas, pues sin la existencia de algún tipo de espacios vacíos en el seno de la roca, no es posible que pasen los fluidos a través de ella. Sin embargo, es conveniente distinguir claramente ambas propiedades.

La porosidad de una roca es el porcentaje de su volumen total que corresponde a espacios vacíos. Esta propiedad no se encuentra directamente relacionada con la absorción, aunque es cierto que las rocas poco porosas tienen también una absorción baja. Las rocas ígneas, con excepción de algunos tipos, y las rocas metamórficas, muestran una porosidad muy baja. Muchas rocas sedimentarias poseen gran porosidad y en algunas de ellas los espacios vacíos pueden ocupar hasta el 50 o 75% del volumen total. La porosidad de las rocas consolidadas puede calcularse a partir de la densidad real por medio de la fórmula:

$$P = \frac{(D_s - D_b)}{D_s} \times 100 \text{ [\%]}$$

D_s = densidad real
 D_b = densidad aparente

En la tabla II.8 se muestran algunos valores de la porosidad para ciertas rocas.

La permeabilidad de las rocas tiene gran importancia en un cierto número de problemas de ingeniería; por ejemplo en los que se refieren a la cimentación de las presas, áreas de vasos de almacenamiento, algunos casos de ingeniería sanitaria y la construcción de muros y estructuras en las que la transmisión de agua es cuestión fundamental.

La permeabilidad es la capacidad de una sustancia para transmitir un fluido. Como se ha dicho antes, debe distinguirse de la porosidad, ya que una roca puede tener gran porosidad y sin embargo, por estar aislados sus espacios vacíos o tener conexiones de poco tamaño, ser muy baja su capacidad de transmisión. La mayor parte de las rocas ígneas y metamórficas son relativamente impermeables, así como las sedimentarias de textura muy fina.

Tabla II.8 Porosidad

MATERIAL	POROSIDAD %
Granito	0.4 - 3.84
Mármol	0.4 - 21.0
Pizarra	0.1 - 1.7
Cuarcita	1.5 - 2.9
Arenisca	1.9 - 27.3
Caliza	1.1 - 31.0

RESISTENCIA AL CALOR

La mayor parte de las rocas son seriamente dañadas por el fuego, si la temperatura llega a unos 850°C. Según pruebas realizadas por W.E. McCourt, las areniscas son las rocas que sufren el menor daño, seguidas en orden decreciente por los granitos de textura fina, la caliza, los granitos de textura gruesa, el gneis y el mármol. Las calizas y los mármoles empiezan a calcinarse entre los 600 y los 800°C y son destruidos cuando la temperatura pasa de 900°C. Se ha observado con frecuencia que el efecto de una corriente de agua sobre la roca caliente acentúa los daños del fuego.

CAPITULO III

PRUEBAS GENERALES A LAS ROCAS

PRUEBA Nº 1: PESO VOLUMETRICO
PRUEBA Nº 2: ABSORCION

CAPITULO III PRUEBAS GENERALES A LAS ROCAS

PRUEBA No 1: PESO VOLUMETRICO

MARCO TEORICO

El peso volumétrico de una roca, se define como el peso necesario de material que llenaría cierto recipiente de volumen unitario. Se utiliza para convertir cantidades en peso a cantidades en volumen y viceversa.

Prácticamente el peso volumétrico es la relación que existe entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo y se expresa en kilogramos por metro cúbico.

Existen dos valores para esta relación, dependiendo del sistema de acomodamiento o empaque que se le haya dado al material inmediatamente antes de la prueba, y son:

1.- **Peso Volumétrico Suelto.** Se utiliza generalmente para la conversión de peso a volumen (necesario para dosificar material por volúmenes). Es decir, para conocer el consumo de material, comúnmente agregados, por cada metro cúbico de concreto.

2.- **Peso Volumétrico Varillado.** Este valor se emplea normalmente para conocer los volúmenes de materiales apilados o almacenados, que están sujetos a acomodamiento o asentamiento provocado por el tránsito sobre ellos, o por acción del tiempo.

En cualquier caso el valor del peso volumétrico siempre se determinará con material secado a la intemperie. La utilidad de uno y otro dependerá de las condiciones de manejo a que se sujeten los materiales en cada caso y del tipo de obra o trabajo que se pretenda efectuar. El cálculo del peso volumétrico está dado por:

$$K = \frac{P - p}{V} \times 1000 \quad [Kg/m^3]$$

Donde:

P = Peso propio del material mas el peso del recipiente en Kg.
p = Peso del recipiente en Kg
V = Volumen medido del material en lt

La medida del recipiente deberá ser aproximadamente cúbica o cilíndrica de altura igual al diámetro. Según el tamaño máximo del material o agregado la capacidad del recipiente será como se indica en la tabla III.1. Cuando se calcula el peso volumétrico varillado y el tamaño máximo del material o agregado este entre 3" y 6" (76.2 y 152.4 mm) será necesario acomodar el material en dos capas y compactarlo sacudiendo con fuertes movimientos (diez a doce) entre cada una de ellas.

Tabla III.1 Capacidad del recipiente para prueba de Pv.

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO		CAPACIDAD DEL RECIPIENTE	
mm	pulgadas	lt	pies ³
12.7	$\frac{1}{2}$	2.83	0.10
38.1	$1\frac{1}{2}$	14.16	0.50
101.6	4	28.32	1.00
152.4	6	85.53	3.02

OBJETIVO

Determinar el peso volumétrico suelto de una roca fragmentada (en este caso puede ser grava), así como su peso volumétrico varillado.

MATERIAL

- Muestra de grava secada al aire con Tamaño Máximo de $\frac{1}{2}$ ".

EQUIPO

- Báscula de 25 kg. de capacidad
- Cucharón
- Pala
- Recipiente cilíndrico de metal de 15.33 cm de diámetro X 15.33 cm de altura con capacidad de 2.83 lt.
- Varilla de 16 mm (5/8") con punta de casquete esférico de 60 cm de longitud
- Enrazador
- Charola

DESARROLLO

Determinación del peso volumétrico suelto de la grava

- 1.- Se pone la grava en el recipiente de medida, dejándola caer de manera uniforme hasta llenarlo totalmente.
- 2.- Se enraza el material pasando el enrazador por el borde del recipiente y tratando de que el material no sobresalga del mismo.
- 3.- Los espacios que queden vacíos se llenaran a mano acomodando grava en ellos, pero sin ejercer ninguna presión.
- 4.- Se pesa la medida con el contenido de grava, registrando el peso obtenido.
- 5.- Se vacía el molde y se obtiene su peso.
- 6.- Se calcula el peso volumétrico con la ecuación dada anteriormente en el marco teórico.

Determinación del peso volumétrico varillado de la grava

- 7.- Se pone en el recipiente la grava dejándola caer libremente hasta llenar $1/3$ del total y se golpea con la varilla 25 veces, de tal forma que se acomode teniendo cuidado de no fracturar la grava.
- 8.- Se repite el paso 7 para formar una segunda capa, cuidando de que al golpear con la varilla no se llegue a la capa anterior. Y se repite nuevamente de tal manera que se llene el recipiente en su totalidad con tres capas.
- 9.- Se repiten los pasos 2, 3, 4, 5 y 6.

PRUEBA Nº 2: ABSORCION

MARCO TEORICO

Se da el nombre de absorción a la cantidad de agua retenida por un material, después de estar sumergido durante 24 horas y se expresa como porcentaje del peso seco de dicho material.

La absorción de un material, se determina midiendo el incremento en peso de una muestra secada al horno después de sumergirla como se ha dicho anteriormente y habiéndola secado superficialmente. Cabe señalar entonces que tendremos dos estados del material: Saturado y Superficialmente Seco (SSS) y estado Seco (a peso constante).

Una grava generalmente, tiene una mayor absorción que la roca triturada de mismo carácter petrológico, esto se debe a que el intemperismo al que está expuesta una grava produce en ella una capa exterior mas porosa y absorbente.

Para calcular la absorción de un material se emplea la fórmula siguiente:

$$Pa = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \times 100 [\%]$$

Donde:

W_{sss} = Peso de la muestra saturada y superficialmente seca

W_s = Peso de la muestra seca a peso constante

OBJETIVO

Determinar la absorcion de un material (en este caso de la grava), en el laboratorio.

MATERIAL

- 2 Kg de grava separada por cuarteo
- Agua suficiente para sumergir la grava

EQUIPO

- Balanza de torsión de 1Kg de cap. y 0.1 grms. de sensibilidad
- Horno o parrilla
- Charola de lámina galvanizada
- Franela o papel

DESARROLLO

- 1.- Se sumerge la muestra en agua, dentro de la charola por un lapso de 24 horas.
- 2.- Transcurrido este tiempo, se toma la muestra y se seca superficialmente con la franela o con toallas de papel, a fin de quitar el exceso de agua y que desaparezca el brillo debido a ella, evitando la evaporación del agua que se encuentra en los poros.
- 3.- Ahora la grava se encuentra en estado saturado y superficialmente seco (SSS), se pesa exáctamente 1 kg y se registra.
- 4.- Se seca el material en horno de 100 a 110°C ó en parrilla, repetidas veces, registrando su peso cuando el material este frío, hasta obtener un peso constante.
- 5.- Una vez registrado el peso del material seco, hace el cálculo de la absorción con la fórmula indicada anteriormente.

CAPITULO IV
LOS AGREGADOS

CAPITULO IV LOS AGREGADOS

Generalmente los aglomerantes se utilizan combinados con materiales inertes a los cuales se les designa agregados. Estos pueden ser finos o gruesos, los primeros constituyen las arenas y los segundos comprenden: confitillo, grava y matatena. Los agregados tienen una gran importancia en las mezclas donde intervienen, ya que sus características físicas, químicas y mecánicas, influyen en los resultados que se esperan de dicha mezcla.

El agregado es mas barato que el cemento y por tanto un concreto resulta mas económico si se le pone el máximo de agregado y el mínimo posible de cemento, pero esta economía nos es la única razón por la que se utiliza este material; el agregado confiere considerables ventajas al concreto, el cual tiene mayor estabilidad de volumen y mejor durabilidad que la pasta de cemento sola.

El tamaño del agregado varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros en sección transversal, en la tabla IV.1 veremos los índices para clasificar los agregados de acuerdo a su tamaño.

Tabla IV.1 Clasificación de Agregados

DENOMINACION	TAMAÑOS	
	DESDE	HASTA
Arenas	0.02 mm	6 mm ($\frac{1}{4}$ ")
Confitillo	6 mm ($\frac{1}{4}$ ")	38 mm ($1\frac{1}{2}$ ")
Grava	38 mm ($1\frac{1}{2}$ ")	89 mm ($3\frac{1}{2}$ ")
Matatena	89 mm ($3\frac{1}{2}$ ")	152 mm (6")

ARENAS

Están constituidas por granos sueltos, incoherentes y de estructura cristalina, que provienen de la disgregación de las rocas naturales por procesos mecánicos o químicos y que, arrastrados por corrientes aéreas o fluviales, se acumulan en lugares determinados. Artificialmente se obtienen por molienda o trituración de las rocas duras. De acuerdo a su origen pueden ser: Sílicas o cuarzosas, calizas, graníticas y arcillosas. Según su dureza y estabilidad química las primeras son las mejores, las segundas si provienen de calizas duras son buenas, las terceras sólo deberán usarse si contienen bastante cuarzo y las últimas se usarán únicamente cuando la cantidad de arcilla sea menor al 3% .

De acuerdo con su procedencia o localización, se denominan: Arenas de río, son generalmente de partículas redondeadas y a veces contienen arcilla o impurezas; arenas de mina, son las depositadas en el interior de la tierra, generalmente formadas por granos angulosos y pueden contener arcilla o material orgánico que les dan coloraciones azul, pardo o rosa (En el D.F. contamos con grandes mantos de arenas de este tipo localizadas en el perímetro de la ciudad); las arenas de playa o duna requieren un lavado con agua dulce y que sus granos sean de tamaño apropiado para emplearlas en la construcción; y las arenas artificiales son de granos angulosos y superficies rugosas, debido al cribado están exentas de polvo se usan satisfactoriamente cuando provienen de roca dura y no tienen aristas muy marcadas.

Las arenas de acuerdo con el tamaño de sus granos se clasifican en gruesas, son las que pasan la malla de 5mm y se retienen en la de 2 mm de abertura; medianas si pasan la malla de 2 mm y se retienen en la de 0.5 mm de abertura; y finas las que pasan la malla de 0.5 mm y se retienen en la de 0.02 mm.

AGREGADOS GRUESOS

Por agregado grueso se comprende a todo aquel material que no es menor a 5 mm. El tamaño de estos agregados es diverso, varía dependiendo del tipo de obra, se emplean comúnmente gravas de $\frac{1}{2}$ " a $1\frac{1}{2}$ " para concretos normales, en concretos en masa o ciclópeos se emplean agregados con tamaños de 2" a 4". En concretos armados el tamaño esta obligado por la separación del refuerzo, se exige que el tamaño máximo de agregado sea menor por $\frac{1}{4}$ " a la separación mínima entre refuerzos o entre el refuerzo externo y la cimbra.

Todas las partículas de agregado proceden de una masa mayor, que puede haberse fragmentado por procesos naturales de intemperismo y abrasión o mediante la trituración artificial. Por lo tanto muchas de las propiedades del agregado dependen de las propiedades de la roca original, tal es el caso de las propiedades químicas, la composición mineral, descripción petrográfica, densidad, dureza, resistencia, estabilidad física, porosidad, color, etc. Por otra parte algunas de las propiedades que corresponden al agregado pero no a la roca original son: forma y tamaño de la partícula, textura superficial y absorción. Estas diversas propiedades, tienen influencia en el concreto fresco y endurecido, por lo cual es importante conocerlas y así clasificar un buen agregado, en los términos de que será aquel que produzca un buen concreto. Cuando las características del agregado son satisfactorias se produce buen concreto, en algunos casos, la deficiencia en alguna propiedad no fundamental, puede dar un buen concreto, pero el agregado que muestra deficiencias en mas de una propiedad probablemente no producirá un buen concreto.

En las dosificaciones de mezclas el constructor debe asegurarse de las condiciones de los agregados, con la finalidad de que cumplan con las necesidades. Para esto conviene saber que las características mas determinantes son:

Densidad
 Peso Especifico
 Peso Volumétrico
 Absorción
 Porosidad
 Contenido de Humedad
 Granulometría
 Contenido de finos
 Contenido de impurezas
 Contenido de sales
 Forma y Textura
 Adherencia y Resistencia

DENSIDAD

La densidad de un cuerpo es su masa por unidad de volumen, pero debido a que los agregados contienen poros permeables e impermeables, se hablaría de densidad absoluta refiriéndose al volumen del material que excluye todos los poros, densidad aparente sería si el volumen del material se mide incluyendo los poros impermeables, pero no los capilares.

$$\text{Densidad Absoluta } \rho = \frac{M}{V_{ab}} = [\text{Kg}/\text{m}^3]$$

M = masa [Kg]

V_{ab} = volumen absoluto [m³]

La densidad relativa o aparente, se mide con la relación del peso del agregado seco respecto al peso del agua que ocupa el mismo volumen con todos los poros impermeables, es entonces la comparación de la densidad absoluta de un material con respecto de la densidad absoluta del agua (por ser un material homogéneo).

$$\text{Densidad Relativa } d = \frac{\rho_{ab}}{\rho_{1q1}}$$

La densidad del agregado se usa para dosificaciones, pero el valor real de la densidad de un agregado no mide su calidad, por este motivo no es primordial su determinación, a menos que se este trabajando con un material de carácter petrológico conocido, en el cual una variación de densidad sería reflejo de la porosidad; o en el caso de construcciones masivas, como una presa donde un peso específico mínimo del concreto es esencial para la estabilidad de la estructura. La tabla IV.2 muestra algunas densidades de rocas.

Tabla IV.2 Densidades aparentes de grupos de rocas

GRUPO DE ROCA	DENSIDAD PROMEDIO	VARIACION
Basalto	2.80	2.6-3.0
Pedernal	2.54	2.4-2.6
Granito	2.69	2.6-3.0
Arenisca	2.69	2.6-2.9
Hornofelsa	2.82	2.7-3.0
Caliza	2.66	2.5-2.8
Pórfido	2.73	2.6-2.9
Cuarzita	2.62	2.6-2.7

PESO ESPECIFICO Y PESO VOLUMETRICO

El peso específico de un cuerpo es su peso por unidad de volumen, al igual que la densidad el peso específico puede ser absoluto cuando se relaciona con el volumen absoluto, o relativo cuando se compara con el peso específico del agua.

$$\text{Peso específico absoluto } \gamma = \frac{P}{V_{ab}}$$

$$\text{Peso específico relativo } p_r = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{agua}}}$$

Se ha admitido (arbitrariamente) en todos los cuerpos; que la masa es igual al peso, adoptando el mismo patrón de medida para ambos, es decir que las relaciones de masa a densidad absoluta y peso a peso específico absoluto son iguales y constantes para un material dado y en cualquier punto de la tierra si la masa se mide en las mismas unidades que el peso del cuerpo.

El peso específico de los agregados tiene importancia directa cuando las condiciones estructurales o propias de un proyecto exigen que el concreto tenga un peso mínimo o máximo. Cuando conviene la ligereza se emplean agregados naturales o artificiales de bajo peso específico. Este es pues, un índice útil y rápido de la aptitud de un agregado: un valor bajo indica que se trata de materiales porosos, débiles y absorbentes; y valores altos indican calidad, aunque es necesario confirmar esto con otros medios.

El peso volumétrico se aplica a materiales heterogéneos o discontinuos, como concreto, arena, grava, etc. y nos determina el peso medio por unidad de volumen de los materiales que integran un conjunto estructural. Generalmente este peso se utiliza para convertir cantidades en peso a cantidades en volumen y viceversa.

$$\text{Peso volumétrico} = W = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} \quad [\text{Kg/m}^3]$$

El peso volumétrico depende de el grado de compactación (existencia de huecos o vacíos) de un material, así como de el tamaño, la distribución y la forma de las partículas que componen una mezcla o material. Por ejemplo si se usan partículas esféricas, todas del mismo tamaño, en un empaque máximo el peso volumétrico será 0.74 del peso específico del material, y en el caso de empaque mínimo el peso volumétrico será de 0.52 del peso específico del cuerpo.

Para fines de pruebas, el grado de compactación debe ser especificado, según normas, puede ser suelto o compactado y esto determinará un valor del peso volumétrico, ya sea suelto o compactado.

Si tomamos varias muestras de un material determinado y preparamos cubos de volumen unidad y los pesamos, encontraremos diferentes pesos volumétricos, debido a que cada cubo tendrá mas o menos huecos o vacíos:

$$\begin{aligned} W_1 &= P_1/V \\ W_2 &= P_2/V \\ W_3 &= P_3/V \\ W_4 &= P_4/V \end{aligned}$$

$$W_1 \neq W_2 \neq W_3 \neq W_4$$

Entonces debemos tomar para calcular el peso volumétrico el peso medio:

$$W = \frac{(P_1 + P_2 + P_3 + P_4)/4}{\text{Volumen}} = \frac{P_m}{V} \quad [\text{Kg/m}^3]$$

Conocer el peso específico y peso volumétrico de los agregados es estar en condición de valorizar la compacidad del conjunto que se utilizará en la elaboración de una mezcla, ya que a mayor peso volumétrico y peso específico constante se tiene menor porcentaje de vacíos, con lo cual se utiliza menor cantidad de aglomerante, para un concreto o mortero de resistencia dada.

De lo anterior se concluye que la determinación de dichas propiedades de los agregados es una condición para seleccionar adecuadamente el que ha de utilizarse en la dosificación de una mezcla.

Si se conoce la densidad aparente del agregado para una condición de saturado y superficialmente seco, ρ , la relación de huecos puede calcularse de la forma siguiente:

$$\text{Relación de Vacíos} = 1 - \left(\frac{P_v}{\rho \times P_u} \right)$$

Donde:

P_v = peso volumétrico

P_u = peso unitario del agua

A continuación se ilustran algunos valores de las propiedades mencionadas para diferentes agregados.

Tabla IV.3 Porcentaje de Vacíos para Agregados Gruesos

AGREGADO	TAMAÑO (")	P_e	P_v	VACIOS (%)	COMPA- CIDAD
Cuarzo	$\frac{1}{2}$	2.67	1490	0.44	0.56
Cuarzo	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	2.67	1380	0.48	0.52
Granito	$\frac{1}{2}$	2.62	1520	0.42	0.58
Granito	$\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$	2.62	1390	0.47	0.53
Granito	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	2.62	1420	0.46	0.54
Granito	$\frac{1}{2}$ a 2	2.62	1560	0.40	0.60
Granito	1 a polvo	2.58	1530	0.40	0.60
Caliza	1 a polvo	2.49	1540	0.38	0.62
Bazáltico	$\frac{1}{2}$	2.90	1570	0.46	0.54
Bazáltico	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	2.90	1440	0.50	0.50
Bazáltico	$1\frac{1}{2}$ a 3	2.90	1490	0.48	0.52

POROSIDAD

La presencia de poros internos en las partículas del agregado, como se mencionó al hablar de la densidad, resulta muy importante para el estudio de sus propiedades. Ya que la porosidad, absorción y permeabilidad del agregado influyen en las características de una mezcla, tales como adherencia con el cemento, resistencia al congelamiento y deshielo, estabilidad química y resistencia a la abrasión.

Los poros del agregado varían mucho en tamaño, los mas grandes pueden ser vistos a simple vista o al microscopio, generalmente los poros mas pequeños del agregado son mayores que los del gel de la pasta de cemento, los poros mas pequeños de 4 μm son de especial interés pues se cree que afectan la durabilidad de los agregados sujetos a congelamiento y deshielo progresivos.

Algunos de los poros del agregado están totalmente dentro de la partícula, otros se abren a la superficie. La pasta de cemento por su viscosidad no puede penetrar muy profundamente, mas que en los poros mas grandes, de modo que el volumen bruto de la partícula se considera sólido a fin de calcular el contenido de agregado de un concreto. Sin embargo el agua puede entrar en los poros y la cantidad de agua y la proporción de penetración dependen de el tamaño de los poros, de su continuidad y de su volumen total. Dado que el agregado representa el 75% aproximadamente del volumen de un concreto, resulta claro que la porosidad del agregado contribuye a la porosidad total de un concreto.

Algunos valores del grado de porosidad se muestran en la tabla:

Tabla IV.4 Porosidad de algunas rocas

GRUPO DE LA ROCA	POROSIDAD (%)
Arenisca	0.0 - 48.0
Cuarzita	1.9 - 15.1
Caliza	0.0 - 37.6
Granito	0.4 - 3.8

Cuando todos los poros del agregado están llenos de agua, se dice que está saturado y superficialmente seco. Cuando en laboratorio se deja expuesto al aire pierde por evaporación un poco del agua contenida en los poros y se tendrá una condición de secado al aire. Un secado prolongado en horno reduce el agua contenida en los poros hasta cero, en cuyo caso tendremos un agregado completamente seco.

ABSORCION Y CONTENIDO DE HUMEDAD

La absorción mide la cantidad de agua que es capaz de absorber un material, expresada como porcentaje del peso del material seco y depende directamente de la porosidad y la intercomunicación de los poros de dicho material.

La determinación de la absorción en los agregados es de muy importante, ya que ayuda a fijar la cantidad de agua en la dosificación de mezclas, debido a que además de el agua necesaria para la hidratación de los aglomerantes hay que adicionar la que absorberán los agregados, de lo contrario, faltaría agua para las reacciones de hidratación y fraguado.

El porcentaje de absorción esta dado por la fórmula:

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

P_h = Peso de la muestra saturada y superficialmente seca [Kg]

P_s = Peso de la muestra seca [Kg]

El porcentaje de absorción puede dar también un indicio de la estabilidad futura de concretos y morteros, ya que el agua confinada en los agregados puede provocar variaciones en sus volúmenes y ocasionar fracturas en elementos. Es decir que a menor porcentaje existe mayor seguridad, mejor control del agua de dosificación, menor ligereza y mayor resistencia.

Es importante conocer además de la capacidad de absorción, el contenido de humedad de los agregados, el cual se expresa como porcentaje del peso del agregado saturado y superficialmente seco y nos determina la cantidad de agua que tiene un agregado excedente al estado SSS ya mencionado. Es decir, el agua total que contiene un agregado es la suma de la absorción y el contenido de humedad.

El contenido de humedad varía con el estado del tiempo y con las condiciones de almacenamiento del material, el agregado expuesto a lluvia tendrá gran cantidad de humedad en las partes expuestas y el que se encuentre debajo tendrá menos, pero el que no esté en la superficie conservará la humedad por largos periodos. Esto sucede sobre todo en el agregado fino, en los agregados gruesos suele ser tan poca que no se toma en consideración. La cantidad de humedad se determina mediante la fórmula:

$$\% \text{ de Humedad Superficial} = \frac{(S - B) 100}{B}$$

S = Peso del agregado húmedo [Kg]

B = Peso del agregado saturado y superficialmente seco [Kg]

En la tabla siguiente se muestran valores típicos de absorción y contenido de humedad para diferentes materiales.

Tabla IV.5 Absorción y Contenido de Humedad de agregados

AGREGADO	FORMA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	ABSORCION (%)
Grava de río Valle Tamesis (19.0-4.8 mm)	Irregular	0.47-0.84	2.07-3.44
Arena de río Valle de Tamesis (4.8 mm-600 µm)	Irregular	0.50-0.30	3.15-1.70
Arena de río Valle de tamesis (600-75 µm)	Irregular	0.40-0.60	1.10-1.60
Arena de río valle de Tamesis II (4.8 mm-150 µm)	Irregular	0.80	1.80
Grava de río (19-4.8 mm)	Irregular	1.13-0.53	3.30-4.53
Grava de Bridport (19-4.8 mm)	Redondeada	0.40-0.50	0.93-1.17
Granito de Montsorrel (19-4.8 mm)	Angulosa	0.30-0.45	0.57-0.80
Caliza Triturada (19-4.8 mm)	Angulosa	0.15-0.20	0.50-0.73
Arena estándar de Leighton (850-600 µm)	Redonda	0.05	0.20

Nota: El contenido de humedad se determina en porcentaje del peso seco en agregado secado al aire. La absorción se determina como porcentaje del peso seco de un agregado saturado y superficialmente seco.

GRANULOMETRIA

La granulometría o análisis granulométrico es la operación de dividir una muestra de agregado en fracciones, cada una compuesta por partículas del mismo tamaño. En la práctica, cada fracción contiene partículas de diferentes tamaños dentro de ciertos límites, los cuales se determinan por las aberturas de los tamices experimentales estándar.

Los resultados de un análisis en tamiz se comprenden con mayor facilidad si se tabulan y se grafican, por esta razón se utilizan mucho las curvas de granulometría. Ya que de un solo vistazo se puede comprender que la granulometría de una muestra se apega a las especificaciones, si es demasiado fina o gruesa y si es deficiente en algún tamaño. En dichas gráficas, las ordenadas representan el porcentaje acumulado que pasa el tamiz y las abscisas las aberturas del tamiz, en escala logarítmica.

Algunas veces se utiliza un solo factor, que se calcula a partir del análisis en tamiz y se llama módulo de finura, el cual se define como la suma de los porcentajes acumulados retenidos en los tamices de la serie estándar: 150, 300, 600 μ m, 1.20, 2.40, 4.76 mm (N $^{\circ}$ 100, 52, 25, 14, 7, 3/16 pulg.) y hasta el máximo tamaño presente. El valor del módulo de finura es mayor a medida que el agregado es mas grueso, puede considerarse que es un tamaño promedio ponderado de un tamiz en el cual se retiene el material, contando los tamices desde el mas fino.

La granulometría de los agregados, es un factor principal en la trabajabilidad de un concreto, la cual a su vez, afecta las necesidades de agua y cemento, controla la segregación, tiene algunos efectos sobre el sangrado y en la colocación y el acabado del concreto. Todos estos factores son importantes para el concreto fresco y también afectan sus propiedades en estado endurecido, como son resistencia, contracción y durabilidad. Por lo tanto la granulometría tiene importancia vital en el proporcionamiento de las mezclas y se debe asegurar constancia y uniformidad en ella.

La tabla siguiente muestra los tamaños usuales de tamices para granulometría de agregados para concreto.

Tabla IV.6 Tamices Usuales

TAMAÑO DEL TAMIZ	50	37.5	20	10	5	2.36	1.18	600	300	150	75		
				MILIMETROS				MICRAS					
TAMAÑO SIST. INGLÉS	76.2	50.8	38.1	19.05	9.52	4.76	2.40	1.20	600	300	150	75	
				MILIMETROS				MICRAS					
DESIGNACION SIST. INGLÉS	3	2	1½	¾	¾	¾	¾	7	14	25	52	100	200.
				PULGADAS			TAMAÑO DEL TAMIZ						

PRUEBA DE POLVOS

El exceso de partículas finas o polvo en los agregados encarece las mezclas, las hace menos plásticas y altera la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento. Este material fino que pueden tener los agregados generalmente son arcillas, limos, polvo de trituración, etc. Y resulta necesario determinar y limitar su contenido en el proporcionamiento de mezclas, según normas tenemos que el total de estas partículas no debe ser mayor a:

- 15% en peso para piedra triturada
- 13% en peso para arena natural o grava triturada
- 1% en peso para el agregado grueso

En algunos casos (dependiendo del tipo de concreto), se estipulan otros límites: el material que pasa por la malla N^o200 se limita del 3% al 5% en peso para las arenas, y al 1% en peso para el agregado grueso.

El contenido de arcilla a veces se limita separadamente, al 1% del agregado fino y 0.25% en el agregado grueso.

De cualquier modo, si se exceden los límites de material fino, los agregados deberán someterse a procesos de lavado para su utilización y en algunos casos también a cribado, con el fin de librarlos de partículas finas.

PRUEBA COLORIMETRICA

Los agregados pueden poseer suficiente resistencia y dureza para soportar el desgaste, pero no darán resultados satisfactorios en un concreto si contienen impurezas orgánicas que interfieren en las reacciones químicas de hidratación, dando como consecuencia que no endurezcan debidamente.

Es mas frecuente encontrar sustancias producto de la descomposición vegetal en las arenas que en el agregado grueso y estas sustancias son principalmente las que contaminan el agregado. Para la determinación de estas impurezas se utiliza la prueba colorimétrica, que consiste en provocar una reacción con el agregado y determinar, mediante la coloración que adquiere, el contenido de sustancias orgánicas.

Es esta pues, una evaluación preliminar para conocer el agregado que habrá de utilizarse en una mezcla. Ya que el contenido de materia orgánica que indique la coloración, puede no ser dañina para el concreto o el agregado puede no tener materia orgánica pero sí algún mineral que contenga hierro, carbón o manganeso y deberse a ellos dicha coloración.

CONTENIDO DE SALES

Los agregados pueden estar contaminados además de otras sustancias por sales, las cuales perjudican a los concretos y morteros en su resistencia, duración, calidad y aspecto.

La cantidad de sales en los agregados se determina en laboratorio y es muy importante su obtención sobre todo en agregados que han sido expuestos a este tipo de contaminación o a los que se obtienen de playas o estuarios. Los porcentajes especificados como máximos para agregados marinos son del 1% del peso del cemento a utilizar y del 0.1% del peso del cemento en el caso de presforzados o cemento aluminoso.

En los casos en que el contenido de sales rebasa los límites o cuando de antemano se sabe que puede tenerse un agregado con gran contenido de sales, se recomienda utilizar procesos de lavado, ya que con esto se elimina o disminuye considerablemente.

FORMA Y TEXTURA

Además de las propiedades petrológicas, las características externas de un agregado son importantes, particularmente la forma y textura superficial, ya que influyen en la resistencia, adherencia y requerimientos de agua.

La forma puede definirse mediante la característica geométrica que mide el filo o angularidad de las aristas de los agregados y se le llama redondez. Según esta característica, tenemos:

Tabla IV.7 Clasificación de la forma de los agregados

CLASIF	DESCRIPCION
Redondeada	Totalmente desgastada por el agua o completamente limada por frotamiento. Ejem: grava de río o playa, arena de desierto, playa o acarreada por viento
Irregular	Irregularidad natural o parcialmente limada por frotamiento y con orillas redondeadas. Ejem: gravas y pedernales del suelo o excavación
Escamosa	Material en el cual el espesor es pequeño en relación a las otras dimensiones Ejem: Roca laminada
Angular	Orillas bien definidas con caras mas o menos planas. Ejem: Roca triturada
Elongadas	Material angular, su longitud es mucho mayor que las otras dimensiones
Escamosa y elong.	Material cuya longitud es considerablemente mayor que el ancho y este mucho mayor que el espesor

La clasificación de la textura superficial, se basa en el grado en que una partícula es pulida o mate, suave o áspera y su tipo de aspereza. La textura depende de la dureza, tamaño del grano, y la porosidad de la roca original, así como el grado en que se ha modificado la superficie del agregado por efectos externos. La determinación visual de la aspereza es muy confiable y para hacerla se toman en cuenta algunas normas como las que se indican en la tabla siguiente:

Tabla IV.8 Textura superficial de los agregados

GRUPO	TEXTURA SUPERFICIAL	CARACTERISTICAS
1	Vítrea	Fractura concoidal. Ejem: pedernal negro y escoria vítrea
2	Lisa	Desgastado por el agua o liso debido a fractura de roca laminada o de grano fino. Ejem: grava, horsteno, pizarra, mármol
3	Granular	Fractura que muestra granos mas o menos redondeados uniformemente. Ejem: arenisca
4	Aspera	Fractura áspera de roca con granos finos o medianos que contienen cristalinicos casi no visibles. Ejem: basalto, caliza y felsita
5	Cristalina	Contiene constituyentes cristalinicos no fácilmente visibles. Ejem: granito y gabro
6	Apanalada	Con poros y cavidades visibles. Ejem: ladrillo, pómez, clinker, arcilla expandida

Como se dijo la forma y la textura afectan la resistencia del concreto y a continuación se muestra la importancia relativa de las propiedades de los agregados que influyen en la resistencia a la flexión y compresión.

Tabla IV.9 Efecto de las propiedades del agregado

PROPIEDADES DEL CONCRETO	FORMA %	TEXTURA SUPERFICIAL %	MODULO DE ELASTICIDAD %
Resist. a flexión	31	26	43
Resist. a compresión	22	44	34

ADHERENCIA Y RESISTENCIA

La adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, es un factor importante en la resistencia de un concreto, especialmente la resistencia a la flexión. Generalmente la adherencia está determinada por la porosidad, aspereza, composición química y mineralógica del agregado.

La determinación de la calidad de adherencia de un agregado es bastante difícil, comúnmente se dice que una adherencia es buena, cuando después de demoler un concreto, se encuentran partes del agregado fracturadas, es decir que han seguido unidas a la pasta del cemento, en mayor porcentaje que aquellas que se encuentran desprendidas de la pasta de cemento. Debido a que la resistencia de la adherencia depende de la resistencia de la pasta conjuntamente con las propiedades del agregado, si la adherencia es adecuada no se producirán fallas y el concreto con la edad elevará su calidad.

La resistencia a compresión de un concreto, no puede ser mayor que la del agregado que contiene predominantemente, sin embargo es difícil comprobar la resistencia del agregado a la trituración aisladamente, debe hacerse siempre por métodos indirectos. Si se toman dos mezclas iguales de cemento de determinada resistencia y se prueban con diferentes agregados se verá claramente cual de ellos es más resistente y en particular si después de probarse a compresión, es muy alto el porcentaje de partículas del agregado que aparecen trituradas, será claro que dicho agregado solo deberá utilizarse en concretos de resistencia menor.

La resistencia inadecuada del agregado es un caso raro, porque las propiedades del agregado por lo general siempre serán satisfactorias, debido a que son tantas que la combinación de ellas será benéfica a la mezcla. Esto se comprueba comparando concretos hechos con diversos agregados, como se muestra en la tabla IV.10, en la cual se observa que la influencia del agregado es cualitativamente similar tanto a compresión como a tensión.

Tabla IV.10 Resistencia a compresión de Agregados para concreto

TIPO DE ROCA	Nº MUESTRAS	PROMEDIO (kg/cm ²)
Granito	278	1,842
Felsita	12	3,304
Arenisca	79	1,336
Caliza	241	1,617
Mármol	34	1,188
Cuarzita	26	2,566

CAPITULO V

PRUEBAS A LOS AGREGADOS

- PRUEBA N^o 3: DENSIDAD DE LOS AGREGADOS*
- PRUEBA N^o 4: HUMEDAD DE LOS AGREGADOS*
- PRUEBA N^o 5: GRANULOMETRIA DE LA GRAVA*
- PRUEBA N^o 6: GRANULOMETRIA DE LA ARENA*

CAPITULO V PRUEBAS A LOS AGREGADOS

PRUEBA Nº 3: DENSIDAD DE LOS AGREGADOS

MARCO TEORICO

Se le llama densidad relativa, a la relación entre el peso de un volumen determinado de material saturado y superficialmente seco, ya sea grava o arena en el caso de los agregados, y el peso del mismo volumen de agua destilada a 4°C de temperatura. En la práctica, comúnmente se puede utilizar agua potable a temperatura ambiente.

La determinación de la densidad de los agregados, dependerá de los medios con que se cuente y puede ser por: el método de campo y el método de gabinete o laboratorio. Básicamente se procede de la misma manera, pero en el primero, que puede utilizarse para grava y arena, se utiliza un bote vertedor y en el segundo, que se emplea generalmente para arena, se utiliza un frasco especial llamado de "le Chatelier".

El cálculo de el valor de la densidad está dado por la fórmula siguiente:

$$D = \frac{W_{sss}}{V}$$

Donde:

D = Densidad Relativa

W_{sss} = Peso del material saturado y superficialmente seco en Kg

V = Volumen de agua desalojado expresado en Kg (1 lt = 1 Kg)

OBJETIVO

Determinar la densidad relativa de una muestra de grava por el método de campo y también la de una muestra de arena, pero por el método de "Le Chatelier".

MATERIAL

- Muestra de Grava
- Muestra de Arena
- Agua potable o destilada

EQUIPO

Para la grava

- Báscula de 125 Kg de capacidad
- Bote vertedor de 15 ó 20 litros de capacidad o picnómetro
- Charola
- Cucharón
- Probeta graduada de 1000 ml
- Vasos de precipitado

Para la arena

- Balanza de torsión de 1 Kg. de capacidad y 0.1 g. de sensibilidad
- Frasco de "Le Chatelier"
- Brochuelo de cerdas
- Recipiente para la muestra (mortero)
- Placa de vidrio o material no absorbente
- Molde en forma de cono truncado de lámina galvanizada
- Franela o toallas de papel
- Pipeta para llenar el frasco de "Le Chatelier"

DESARROLLO

Método de campo para la grava

- 1.- Se pone la muestra en la charola y se deja sumergida en agua por 24 horas.
- 2.- Se afora el bote vertedor o picnómetro con agua potable o destilada.
- 3.- Se seca superficialmente la grava con un paño o franela, evitando que se evapore el agua de los poros, a fin de tener la grava en estado saturado y superficialmente seco y se pesan 5 Kg. de la muestra. En el caso de utilizarse un picnómetro se pesará solamente 1 Kg. de la muestra
- 4.- Se vierte el material poco a poco sin salpicar para no perder líquido y evitar que se arrastre aire.
- 5.- El volumen de agua desalojado, que se captará en los vasos deberá medirse cuidadosamente cuando se termine totalmente el escurrimiento.
- 6.- Se calcula la densidad de la grava con la ecuación dada en el marco teórico.

Método de gabinete para arena

- 7.- Se pone la muestra en la charola y se deja sumergida en agua por 24 horas.
- 8.- Se afora el frasco de "Le Chatelier" haciendo coincidir el menisco inferior en la marca del cero.
- 9.- Se seca el interior del cuello del frasco.
- 10.- Se toma la muestra que se dejó sumergida en agua y se escurre el agua sobrante.
- 11.- Se extiende sobre la placa de vidrio y se remueve frecuentemente hasta que pierda sólo el agua superficial.
- 12.- Se llena el molde de cono, se compacta suavemente con el pizón dando 25 golpes y se enraza el borde del molde.
- 13.- Se levanta el molde y se observa el comportamiento de la arena moldeada, si al quitar el molde la arena muestra una superficie plana en la base superior, se deberá repetir del paso 11 al 12 hasta que al quitar el molde, se forme perfectamente el cono, lo que indicará que se encuentra en estado superficialmente seco.
- 14.- Se pesan 50 gramos de la arena que formó el cono y se registra este peso.
- 15.- Se vierte en el frasco de "Le Chatelier" la muestra de 50 gramos de material, con mucho cuidado y utilizando el brochuelo.
- 16.- Se toma el frasco de "Le Chatelier" con las dos manos poniéndolo en forma inclinada y se agita mediante giros hasta expulsar totalmente el aire que se pueda haber arrastrado por el material.
- 17.- Se pone el frasco de "Le Chatelier" en forma vertical y se hace la lectura a nivel del menisco inferior. Esta lectura se registra y nos determinará directamente el volumen de la muestra introducida.
- 18.- Se calcula la densidad con la fórmula ya mencionada, tomando como peso los 50 gramos de arena saturada y superficialmente seca y el volumen desalojado en el frasco de "Le Chatelier"

PRUEBA N° 4: DETERMINACION DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

MARCO TEORICO

La humedad total de un agregado esta determinada por la suma de la humedad por absorción y la humedad superficial. Se expresa en porcentaje y se calcula prácticamente por medio de la fórmula:

$$Ph = \frac{Po - Ps}{Ps} \times 100$$

Donde:

- Ph = Porcentaje de humedad total
Po = Peso original de la muestra [Kg]
Ps = Peso seco de la muestra [Kg]

Para realizar la prueba, es necesario fijar el peso del material que deberá utilizarse como muestra, para ello nos auxiliaremos de la tabla V.1 mostrada a continuación, en la cual tenemos el tamaño del agregado a utilizarse y el peso que se debe emplear para lograr un resultado satisfactorio.

Tabla V.1 Pesos de la muestra para prueba de humedad

TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO DE LA MUESTRA EN KG
mm	pulgadas	
menor de 4.76	menor de 3/16	0.200
4.76 a 19.1	3/16 a 3/4	0.500
19.1 a 38.1	3/4 a 1½	1.000
mayor de 38.1	mayor de 1½	suficiente

El método que emplearemos es el generalmente utilizado, por ser el mas antiguo (se le llama informalmente "método del sartén"), aunque existen otros. Consiste en encontrar la pérdida de peso de una muestra de agregado que se ha secado por medio de una fuente de calor.

En esta prueba de laboratorio debe tenerse especial cuidado para evitar el sobresecaado de la muestra, lo que puede suceder sobre todo con la arena, no debe calentarse demasiado ya que esto provocaría una tonalidad café, signo inequívoco de sobresecaado.

OBJETIVO

Determinar la humedad total de una muestra de arena y de una muestra de grava, mediante un método tradicional.

MATERIAL

- Muestra de arena
- Muestra de grava

EQUIPO

- Balanza de torsión de 1 Kg. de capacidad y 0.10 g de sensibilidad
- Charola
- Brochuelo
- Estufa o parrilla
- Cuchara de albañil

DESARROLLO

- 1.- Se toma una muestra representativa del material mediante cuarteo.
- 2.- Se pesan 200 gramos de arena y 1 Kg. de grava y se registran estos datos.
- 3.- Se secan por separado las muestras ya pesadas, en estufa o parrilla a una temperatura de 100 a 110°C. Hasta obtener un peso constante, tomando las lecturas de peso cuando el material esté totalmente frío.
- 4.- Cuando el material este totalmente seco se pesan las muestras y se registra el dato para proceder a hacer el cálculo de la humedad mediante la fórmula descrita anteriormente.

PRUEBA N° 5: GRANULOMETRIA DE LA GRAVA

MARCO TEORICO

La clasificación y el tamaño de los agregados son importantes debido a su efecto en las dosificaciones, manejabilidad y economía.

Para poder proporcionar correctamente una mezcla de concreto, es necesario tener control de la dosificación de sus componentes, ya que la resistencia depende de la relación que existe entre ellos. También es importante la composición granulométrica que guardan sus agregados, por lo que hay que tomar en cuenta los límites granulométricos. Así como su módulo de finura, peso volumétrico y peso específico, absorción, humedad, etc.

El análisis granulométrico, es una de las pruebas que se realizan a los agregados para saber si la distribución de los diferentes tamaños de las partículas es adecuada, consiste en separar y conocer el porcentaje de cada tamaño con respecto al total.

Las mallas que generalmente se utilizan para el análisis granulométrico de la grava son las que se muestran a continuación.

Tabla V.2 Cribas para granulometría de la grava

DESIGNACION DE LA MALLA (pulg.)	ABERTURA (mm)
6"	152.40
3"	76.20
1½"	38.10
¾"	19.10
⅜"	9.50
3/16" (Nº 4)	4.76

El módulo de finura, es un índice utilizado para describir si el agregado es fino o grueso.

Para las gravas el módulo de finura se obtiene mediante la suma de los porcentajes acumulados retenidos en las mallas utilizadas, dividido entre 100, mas cinco unidades que corresponden al número de mallas para la arena.

El siguiente cálculo muestra un análisis típico de grava, el formato utilizado es el recomendado para registrar los valores obtenidos de cualquier muestra, los cuales deberán graficarse para obtener la curva de granulometría correspondiente.

Tabla V.3 Análisis del Módulo de Finura de una grava

CRIBA Nº	PESO RETENIDO (KG)	% INDIV. RETENIDO	% ACUM. RETENIDOS
3"	2.450	9.8	9.8
1½"	6.150	24.6	34.4
¾"	7.675	30.7	65.1
3/8"	5.475	21.9	87.0
4	3.250	13.0	100.0
Charola	0	0	0
Suma	25.000	100.0	296.3

$$\text{Módulo de finura} = M.P. = \frac{296.3}{100} = 2.963 + 5 = 7.963$$

El peso mínimo de la muestra para el análisis granulométrico de una grava, se aconseja que sea de acuerdo con los valores de la tabla que se da a continuación.

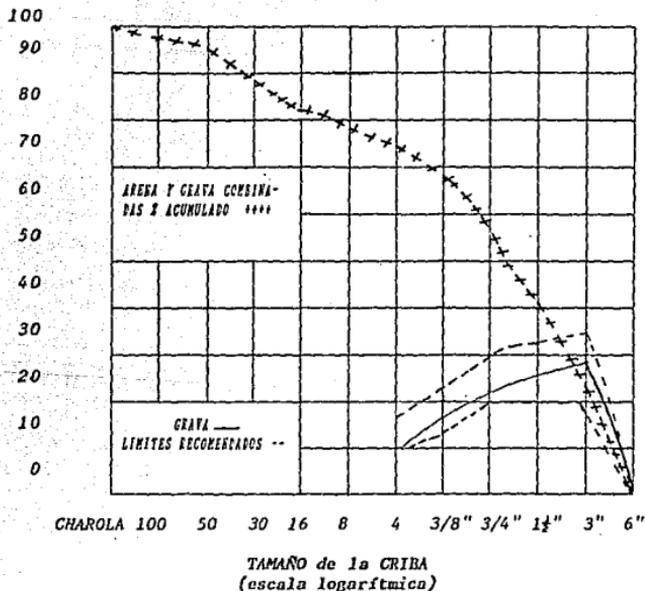
Tabla V.4 Peso mínimo de la muestra según su tamaño predominante

TAMAÑO MÁXIMO PREDOMINANTE mm	pulg.	PESO (KG)
63.5	2½	50
50.8	2	35
38.1 ó 31.8	1½ ó 1½	15
25.4	1	5
19.0	¾	2
12.7	1/2	1
9.5	3/8	0.5

Para que un agregado sea considerado adecuado para la elaboración de un concreto, debe encontrarse dentro de los límites recomendados en la tabla siguiente. La cual ha sido tomada del "Concrete Manual", U.S. Bureau of Reclamation. Debe aclararse que existen diversas curvas granulométricas, que se utilizan como referencia de comparación, pero todas ellas tienen como principal parámetro la constancia y uniformidad.

Tabla V.5 Límites de Granulometría de agregados

% RETENIDO



OBJETIVO

Utilizar el procedimiento de análisis granulométrico en una grava, para determinar si el material es apropiado para la elaboración de un concreto económico.

MATERIAL

- Grava suficiente para reducirla por medio de cuarteo, hasta aproximadamente 25 Kg

EQUIPO

- Báscula de 125 Kg de capacidad
- Juego de mallas de 12" o 16" de diámetro, con aberturas cuadradas de 6", 3", 1½", 3/4", 3/8" y 3/16"
- Seis charolas de lámina galvanizada
- Cepillo de alambre
- Cucharón

DESARROLLO

- 1.- Se reduce el material por medio de cuarteo hasta obtener una muestra de 25 kg. El material debe haber sido secado al aire previamente para evitar que terrones apelmazados de partículas finas se clasifiquen como partículas grandes.
- 2.- Se pesan las charolas para obtener la tara de cada una y se registran estos pesos. Hecho esto, se cernirá la muestra de grava en las mallas especificadas.
- 3.- Cuando se cierne la muestra se coloca la malla sobre una charola, de tal forma que en ella se capte todo el material que pase, teniendo cuidado de que no queden partículas aprisionadas entre los alambres que forman la retícula.
- 4.- Una vez que se ha procedido como se marca en le punto 3 con cada una de las mallas, tendremos separado el material y se obtendrá el peso de cada charola conteniendo el retenido, a este peso se restará el de la tara para así obtener el valor del peso del material retenido de cada malla.
- 5.- Una vez vaciado el contenido, las mallas deberán dejarse limpias, para lo cual se emplea el cepillo de alambre.
- 6.- Se registran los datos en la forma descrita anteriormente (Tabla V.3) y se calcula el módulo de finura. Con los datos tabulados se realiza la gráfica de granulometría y se compara con la Tabla V.5 para valorar la grava.

PRUEBA Nº 6: GRANULOMETRÍA DE LA ARENA

MARCO TEORICO

Como se mencionó en el marco teórico de la prueba anterior (Nº5), el análisis granulométrico de los agregados, es de gran importancia para dosificar un concreto, sobre todo cuando se trata de las arenas, ya que tiene considerable influencia sobre la trabajabilidad de la mezcla.

Las mallas que generalmente se utilizan para el análisis granulométrico de la arena son las que se muestran a continuación. Aunque comúnmente existe la dificultad de tener que trabajar con dos conjuntos de tamaños de tamiz, en nuestro país se utiliza el sistema norteamericano y a últimas fechas se trata siempre de hacer la conversión a sistema métrico.

Tabla V.6 Cribas para granulometría de la arena

DESIGNACION BRITANICA	DESIGNACION NORTEAMERICANA	ABERTURA (pulg.)	ABERTURA (mm)
Nº 3/16	Nº 4	0.187	4.76
Nº 7	Nº 8	0.094	2.38
Nº 14	Nº 16	0.047	1.19
Nº 25	Nº 30	0.0232	0.59
Nº 52	Nº 50	0.0117	0.297
Nº 100	Nº 100	0.0059	0.149

En el laboratorio, el número de las mallas muchas veces depende del fabricante, de esta forma tenemos las de clasificación estándar que corresponde con la norteamericana Nºs 4, 8, 16, 30, 50 y 100 y la clasificación Tyler con los números 4, 8, 14, 28, 48 y 100.

El módulo de finura, en las arenas se calcula al sumar los porcentajes acumulados retenidos en las seis cribas normales y dividiendo la suma entre 100. Por su Módulo de Finura, las arenas se pueden clasificar en:

CLASE	MODULO DE FINURA
Arena gruesa	de 2.50 a 3.50
Arena fina	de 1.50 a 2.50
Arena muy fina	de 0.50 a 1.50

El siguiente cálculo muestra un análisis típico de arena, el formato utilizado es el recomendado para registrar los valores obtenidos de cualquier muestra, los cuales deberán graficarse para obtener la curva de granulometría correspondiente y así poder compararse con la tablas V.8, V.9 y V.10 mostradas a continuación.

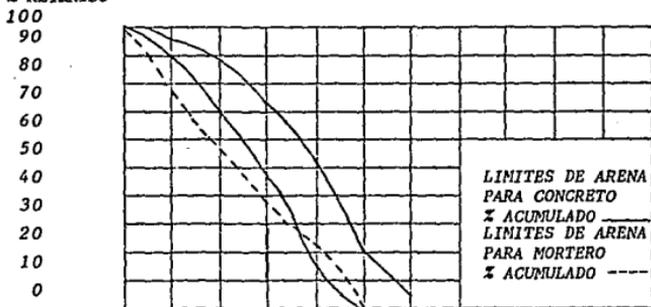
Tabla V.7 Análisis del Módulo de Finura de una arena

CRIBA No	PESO (g)	% INDIV. RETENIDO	% ACUM. RETENIDOS
4	5	1	1
8	90	18	19
16	100	20	39
30	95	19	58
50	90	18	76
100	80	16	92
Charola	40	8	-
Suma	500	100	285

$$\text{Módulo de finura} = \text{M.F.} = \frac{285}{100} = 2.85$$

Tabla V.8 Límites de Granulometría para arena natural.

% RETENIDO



CHAROLA 100 50 30 16 8 4 3/8" 3/4" 1 1/2" 3" 6"
TAMAÑO de la CRIBA (escala logarítmica)

Tabla V.9 Límites de Granulometría para arena cribada o lavada
 % RETENIDO

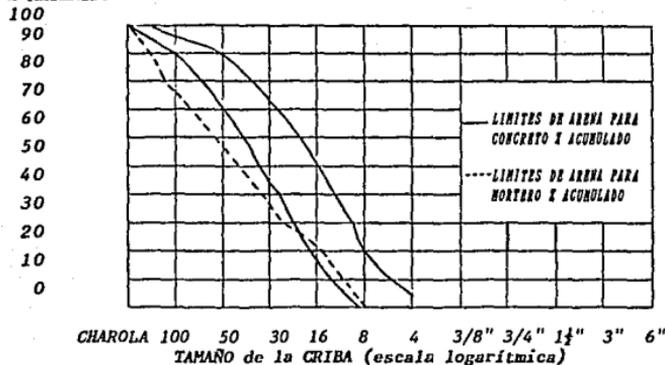
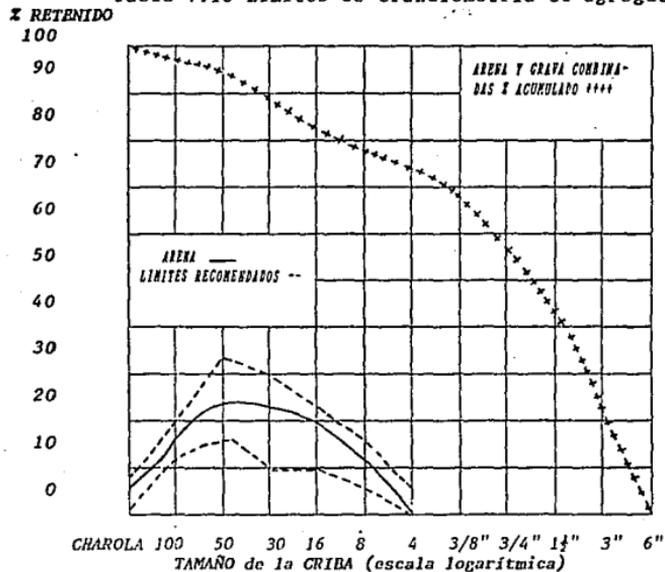


Tabla V.10 Límites de Granulometría de agregados



OBJETIVO

Utilizar el procedimiento del análisis granulométrico de una arena para clasificarla y determinar si es apropiada para la elaboración de un concreto económico.

MATERIAL

- Arena suficiente para reducirla por cuarteo, de tal manera que el material retenido en cada criba no sea mayor de 180 g. para las cribas de 203 mm de diámetro (se pueden considerar 500 gramos)

EQUIPO

- Balanza de torsión de 1 kg de capacidad y 0.1 g de sensibilidad
- Juego de mallas de 8"Ø (4, 8, 16, 30, 50 y 100 o equivalentes)
- Brochuelo de cerda
- Cepillo de alambre
- Rotap o máquina agitadora
- Cucharón
- Horno o parrilla

DESARROLLO

- 1.- Se humedece la arena para evitar pérdidas por segregación y se prosigue a reducirla por cuarteo hasta tener una muestra de 500 g. No se debe permitir el ajuste a una masa determinada que no sea obtenida por cuarteo.
- 2.- Se somete la muestra a secado en horno o parrilla a una temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$. Deberá evitarse la formación de terrones apelmazados que pueden tapar los tamices mas finos.
- 3.- Se pesan los morteros para obtener la tara de cada uno y se registran estos pesos, con los que se obtendrá el peso de cada porción, restándose la tara al peso total.
- 4.- Se arman las cribas en forma descendente de aberturas (de mayor a menor) terminando con la charola de fondo y se vierte la muestra sobre la criba superior, la cual debe estar perfectamente tapada.
- 5.- El cribado se hará por medio del equipo Rotap o por medio manual, en donde se soportará la serie de mallas sobre los dedos y se inclinará de un lado a otro, a la vez que se golpean los costados con las palmas de las manos. El tiempo de agitación será el necesario hasta que se observe que no pasa mas del 1% de una malla a otra en un lapso de un minuto.

- 6.- Cuando se ha comprobado que cada malla ha dado paso a todo el material menor que su abertura, las porciones retenidas se colocan por separado en los morteros para después pesarlos y obtener el peso del material retenido en cada malla.
- 7.- Una vez vaciado el contenido, las mallas deberán dejarse limpias, para lo cual se emplea el cepillo de alambre o brochuelo, según la abertura entre hilos de las mallas.
- 6.- Se registran los datos en la forma descrita anteriormente (Tabla V.7) y se calcula el módulo de finura. Con los datos tabulados se realiza la gráfica de granulometría y se compara con las Tablas V.8, V.9 y V.10 para valorar la arena.

CAPITULO VI
LOS CEMENTANTES

CAPITULO VI LOS CEMENTANTES

Los cementantes, también llamados aglutinantes o aglomerantes, son todos aquellos materiales que mezclados con agua se hacen plásticos y tienen la propiedad de adherirse a otros uniéndolos o enlazándolos, generalmente pétreos, integrándose para formar pastas llamadas morteros o concretos que permiten ser extendidos, moldeados, que al secar y endurecerse alcanzan cierto grado de resistencia mecánica.

Se clasifican en:

- A) **Aéreos o no hidráulicos.** - Los que solo endurecen con el aire, dando morteros no resistentes al agua, comprenden el yeso, la cal y la magnesia.
- B) **Aglomerante hidráulicos.** - Aquellos que endurecen en forma pétreo, tanto en el aire como en el agua. Pertenecen a este grupo las cales hidráulicas y los cementos. Se incluyen las puzolanas, que aunque por si solas no endurecen o fraguan, si se les mezcla con cales, dan productos hidráulicos.
- C) **Aglomerantes hidrocarbonados.** - Los forman los hidrocarburos mas o menos líquidos o viscosos, que endurecen por enfriamiento o evaporación de sus disolventes como el alquitrán o el betún.

Los aglomerantes aéreos e hidráulicos son sólidos finamente pulverizados que al reaccionar con el agua fraguan o endurecen en un tiempo mas o menos corto, formando cuerpos cristalinos capaces de aglomerar diversos cuerpos pétreos, metálicos y orgánicos; Son pues, hidrófilos.

Los aglomerantes hidrocarbonados solo precisan ser calentados a cierta temperatura para su fácil extensión, consolidándose al perder su viscosidad, formando estructuras coloidales rígidas, siendo hidrófobas.

De acuerdo a la historia de los aglomerantes y dentro de las aplicaciones en construcción, tenemos: Las arcillas, El yeso, Las cales y Los cementos.

LAS ARCILLAS

Son el resultado de la descomposición lenta, debido al efecto de la atmósfera y la acción química del anhídrido carbónico junto con el oxígeno del aire, de numerosas rocas o minerales silíceo aluminosos, tales como los feldespatos, micas, granitos, basaltos, etc.

En su estado puro recibe el nombre de caolinita o caolín. Es blanca y muy untuosa al tacto, su superficie se pule fácilmente con los dedos, su empleo está reservado a la industria de cerámica fina. Dadas sus propiedades especiales y la escasez de sus yacimientos, resulta técnicamente erróneo su empleo como aglomerante.

Dada la diversidad de rocas que dan origen a las arcillas, el estado mas o menos avanzado de su descomposición y el proceso de acarreo a que son sometidas, las arcillas en su estado mas general, contienen impurezas, tales como cuarzo, carbonato cálcico, sulfatos sódicos y cálcicos, hidróxido de hierro y substancias orgánicas, comunicándoles propiedades que las hacen aptas para distintos usos o aplicaciones y dándoles distintas coloraciones.

De acuerdo a estas impurezas y al grado de plasticidad de las mismas las arcillas se agrupan en grasas, magras y secas.

Las primeras son las que mayormente aglutinan y las de mayor grado de plasticidad; las segundas menos plásticas y aglutinantes; y las últimas de plasticidad y poder aglutinante prácticamente nulos debido a su alto grado de impurezas.

Las arcillas existen en grandes yacimientos, en todas partes del mundo, pero puede asegurarse que no existen dos arcillas absolutamente iguales en cuanto a su composición y propiedades.

Una de las propiedades características de las arcillas es la de formar, cuando se amasa con una adecuada porción de agua, una pasta plástica capaz de adquirir cualquier forma deseada; exhalando un olor peculiar, cuya causa se ignora.

La plasticidad de la masa de arcilla, será tanto mayor cuando mas finos sean sus granos, pero también depende de la cantidad de agua con la que se ha amasado, pues si el agua es excesiva, la arcilla forma una masa semilíquida en la cual la plasticidad se pierde por completo.

El proceso de endurecimiento y de alcanzar cierta resistencia mecánica en cualquier material aglomerante, se designa con el nombre de fraguado, en general se debe a reacciones químicas, pero en las arcillas crudas es un paso exclusivamente físico, que se debe a que la materia coloidal que contiene en estado de gel, suelta a las partículas entre si.

Los usos principales son: En la industria ladrillera como materia prima y en la construcción como aglutinante, empleando las arcillas, tierras arcillosas o barras del tipo magro.

EL YESO

Como material de construcción o aglomerante, se define al yeso como el producto resultante de la deshidratación parcial o total del algez o piedra del yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) compuesto casi exclusivamente de sulfato de cal con dos moléculas de agua. Reducido a polvo y amasado con agua recupera el agua de cristalización, endureciéndose.

Como roca, el yeso, piedra algez o sulfato de calcio bihidratado, abunda en los terrenos sedimentarios y es incolora o blanca, pero generalmente se encuentra acompañada de impurezas; tales como arcillas, óxido de hierro, sílice y caliza que le comunican coloraciones distintas. El yeso se presenta en dos formas:

- 1) **Cristalizado, anhídrido (SO_4Ca).** - Llamado anhidrita, cuando está pura es incolora o blanca y cuando contiene impurezas coloreada en azul, gris, amarillo o rojiza.
- 2) **Con dos moléculas de agua ($\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).** - Denominado algez o yeso semihidratado, presenta cristalizado en el sistema monodivario, formando rocas muy abundantes. Incoloro y blanco cuando es puro, debido a impurezas puede ser de coloraciones gris, amarilla o rojiza. Es el tipo más utilizado en la construcción.

Dentro de los anhídros tenemos:

ANHIDRITA SOLUBLE $\text{SO}_4\text{Ca}\gamma$

Cristaliza en el sistema monoclinico. Se obtiene cuando la temperatura se eleva de 180 a 300°C, eliminándose el vapor de agua mediante aire seco y caliente en calcinadores rotatorios y molliéndolo después. Absorbe rápidamente el vapor de agua y su fraguado es inmediato por lo cual para su empleo se añade algún producto como la queratina para retrasar su fraguado.

ANHIDRITA SOLUBLE $\text{SO}_4\text{Ca}\alpha$

Cuando la piedra de yeso se calienta a una temperatura de 900 a 1000°C, el agua de cristalización desaparece rápidamente, produciéndose cierta disociación en SO_3 y CaO ; esta cal dispersa actúa como acelerador del fraguado. Se obtiene así el llamado yeso hidráulico o de pavimento, por fraguar muy lentamente y hacerlo debajo del agua al cabo de 24 a 48 horas, necesitando del 35 al 40% de agua para amasarse. En el aire tarda 5 horas y puede reducirse hasta 30 minutos empleando alumbre como acelerador. Es de color amarillento a rojizo.

amarillento a rojizo.

YESO ALUMBRICO

Se obtiene a partir del semihidrato sumergiéndole 6 horas una en solución al 12% de alumbre a 35°. Se deja secar al aire, vuelve a calcinarse al rojo oscuro y se muele finamente. Es de fraguado lento, no empieza antes de una hora y termina a las cuatro horas. No tiene expansión ni contracción notable, admite agregados, alcanza resistencias de 150 Kg/cm² a compresión, es de gran dureza y puede ser pulido. Se utiliza para fabricar baldosas e imitar el mármol.

Entre los semihidratados se encuentran:

YESO NEGRO O GRIS

Se obtiene directamente calcinando el algez que contiene gran cantidad de impurezas, por lo que se torna oscuro con los humos y cenizas de los combustibles. Tiene una riqueza de 60% de semihidrato, queda en la malla de 0.2 mm del 30 al 50% y se emplea en obras que no hayan de quedar aparentes, bóvedas, tabiques y tendidos.

YESO BLANCO

Tiene un 80% de hidrato, es un producto muy molido y deja del 1 al 10% en la malla de 0.2 mm. Empleado para aplanar paredes, estucos y blanqueos.

ESCAYOLA

Es el yeso blanco de mayor calidad, contiene 90% de semihidrato, finura del 1% en la malla de 0.2 mm y se emplea en vaciados, molduras y decoración.

En general, el yeso se emplea para fabricar tabiques, bóvedas, enlucidos, pavimentos continuos, estucos, moldeos, mármol artificial y en acabados como paneles de yeso, falsos plafones, revestimientos interiores, cornisas, etc.

LAS CALES

La cal es el producto resultante de la descomposición por calor de las rocas calizas. Si estas son puras y se calientan a más de 900°C el carbonato cálcico (CO_3Ca) reacciona y se descompone, dando anhídrido carbónico (CO_2) que es gaseoso y se desprende junto con los humos del combustible y el óxido de calcio (CaO).

A el óxido de calcio se le llama también cal viva, el cual es un producto sólido, de color blanco, amorfo aparentemente puesto que cristaliza en el sistema regular cuando se funde a 2 570°C, es inestable por tener gran avidez por el agua con la cual reacciona obteniéndose hidróxido cálcico (Ca(OH)_2) a el cual se le llama cal apagada, al producirse ésta se desprende calor elevándose la temperatura a unos 160°C, pulverizándose y aumentando considerablemente de volumen aparente.

Esta avidez por el agua es tan grande que absorbe el vapor de agua de la atmósfera y la de las sustancias orgánicas, produciendo efectos cáusticos.

El hidróxido cálcico (cal apagada) es un cuerpo sólido, blanco, amorfo, pulverizado, algo soluble en el agua (1.23 gr por 1 litro de agua a 20°C) a la que comunica un color blanco y en mayor cantidad forma con ella una pasta muy trabajable y fluida.

La pasta de cal apagada tiene la propiedad de endurecerse lentamente en el aire, enlazando los cuerpos sólidos, por lo cual se emplea como aglomerante. Este endurecimiento recibe el nombre de fraguado de la cal y se debe a una desecación por evaporación del agua con la que se formó la pasta, además de una carbonatación por absorción del anhídrido carbónico del aire, formándose calcio y agua, reconstituyendo así la caliza de la cual se partió.

Esta reacción de fraguado, empieza a las 24 horas de amasado y termina la cabo de 6 meses; por lo cual en las obras en donde se emplea tarda mucho en secarse y adquirir solidez definitiva. Se verifica solo en el aire seco, en el húmedo con mucha dificultad y no se realiza dentro del agua, pues se disuelve, no sirviendo para obras hidráulicas. Por otro lado al fraguar, experimenta una contracción o disminución de volumen, que unida a la que sufre por el peso propio de la obra, produce asientos y grietas.

Las calizas naturales casi siempre se encuentran acompañadas de otras sustancias como la arcilla, magnesia, hierro, azufre, alcalis y materias orgánicas, las cuales al calcinarse, de no volatilizarse, comunican a la cal propiedades que dependen de la proporción en que forman parte de ella. Dependiendo de estas impurezas se clasifican en la forma siguiente:

CAL GRASA

Es aquella donde la caliza primitiva contiene hasta un 5% de arcilla, cuando se apaga esta cal, da una pasta fina, trabajable, untuosa, blanca, que aumenta mucho de volumen, permaneciendo indefinidamente blanda en sitios húmedos y fuera del contacto con el aire; y en el agua termina por disolverse.

El rendimiento de una cal es la relación que existe entre el volumen resultante de la pasta y el original de la cal viva. En las calces grasas buenas puede ser de 3½ veces (con 100 litros de cal viva se obtienen 300 litros de pasta de cal).

CALES ARIDAS O MAGRAS

Proceden de calizas que tienen menos del 5% de arcilla y mas del 10% de magnesia (dolomitas). Al agregarse agua, forman una pasta gris y poco trabajable que desprende mas calor que las calces grasas. Al secarse al aire se reducen a polvo y en el agua se disuelven; debido a éstas características no se usan en la construcción.

CALES HIDRAULICAS

Proceden de la calcinación de calizas que contienen mas del 5% de arcilla. Reúnen todas las propiedades de las calces grasas, pero además pueden endurecerse (fraguar) en sitios húmedos y bajo el agua. Vicat a principios del siglo XIX las descubrió, al observar que si la caliza primitiva contiene arcilla o si se le añade en proporción de 8 a 20%, el producto resultante de la cocción, reducido a polvo, por extensión, tiene propiedades hidráulicas.

La cal hidráulica es una cal parcialmente hidratada o apagada en polvo, es un aglomerante que se forma debido a que en la cocción se produce una evaporación del agua de cantera hasta 110°C, hacia los 700°C empiezan a descomponerse los silicatos que forman las arcillas y a los 900°C se separa el carbonato cálcico.

A temperatura mas elevada reaccionan los productos resultantes: óxido de cal (CaO), anhídrido silico (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3), formándose silicatos y aluminatos que junto con el hidróxido cálcico dan las propiedades hidráulicas a esta cal.

El principal uso de la cal en la construcción, es en morteros que se emplean para ligar piedras naturales, unir piedras artificiales, o ambas; En elementos constructivos donde no sea determinante la resistencia o el tiempo de fraguado, redundando en economía.

LAS PUZOLANAS

Aún cuando por si mismas no tienen propiedades aglomerantes, las englobaremos dentro de los cementantes, debido a que tienen elementos que al combinarse con cales o cementos, forman compuestos estables que poseen propiedades similares a los aglomerantes hidráulicos.

Las puzolanas naturales son en su mayor parte de origen volcánico, las artificiales son principalmente productos de la calcinación de algún tipo de arcillas, pizarras y piedras silíceas.

Las puzolanas tomaron su nombre de la población de Puzol, a causa de que los yacimientos de donde se extraían se encontraban en ese lugar. A la fecha se aplica a cualquier material de características análogas. Por su origen se pueden clasificar en:

PUZOLANAS NATURALES

Son de origen volcánico, procedentes de la acumulación de polvos, cenizas o barros eruptivos que han adquirido las características de una roca deleznable y toman también sus propiedades puzolánicas por las acciones químicas del vapor de agua recalentado, del bióxido de carbono dentro de la corteza terrestre y a un brusco enfriamiento, al ser arrojadas al exterior. La composición de algunas de ellas se muestra a continuación:

Tabla VI.1 Puzolanas nacionales

MATERIAL	PERDIDA X CALCINACION	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	SO ₃ %	ALCALIS %
Tepe-tate	4.05	62.54	17.71	3.77	4.53	1.80	0.60	4.0
Poma blanca	3.12	63.80	16.90	2.47	8.30	0.62	3.22	--
Poma rosa	12.40	44.78	22.30	10.90	1.87	2.40	0.65	--
Tezon-tle	3.20	54.70	18.20	4.78	0.38	0.80	2.10	--
Tepe-chil	4.23	65.70	17.40	0.98	3.18	0.67	6.40	--
Jal	3.80	66.40	13.80	1.30	3.60	0.80	5.70	--

PUZOLANAS ARTIFICIALES

Son los productos resultantes de la cocción y pulverización de arcillas y pizarras a temperaturas que varían entre 600 y 900°C. Al cocer las arcillas se deshidrata el silicato aluminico hidratado, obteniéndose un silicato aluminico anhidro, cuya relación sílice-alúmina se mantiene invariable. la composición química de arcillas cocidas del Distrito Federal, se indica en la tabla VI.2 mostrada a continuación.

Tabla VI.2 Arcillas cocidas del D.F.

MATERIAL	MUESTRA 1 %	MUESTRA 2 %
SiO ₂	59.00	60.50
Al ₂ O ₃	19.30	17.20
FE ₂ O ₃	9.00	7.40
CaO	1.88	2.88
MgO	3.65	3.46
SO ₃	0.96	2.59
PERDIDAS X CALCINACION	1.42	1.29
NO DETERMINADOS	5.19	4.68

LOS CEMENTOS

El cemento puede definirse en forma general, como un material con propiedades adhesivas y cohesivas con capacidad de aglutinar fragmentos minerales, para formar una masa compacta.

Actualmente la industria del cemento ha evolucionado notablemente, la técnica constructiva cuenta con diversos tipos de cemento, para facilitar el estudio de ellos, se clasificarán de la forma siguiente:

Tabla VI.3 Clasificación de Cementos

CEMENTOS	CEMENTOS NATURALES	ROMANO	
		PORTLAND	
	CEMENTOS ARTIFICIALES	CEMENTOS PORTLAND	NORMAL
			ENDURECIMIENTO RAPIDO
			FRAGUADO RAPIDO
			BLANCO
			IMPERMEABLES
		ESPECIALES	ALUMINOSOS
			PUZOLANICOS
			ESCORIAS
		GRAPPIERS	

(Clasificación tomada del curso de Química industrial de Carlos Gini Lacorté)

CEMENTOS NATURALES

Se obtiene de la calcinación de roca (caliza arcillosa) a temperaturas muy bajas y por lo tanto es de endurecimiento lento, Hoy en día se utilizan muy poco. Dentro de ellos tenemos:

Cemento Romano

Se fabricaba antiguamente (J.Parker 1796), calcinando nódulos de calizas arcillosas que daban como resultado aglutinantes o aglomerantes hidráulicos naturales.

Cemento Portland Natural

Se atribuye la invención de este cemento a José Aspidin (1824) y se le dió el nombre de portland por el color que adquiere después de fraguado, parecido a el de la piedra natural de la localidad inglesa del mismo nombre.

Su fabricación consistía en obtener, primeramente una cal que se mezclaba con arcilla y se calcinaba nuevamente a baja temperatura, el producto resultante se pulverizaba y daba como resultado un aglomerante natural.

CEMENTOS ARTIFICIALES

El prototipo del cemento moderno fue obtenido en 1845 por Isaac Johnson, quien quemó una mezcla de arcilla y caliza hasta formar Clinker, con lo cual se produjo la reacción necesaria para la formación de un compuesto fuertemente cementoso. Dentro de estos cementos tenemos dos ramificaciones muy importantes que se describen a continuación.

Cementos Portland

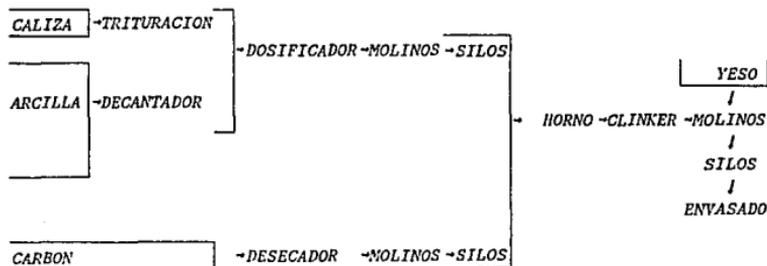
Se definen como el producto artificial resultante de calcinar hasta un principio de fusión, mezclas rigurosamente homogéneas de caliza y arcilla obteniéndose un cuerpo llamado Clinker, constituido por silicatos y aluminatos anhídros, el cual hay que pulverizar junto con yeso, en proporción no menor al 3% para retrasar su fraguado.

La fabricación de los cementos se hace por dos métodos:

A) La vía húmeda.- Fue el primer método empleado, con él se obtienen mezclas muy homogéneas y proporciona cementos de características constantes y de alta calidad. Las materias primas (calizas y arcillas) se mezclan en estado húmedo, decantado previamente la arcilla para quitar arena y piedra que contenga; así como triturando las calizas para ser dosificadas y de ahí pasan a los molinos, de estos a los silos de pasta, los cuales se mantienen en agitación continua para que no se sedimenten. La pasta contiene 50% de agua y de los silos es bombeada a los hornos.

Este tipo de fabricación se puede esquematizar como sigue:

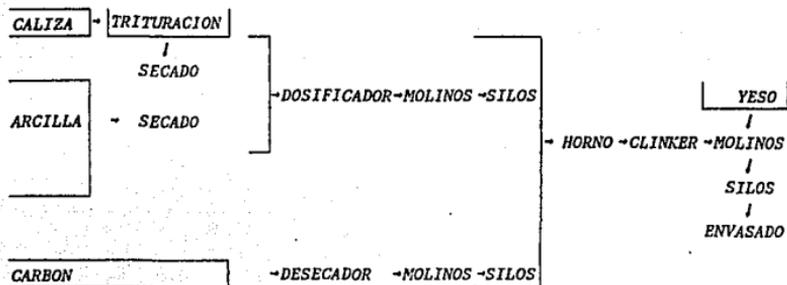
FABRICACION POR VIA HUMEDA



B) *La vía seca.*— Se emplea cuando las materias primas (caliza y arcilla) son duras y no contienen arena, exigiendo el secado, antes de su pulverización. El crudo pasa después a los dosificadores, donde se almacenan por separado arcilla y caliza en silos; De aquí pasa el crudo a los molinos y luego a otros silos o depósitos antes de su cocción, se humedecen ligeramente para mantener su homogeneidad y se introducen a los hornos.

El siguiente esquema muestra este tipo de fabricación:

FABRICACION POR VIA SECA



Podemos en general decir que el cemento Portland se obtiene al reaccionar durante la cocción, la cal, sílice, alúmina y óxido de hierro, principalmente; así como también las impurezas que les acompañan (magnesia y alcalis). La cantidad límite de estos componentes de un cemento varía según la tabla VI.4 siguiente:

Tabla VI.4 Límites de composición para cemento Portland

SUBSTANCIA	COMPUESTO	LIMITES %
Cal	CaO	60.0-67.0
Sílice	SiO ₂	17.0-25.0
Alúmina	Al ₂ O ₃	3.0- 8.0
Oxido de hierro	Fe ₂ O ₃	0.5- 6.0
Magnesia	MgO	0.1- 4.0
Alcalis		0.2- 1.3
Trióxido de Sulfuro	SO ₃	1.0- 3.0

Los diferentes tipos de cementos portland, se pueden enumerar según normas inglesas o americanas, equiparando criterios tenemos:

DESCRIPCION INGLESA	DESCRIPCION ASTM
C. Portland Ordinario	Tipo I
C. Portland Endurecimiento Rápido	Tipo III
C. Portland Endurecimiento Extrarápido	--
C. Portland Ultra-alta Resistencia Rápida	--
C. Portland Bajo Calor de Hidratación	Tipo IV
C. Portland Modificado	Tipo II
C. Portland Resistente a los Sulfatos	Tipo V
C. Portland Escoria de altos Hornos	Tipo IS
Cemento Blanco	--
Cemento Portland Puzolana	Tipo IP

Los cementos I, IS, IP, II y III se elaboran también con un agente inclusor de aire y se denotan con la letra A. En México, la industria cementera, produce tipos similares a la Americana, pero no es totalmente igual.

La Industria Cementera Mexicana produce los siguientes tipos:

- Tipo I .- Cemento Portland Normal
- Tipo II .- Cemento Portland Modificado
- Tipo III.- Cemento Portland de Endurecimiento Rápido
- Tipo IV .- Cemento Portland de Bajo Calor de Hidratación
- Tipo V .- Cemento Portland Alta Resistencia a los Sulfatos
- Cemento Portland Blanco
- Cemento Portland Puzolánico
- Cemento Portland de escoria de Alto Horno
- Cemento de Albañilería

A continuación describiremos los mas importantes de todos.

Cemento Portland Normal (Tipo I).- Es el cemento mas común, es apropiado para construcciones de concreto tales como vialidades, puentes, pavimentos hidráulicos, guarniciones y banquetas; obras de edificación a base de concreto reforzado o de elementos prefabricados ya que adquiere altas resistencias. No se recomienda para obras expuestas a sulfatos, agua freáticas o donde se requiere concreto en masa ya que genera mucho calor de hidratación.

Cemento Portland Modificado (Tipo II).- Este tipo de cemento combina adecuadamente, una proporción mayor de desarrollo de calor de hidratación que la del cemento de bajo calor (Tipo IV), pero con un aumento de resistencia a edades tempranas similar al del cemento portland normal. Podría entonces, considerarse que es un cemento intermedio entre el tipo I y el tipo IV.

Este cemento modificado se recomienda para estructuras donde se desea calor de hidratación moderadamente bajo o cuando se temen ataques ligeros de sulfatos, ya que también tiene un poco más de resistencia a ellos que el cemento normal. Se aplica principalmente en obras hidráulicas, muelles, contrafuertes de gran espesor y muros de contención.

Cemento Portland de Endurecimiento Rápido (Tipo III). - Como su nombre lo implica, desarrolla su resistencia a temprana edad, es decir alcanza alta resistencia más rápidamente que el normal. La rapidez de endurecimiento no debe confundirse con la rapidez de fraguado ya que en este tipo de cemento y en el normal es similar.

El uso de cemento portland de endurecimiento rápido está indicado cuando es necesaria cierta resistencia en poco tiempo, por ejemplo cuando la cimbra debe ser removida muy pronto para volverla a utilizar o cuando se requiere tener suficiente resistencia para continuar la obra casi inmediatamente a fin de obtener mayor avance. También se utiliza en clima frío, donde se pretende reducir el período de protección contra bajas temperaturas. La resistencia rápida trae como consecuencia mayor generación de calor en menor tiempo, comparado con el tipo I, por esto no se debe utilizar donde se requiera colado en masa.

Cabe señalar que existen otros dos tipos de cemento relacionados con este y son: el cemento portland de endurecimiento extrarápido y el cemento portland de ultra-alta resistencia, los cuales se comercializan principalmente en Inglaterra manteniendo características similares al tipo III, pero al primero se le intercala cloruro de calcio en el molido y el segundo tiene una alta finura de la cual deriva su alta resistencia.

Cemento Portland de Fraguado Rápido. - Difiere del normal en su menor tiempo de fraguado, lo cual se consigue disminuyendo la adición de yeso en la molienda final o bien, agregando a los cementos sales acelerantes. Su endurecimiento puede ser igual al del cemento normal o al de rápido endurecimiento y puede derivarse igualmente de cualquiera de ellos. Este tipo de cemento se utiliza para proteger al concreto de la acción de las heladas.

Cemento Portland de Bajo Calor (Tipo IV). - La elevación de la temperatura en el interior de una masa grande de concreto, debida al calor desarrollado por la hidratación del cemento, puede provocar agrietamientos graves. Por esta razón es necesario limitar la evolución del calor del cemento usado en este tipo de estructura.

Utilizando cemento tipo IV, se logra bajar el calor de hidratación, aún cuando a edad temprana el concreto elaborado con este cemento no desarrolla la misma resistencia que el normal, a edad avanzada, no se ve disminuida y sus propiedades mecánicas, aunque lentamente, sí llegan a ser las mismas que las del cemento portland normal.

Este cemento se aplica principalmente en el colado de grandes volúmenes de concreto, por ejemplo en presas.

Cemento Portland de Alta Resistencia a los Sulfatos (Tipo V).- Este cemento tiene bajo contenido de aluminato tricálcico (C_3A), comparado con el cemento normal y esto influye para que tenga alta resistencia a los sulfatos, el calor que genera es similar al del cemento tipo IV y su resistencia mecánica a edades tempranas es lenta, pero a edad avanzada puede ser igual o superior a la del cemento normal.

En general tiene muchas ventajas pero no se puede fabricar económicamente, lo cual representa una desventaja. Se utiliza en revestimiento de canales, túneles, alcantarillas, sifones, etc. En general es adecuado para construcciones que se sujeten al contacto con suelos y aguas sulfatadas.

Cemento Portland Blanco.- Se obtienen de la calcinación de materias primas libres de óxido férrico (Fe_2O_3) o con muy bajo contenido de él, así como de magnesio y su elaboración requiere precauciones especiales para evitar contaminaciones; como combustible se utiliza petróleo para no obtener ceniza, como en el caso de usar carbón. El costo del molido es alto y esto aunado al costo de la materia prima, da como consecuencia que el cemento blanco sea caro (casi el doble que el normal).

Su resistencia puede ser igual o ligeramente mas baja que el normal; pero indiscutiblemente su mayor ventaja es el color, se utiliza principalmente en elementos constructivos de acabado aparente, para fines arquitectónicos, o en regiones tropicales donde se dan acabados en tonos pastel. Por ejemplo lo tenemos en fachadas prefabricadas para edificios, elaboración de piedras artificiales, mosaicos, terrazos, estucos, pisos, junteo de revestimientos, base para pinturas, junteo de lambrines, etc.

Cementos Impermeables.- Son cementos con los que se pretenden obtener morteros y concretos mas impermeables que con el cemento normal, se fabrican agregando, durante la molienda final, pequeños porcentajes de estearato de calcio, aluminico u otro metal o substancia no saponificable, como lo son ciertos aceites.

Cementos Especiales

En general se derivan de los procesos y estudios del cemento portland y se les agregan diferentes sustancias con la finalidad de obtener características determinadas. Son productos de diversos métodos de fabricación y existen numerosos tipos, a continuación hablaremos de los mas utilizados.

Cementos Aluminosos (Cemento Fundido).- Se les llama aluminosos precisamente porque se obtienen de una fusión completa de una mezcla de material calcáreo y aluminoso, la cual se pulveriza hasta obtener un polvo fino. La técnica para obtener concreto con este tipo de cemento es similar al normal. El cemento aluminoso se caracteriza por su rápido endurecimiento y alta resistencia a las 24 horas, tiene gran resistencia al ataque de sulfatos (se originó debido a esta necesidad), a los agentes químicos (aguas de mar y sulfatadas), es insensible a las bajas temperaturas y es menos poroso dando mayor impermeabilidad. Aunque su costo es elevado y desarrolla alto calor de hidratación (no debe usarse en grandes masas), éstas desventajas no hacen que se deje de fabricar en muchos países y se hagan numerosos estudios e investigaciones de este cemento.

Cementos Puzolánicos.- Se obtienen moliendo juntos clinker de cemento normal con puzolana, ya sea natural o artificial. Estos cementos tienen gran estabilidad química y resistencias mecánicas similares a las del cemento normal, aunque esta resistencia se adquiere mas lentamente. Las puzolanas son a menudo mas baratas que el cemento portland, al cual reemplazan y su ventaja principal es la hidratación lenta que da como resultado bajo calor de hidratación, además su alta resistencia a agentes químicos, menor dilatación y mayor impermeabilidad. Estas características hacen que se utilice en muchos tipos de obras. Por ejemplo, donde se utiliza concreto en masa, en obras marítimas, en climas cálidos, etc.

Es recomendable probar cualquier material puzolánico del cual no se tenga experiencia en combinación con el cemento y agregados a utilizar en la construcción, debido a que la resistencia y propiedades dependerán del tipo de puzolana.

Cementos de Escorias (Cementos Siderúrgicos).- Dentro de esta designación se tienen varios tipos de cementos, dependiendo de las características de la escoria y del aglomerante que se elija en combinación. Las escorias son subproductos de la fabricación del hierro, las cuales se han tratado de aprovechar.

Dependiendo de sus componentes, entre los de escorias tenemos:

A) **Cementos de escoria y cal.**- Se obtienen mezclando en frío, previa pulverización, escorias con cal hidráulica en polvo, añadiendo a la mezcla un sulfato como acelerador del fraguado. Se utilizaron antes del descubrimiento de los cementos aluminosos en obras marítimas porque resisten los ataques del agua de mar. Sumergidos o en medios húmedos alcanzan mayor resistencia que en el aire, en donde también su fraguado se hace muy lento, son sensibles a bajas temperaturas, debido al poco calor de hidratación que generan, lo que los hace recomendables para construcción en grandes volúmenes.

B) **Cementos Portland Siderúrgicos (Escorias y Portland).**- Su proceso de industrialización es similar al portland normal, pero partiendo de una escoria en vez de arcilla o pizarra. Se puede obtener fraguado rápido o lento, dependiendo de la cantidad de sulfatos que se le adicionen. Sus resistencias son semejantes las del cemento portland por lo que se emplean igual, pero se le atribuye una resistencia especial al agua de mar.

C) **Cemento Portland de Escoria de Alto Horno.**- Se obtiene mezclando una escoria básica granulada de alto horno con cemento portland. Se muelen juntos el clinker, la escoria y yeso para obtener un producto homogéneo. La escoria de alto horno es producto de desecho de la fabricación de hierro en lingotes, donde se obtienen cantidades del mismo orden de escoria y hierro. La escoria de alto horno es una mezcla de cal, sílice y aluminio, o sea los mismos óxidos que forman el cemento portland pero en distintas proporciones.

El cemento portland de escoria de alto horno, es bastante similar al normal y conserva las características de todos los cementos siderúrgicos: ser resistente a las aguas agresivas, bajo calor de hidratación, menos contracciones y sensibilidad a temperaturas bajas.

D) **Cemento Sobresulfatado.**- Se elabora con escoria granulada de alto horno, sulfato cálcico, cal hidratada y mínima cantidad de escoria de cemento portland. Este cemento se usa mucho en Bélgica, Francia y Alemania. Es muy resistente al agua de mar, a concentraciones de sulfato que se encuentran en aguas freáticas, a ácidos y aceites vegetales, terrenos yesosos y a diversos productos químicos como cloruros, carbonatos, sulfatos, nitratos, lejías, etc.

Este cemento se utiliza mucho en la construcción de alcantarillas y en suelos contaminados, es adecuado para construcciones de concreto masivo por su bajo calor de hidratación, pero debe tenerse cuidado en climas fríos pues la velocidad de endurecimiento se reduce con bajas temperaturas. No debe ser mezclado con otros cementos, ni debe curarse a vapor arriba de los 50°C sin hacer pruebas previas.

Cementos Grappiers.- Este tipo de cementos especiales se obtienen pulverizando los núcleos duros que resultan de la elaboración de la cal hidráulica.

Estos núcleos duros, constituyen un verdadero clinker y teóricamente bastaría triturarlos reduciéndolos a polvo para obtener un cemento, pero en la práctica se debe tener en cuenta que para su constitución entra una cantidad de cal (CaO) en estado disperso, que hay necesidad de eliminar, lo que se logra por trituraciones y moliendas sucesivas, alternando con ensilado durante las cuales la cal se hidrata y carbonata, convirtiéndose en un producto inerte.

Este cemento se comprende algunas veces entre las calces y no en los cementos. Su aplicación es limitada en la construcción por tratarse básicamente de un subproducto.

Otros Tipos de Cementos.- Hablaremos de otros tipos de cementos que no se contemplan en el cuadro sinóptico, por no ser de uso generalizado, pero que también son importantes.

- A) **Cemento de Albañilería.**- Este cemento se obtiene por la molienda de clinker, caliza y yeso, a veces se incluye alguna puzolana y en ocasiones algún inclusor de aire. En México se comercializan con los nombres de: morteros "Tolteca", "plastocemento", "plastical", etc.

Estos cementos son en realidad, aglomerantes combinados, los cuales mezclados con arena fina y agua producen un mortero plástico y cohesivo. Su tiempo de fraguado es menor y se logran mayores resistencias que con un mortero elaborado con cualquier otro tipo de cemento. Poseen menores cambios volumétricos, mayor poder de retención de agua y gran trabajabilidad. Se utiliza por la velocidad de ejecución de obra que se puede alcanzar en muros de tabique o block, trabajos de mampostería, recubrimientos en muro con piedras, aplanados de todo tipo y firmes, todo esto con el beneficio económico que conlleva la rapidez. Este cemento no debe utilizarse en la fabricación de concreto estructural.

- B) **Cementos Coloreados.**- Se fabrican añadiendo al cemento blanco o al portland determinados colorantes minerales o artificiales inorgánicos, pues los orgánicos son muy perjudiciales al fraguado y resistencia. Para que la mezcla sea homogénea se añade del 3 al 5% y como máximo un 10% en molinos. Al cemento blanco se le puede añadir cualquier pigmento y al portland únicamente los tonos rojizos y pardos. Estos cementos se emplean en la fabricación de revoques, pavimentos, terrazo, baldosas hidráulicas, piedra artificial, adoquines, etc.
- C) **Cemento Antibacteriano.**- Es un cemento portland para usos especiales que se ha mezclado con un agente antibacteriano, que previene la fermentación microbiológica. Se utiliza en pisos de concreto de plantas procesadoras de alimentos donde los ácidos vulneran el cemento y lo vuelven permeable, lo cual va seguido por la fermentación causada por las bacterias al contacto con la humedad. Resulta útil también en albercas, baños públicos y lugares similares donde es común la presencia de bacterias u hongos.
- D) **Cementos Expansivos.**- Algunos cementos de este tipo se desarrollan utilizando una mezcla de cemento portland, un agente expansivo y un estabilizador. Es preciso hacer un cuidadoso proporcionamiento de los ingredientes del cemento para obtener la expansión deseada. Ya que la expansión tiene lugar solo mientras el concreto está húmedo, el curado debe estar cuidadosamente controlado y el uso de cementos expansivos requiere experiencia y habilidad.

CAPITULO VII
PRUEBAS A LOS CEMENTANTES

- PRUEBA N^o 7: RESISTENCIA A FLEXION Y COMPRESION
DEL YESO*
- PRUEBA N^o 8: ESTABILIDAD DE VOLUMEN DEL CEMENTO*
- PRUEBA N^o 9: PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO*

CAPITULO VII PRUEBAS A LOS CEMENTANTES

PRUEBA Nº 7: RESISTENCIA A FLEXION Y COMPRESION DEL YESO

MARCO TEORICO

Para describir las características del yeso en forma general, podemos decir: que es un mineral muy blando, con densidad de 2.3 a 2.5; poco soluble en agua, ya que a los 40°C alcanza el mayor grado de solubilidad, es de color blanco y suave al tacto; no da efervescencia en los ácidos; poco resistente al ataque de agentes atmosféricos, flexible y mal conductor del calor, pero buen aislante del sonido y del fuego.

Las resistencias mecánicas del yeso semihidratado varían con la proporción de agua de amasado, ésta cantidad puede ser de 50% para las aplicaciones comunes, 60% para el estuco y del 70% para moldeo.

En la tabla VII.1 que se muestra a continuación, se observan las resistencias mecánicas para algunas proporciones de agua y el medio de conservación.

Tabla VII.1 Resistencias Mecánicas del Yeso

AGUA DE AMASADO %	RESISTENCIA A TRACCION A LOS 28 DIAS (KG/CM ²)		RESISTENCIA A COMPRESION A LOS 28 DIAS (KG/CM ²)	
	Conserv.Seca	Conserv.Húmeda	Conserv.Seca	Conserv.Húmeda
50	28	12	100	45
60	20	7	90	35
80	14	5	65	25
100	8	3	40	15

Como se observa, no es recomendable que el yeso se exponga al agua o humedad, ya que se reblandece y degrada. Es decir, que se debe utilizar únicamente en elementos, acabados o aplicaciones que no se encuentren expuestos a la intemperie. Es útil conocer la resistencia de un yeso, porque de esta manera estaremos concientes de que un acabado a base de yeso, además de su función decorativa, nos dará la alerta, cuando exista trasmisión de agua en el elemento o cuando éste tenga deformaciones, las cuales repercutirán en la alteración del acabado.

OBJETIVO

Conocer la consistencia de una pasta de yeso y agua. Así como observar el comportamiento de una muestra de este material sujeta a carga.

MATERIAL

- 2.0 Kg. de yeso
- 1.0 Lt. de Agua limpia o destilada
- Suficiente grasa desmoldante

EQUIPO

- Báscula de 5 Kg. con sensibilidad de 5 g.
- Cubeta de 10 litros de capacidad
- Probeta graduada
- Cuchara de albañil
- 6 moldes de 4 X 4 X 16 cm (para flexión)
- 6 moldes de 4 X 4 X 4 cm (para compresión)
- Charola

DESARROLLO

- 1.- Se mide un litro de agua y se vierte en la cubeta, se engrasan por dentro los moldes con una capa delgada y se colocan juntos en la charola.
- 2.- Se pesa el yeso y se vierte en la cubeta con agua. Con ayuda de la cuchara de albañil se agita la pasta para obtener una mezcla homogénea.
- 3.- Se llenan los moldes vaciando lentamente la mezcla y de tal modo que sea simultáneo el llenado para todos, ayudándose de la charola para recoger los escurrimientos.
- 4.- Se sacude ligeramente la charola para tratar de expulsar las burbujas de aire que pudieran haberse quedado en los moldes. Y con ayuda de la espátula se enrazan las muestras.
- 5.- Los moldes llenos se dejan en la cámara de curado durante 24 horas. Pasado este tiempo se desmoldan y se ponen a secar en horno a una temperatura de $30 \pm 10^{\circ}\text{C}$, pesándolas cada 24 horas, hasta obtener un peso constante (0.2 g de aproximación).
- 6.- Se prueban las muestras de 4X4X16 cm a flexión y las de 4X4X4 cm a compresión. Se promedian los resultados de cada grupo de seis especímenes y se compara con los datos de la tabla VII.1

PRUEBA Nº 8: ESTABILIDAD DE VOLUMEN DEL CEMENTO

MARCO TEORICO

El cemento una vez amasado, debe conservar la forma que se le ha dado, con objeto de que la obra a ejecutar no se altere o destruya.

La expansión de un cemento, se cree que es debida a una lenta hidratación de algunos de sus componentes, después del fraguado. Se atribuye a una dosificación excesiva de cal, magnesia o sulfatos.

La cal libre en un cemento, puede provenir, como se dijo, de la dosificación alta de cal en el crudo, la cual se combina con la sílice e insuficiente cocción o molido del crudo. Si la cal libre de un cemento es inferior a un 2% se hidrata espontáneamente en el ensilado al ser amasada, pero si se rebasa esta cantidad, produce expansión.

La cantidad excesiva de magnesia, se ha comprobado que podría repercutir en accidentes debidos a expansión, pero hasta algún tiempo después de que se concluye la construcción de la obra.

Debido a que la calcinación elevada, como es la del cemento, mantiene inerte por cierto lapso la magnesia calcinada, ésta actuará hasta que se hidrate completamente. Una dosificación menor al 6% de magnesia no producirá expansión, es por esto que se limita a esta cantidad en la producción del cemento, en casi todos los países.

La expansión debida a sulfato cálcico puede ocurrir durante el fraguado y endurecimiento del cemento y es causada por exceso de yeso y formación de sulfoaluminato cálcico en la fabricación del cemento.

El mejor medio de asegurarse de las cantidades que componen un cemento es el análisis químico, pero se pueden obtener datos importantes mediante pruebas de laboratorio, las cuales nos prevendrán para que no se tengan grandes expansiones o contracciones en los elementos de una construcción, debidas a el tipo y calidad de cemento utilizado.

OBJETIVO

Observar y medir la expansión que ocurre en un especimen de cemento, mediante la prueba de la aguja de "Le Chatelier"

MATERIAL

- 200 gramos de cemento
- 50 cm³ de agua

EQUIPO

- Aguja de "Le Chatelier"
- Dos placas de vidrio
- Vernier
- Charola
- Parrilla
- Termómetro
- Báscula de 5 Kg.
- Probeta graduada



DESARROLLO

- 1.- Se pesa el cemento y se mide el agua, con estas cantidades se amasa una pasta homogénea.
- 2.- Se llena con la pasta de cemento el aparato de "Le Chatelier" poniéndolo sobre la placa de vidrio y cubriendo con la otra.
- 3.- Se sumerge el aparato 24 horas en agua a 15°C y transcurrido este lapso se mide la distancia entre las agujas.
- 4.- Después se introduce en la charola con agua y se calienta a 100°C, manteniéndose en ebullición por 3 horas.
- 5.- Se retira del calor y se deja enfriar. Ya frío, se vuelve a medir la distancia entre las agujas.
- 5.- Se calcula la Expansión con la fórmula:

$$E = D_2 - D_1$$

Donde:

E = Expansión [mm]

D₂ = Distancia Final [mm]

D₁ = Distancia Inicial [mm]

PRUEBA Nº 9: PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO

MARCO TEORICO

El peso específico es una propiedad física del cemento, como se sabe es la relación que existe entre el peso del material y el volumen que ocupa. En los cementos portland su valor varía de 2.9 a 3.15, generalmente es mayor de 3.

El volumen de un cemento se mide por medio de unos frascos llamados volumenómetros, los cuales reciben el nombre de sus inventores. El de "Le Chatelier" es el mas comúnmente utilizado (se ilustra a continuación).



Frasco de "Le Chatelier"

Para utilizar el frasco de "Le Chatelier" se llena de líquido enrazando en el cero y se sumerge el cemento para medir su volumen.

El líquido utilizado para determinar el peso específico del cemento no puede ser agua, pues como ya sabemos reacciona y se hidrata, se emplea entonces algún líquido con el cual el cemento no reaccione.

Para calcular el peso específico se utiliza la fórmula:

$$P_c = \frac{P_c}{V_c} \text{ [gr/cm}^3\text{]}$$

Donde:

P_c = Peso específico

P_c = Peso del cemento (gramos)

V_c = Volumen del cemento (cm³)

OBJETIVO

Conocer una de las propiedades del cemento y cuantificarla, en este caso el peso específico.

MATERIAL

- 65 gramos de cemento
- Agua
- 250 cm³ de esencia de trementina (bencina o para_fina líquida)

EQUIPO

- Volumenómetro de "Le Chatelier"
- Termómetro
- Cubeta
- Parrilla
- Báscula
- Horno

DESARROLLO

- 1.- Se pesan 65 gramos de cemento y se ponen a secar en horno a 110°C por espacio de una hora. Transcurrido este tiempo se saca del horno, se deja enfriar y vuelve a pesar registrando este dato.
- 2.- Se pone a calentar la cubeta de agua sobre la parrilla hasta que alcance 20°C de temperatura.
- 3.- Se colocan dentro del volumenómetro los 250 cm³ de para_fina líquida y se pone el frasco dentro de la cubeta con agua.
- 4.- Se coloca el cemento dentro del frasco de "Le Chatelier" que contiene solución no reaccionante y se mide el volumen que ocupa registrándose el dato.
- 5.- Se calcula el peso específico con la formula dada anteriormente en la teoría.

CAPITULO VIII

EL CONCRETO

CAPITULO VIII EL CONCRETO

GENERALIDADES

El concreto es una mezcla de cemento, agua, arena y piedra triturada (grava u otro material inerte), que endurece después de cierto tiempo, en la cual reaccionan químicamente el cemento y el agua, ligando los agregados, formando un conglomerado pétreo artificial.

Este material de construcción se ha usado desde tiempos remotos y existen vestigios que aún se conservan, por ejemplo en Inglaterra, Roma y Grecia.

Para su fabricación antiguamente se usaba la cal grasa, cal hidráulica y cementos naturales como aglomerantes; ahora es diferente debido al descubrimiento de los cementos artificiales y a que las materias primas han sufrido evolución.

El concreto, sobre todo el que se elabora con cemento portland, tiene un extenso uso en la construcción, debido a sus características favorables.

Una de las mas importantes es la de su alta resistencia y bajo costo; otra es la de su plasticidad, ya que por la manera en que se elabora se le puede dar cualquier forma, mediante un molde, al que comúnmente se le llama cimbra y las caras expuestas pueden trabajarse de forma lisa o áspera para crear los efectos arquitectónicos deseados; también es capaz de soportar el desgaste por tráfico de camiones o aviones. Y además tiene una alta resistencia al fuego y a la penetración del agua.

Una desventaja importante es que en ocasiones, el control de calidad no es adecuado, porque con frecuencia el concreto se prepara en obra sin la supervisión necesaria. Otra desventaja es que el concreto es un material de relativa fragilidad y su resistencia a tensión es pequeña comparada con su resistencia a la tensión, lo cual puede contrarrestarse reforzando o presforzando el concreto con acero.

Cuando el concreto se utiliza combinado con acero de refuerzo alcanza grandes beneficios y tiene aplicación en considerable variedad de construcciones como son: estructuras para edificios, pisos y entrepisos, techos y muros, puentes, pavimentos, pilotes de cimentación, presas, diques, tanques, etc.

El concreto es un material de construcción que se ha estudiado ampliamente. sus propiedades son bastante conocidas, aunque varían dependiendo de su dosificación, tipo de concreto, resistencia, etc., entre las mas generales tenemos las siguientes:

Peso específico

En el concreto ligero se encuentran valores entre aproximadamente 0.2 y 1.5, en el concreto normal varía de 2.0 a 2.5; en el concreto pesado se encuentra entre 2.5 y 3.5 y en un concreto ferroso de 4 a 5.

Resistencias mecánicas

La resistencia de un concreto, la determina el proporcionamiento de la mezcla y se comprueba con muestras que después de curadas se someten a compresión. Además de este esfuerzo, el concreto debe soportar el de tensión diagonal o cortante y adherencia, los cuales se pueden probar individualmente, pero el esfuerzo de compresión es buen indicador de todas las propiedades mecánicas, se representa como $f'c$ y se encuentra entre los 70 a 150 Kg/cm² para concreto pobre, 150 a 350 Kg/cm² para concreto normal y 350 a 500 Kg/cm² para el de alta resistencia.

Adherencia

Sobre todo para el concreto armado esta propiedad es muy importante ya que la adherencia permite que el concreto absorba los esfuerzos de compresión y el acero los de tensión. El valor medio del coeficiente de adherencia es de 35 Kg/cm².

Dilatación Térmica

Por acción del calor o la temperatura el concreto sufre variaciones en su volumen, el coeficiente de dilatación térmica del concreto es de 0.00001 y el coeficiente de conductibilidad térmica es de 1.8 (según Santarella).

Conductividad Eléctrica

El concreto es poco conductor de la electricidad y disminuye a medida que la cantidad de cemento es menor, así como también cuando la relación de arena y grava disminuye.

Elasticidad

El concreto es un material linealmente elástico, la relación esfuerzo-deformación para cargas crecientes en forma continua se traza como línea curva y para un concreto que ha endurecido completamente y recibe una precarga moderada, esta curva es prácticamente una recta dentro de los límites de los esfuerzos usuales de trabajo. El módulo de elasticidad para concretos normales a los 28 días está entre 202,500 y 286,200 Kg/cm².

Impermeabilidad

Esta cualidad es de gran importancia para las estructuras que se localicen debajo del nivel de terreno o expuestas al agua, ya que el deterioro que pueden sufrir por la penetración de humedad es considerable. Para aumentar la impermeabilidad de un concreto se necesita aumentar su densidad, lo cual se logra con la relación agua/cemento estricta y una masa uniforme. Por ejemplo para un concreto de 210 Kg/cm² con una mezcla de 1:2:3 o mayor deberá utilizarse una relación de 26.6 lts de agua por saco de cemento y como máximo de 28.9

ETAPA DE ELABORACION

Las proporciones en que se mezclan los distintos componentes para fabricar un concreto, varían de acuerdo a las características deseadas, sin embargo el porcentaje de cada uno respecto al volumen total, se encuentra generalmente como indica la siguiente tabla:

Tabla VIII.1 Composición proporcional del concreto en volumen

COMPONENTE	VOLUMEN %
Agregados (grava + arena)	75.0
Cemento	10.0
Agua	15.0

La calidad de la pasta, así como la resistencia, densidad, trabajabilidad, impermeabilidad y durabilidad se determinan por las proporciones de agua y cemento junto con la granulometría de los agregados. La granulometría se ha mencionado en el capítulo correspondiente a agregados y de la relación agua-cemento hablaremos a continuación.

La relación agua-cemento A/C

Se expresa por un factor que indica la cantidad de agua en litros por cada saco de cemento de 50 Kg. que habrá de utilizarse para un concreto. Las pruebas de laboratorio muestran que dentro de límites razonables de trabajabilidad, cuanto menor cantidad de agua haya por saco de cemento, mayor será la resistencia del concreto.

Cuando se establece esta relación deseada en función de la resistencia requerida y cierta trabajabilidad, se selecciona entonces la mejor combinación de agregados para producir un concreto.

Las relaciones agua-cemento que aparecen en la tabla VIII.2 se pueden usar como guía para mezclas de concreto de diferentes resistencias.

Tabla VIII.2 Relaciones A/C Máximas permisibles para concreto

f'c A 28 DÍAS (kg/cm ²)	CONCRETO SIN AIRE INCLUIDO		CONCRETO CON AIRE INCLUIDO	
	A/C MÁXIMA (lt/saco)	A/C ABSOLUTA POR PESO	A/C MÁXIMA (lt/saco)	A/C ABSOLUTA POR PESO
175	32.1	0.642	27.8	0.554
210	28.9	0.576	28.3	0.465
245	25.6	0.510	20.0	0.399
280	22.2	0.443	17.8	0.354

La etapa de elaboración de un concreto, comprende en forma general dos procesos: el de dosificación y el de mezclado, los cuales se describen a continuación, así como los factores principales que intervienen en cada uno de ellos.

DOSIFICACION

El proporcionamiento de los agregados debe ser tan exacto como la magnitud de la obra lo requiera y de ser posible comprobar el resultado. Como se ha mencionado, el proporcionamiento varía de acuerdo al tipo de obra y para ello se tienen varios métodos:

Métodos Empíricos

Son de carácter aproximado y se basan en nomogramas y tablas obtenidos de pruebas y experiencias, que sugieren las cantidades a utilizar, cuando el tiempo u otras condiciones no permiten dosificar utilizando otros métodos.

Únicamente deben emplearse, en obras de poca importancia y en trabajos pequeños, donde una variación de las características no resulte trascendental, de esta manera expondremos a continuación dos procedimientos:

1) Estableciendo la resistencia requerida a 28 días del concreto a utilizar, entramos a las tablas VIII.3 y VIII.4 respectivamente y obtendremos directamente las recomendaciones de proporcionamiento, con las cuales se efectuará la mezcla.

Tabla VIII.3 Componentes de 1 m³ de concreto con T.M.A. de 19 mm

$f'c$ (Kg/cm ²)	PROPOR- CION	CEMENTO (Kg)	ARENA (Lt)	GRAVA (Lt)	AGUA (Lt)
288	1:1½:1½	532	527	527	234
270	1:1½:2	480	475	634	220
245	1:1½:2½	434	430	716	211
230	1:1½:3	400	396	792	208
205	1:2:2	418	552	552	234
195	1:2:2½	388	512	640	225
185	1:2:3:	362	478	717	217
164	1:2:3½	344	441	772	214
147	1:2:4	313	413	827	213
156	1:2½:2½	351	579	579	232
140	1:2½:3	327	540	648	229
132	1:2½:3½	307	507	709	221
118	1:2½:4	287	474	758	218
94	1:3:4	266	527	703	223
84	1:3:4½	252	499	749	222
76	1:3:5	240	480	742	221

Tabla VIII.4 Componentes de 1 m³ de concreto con T.M.A. de 38 mm

$f'c$ (Kg/cm ²)	PROPOR- CION	GEMENTO (Kg)	ARENA (Lt)	GRAVA (Lt)	AGUA (Lt)
303	1:1½:1½	526	521	521	221
270	1:1½:2	472	468	623	215
245	1:1½:2½	423	419	698	212
230	1:1½:3	390	366	773	208
217	1:2:2	412	544	544	222
195	1:2:2½	381	503	503	221
185	1:2:3:	353	466	699	212
164	1:2:3½	325	429	750	208
140	1:2:4	305	403	805	207
156	1:2½:2½	345	569	569	227
147	1:2½:3	320	528	634	218
132	1:2½:3½	300	495	693	216
118	1:2½:4	281	474	758	213
94	1:3:4	262	517	692	220
89	1:3½:4½	247	489	734	212
80	1:3:5	234	464	772	211

II) Estimando la resistencia del concreto a compresión a los 28 días y empleando la tabla VIII.5 se obtiene la posible relación agua cemento, con y sin inclusión de aire.

El tamaño máximo de agregado a utilizar se puede definir mediante la tabla VIII.6 donde se recomiendan según el tipo de construcción.

Una vez determinados los datos de la relación agua cemento y el T.M.A., se entra en la tabla VIII.7 eligiendo inicialmente la mezcla B que corresponda al tamaño máximo de agregado seleccionado, se obtiene el volumen de cemento directamente y se calcula el volumen de agua a utilizar con la relación A/C.

Si al hacer la mezcla se observa con demasiada grava, se cambia a la mezcla A de la tabla o si tiene exceso de arena, se cambia al tipo de mezcla C de la misma tabla. Los pesos dados son para arena seca, cuando se utiliza arena húmeda deberán aumentarse 5 kg. por saco de cemento y para arena muy mojada 10 Kg.

Tabla VIII.5 Resistencia a Compresión estimada del Concreto para diversas relaciones A/C

PROPORCION A/C EN PESO	RESISTENCIA A 28 DIAS (Kg/cm ²)	
	SIN AIRE INCLUSO	CON AIRE INCLUSO
0.40	380	300
0.45	345	275
0.50	300	245
0.55	270	220
0.60	240	190
0.65	210	170
0.70	190	155

Tabla VIII.6 Tamaño Máximo recomendado de Agregados

DIMENSION MINIMA DE LA SECCION (PULG)	TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADO (PULG)		
	VIGAS, COL. Y MUROS DE CONC. REFORZADO	LOSAS MUY REFORZADAS	LOSAS CON REF. LIGERO O SIN REFORZAR
5 ó menos	----	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$
6 - 11	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$ - 3
12 - 29	$1\frac{1}{2}$ - 3	3	3 - 6
30 ó mas	$1\frac{1}{2}$ - 3	3	6

Tabla VIII.7 Mezclas Típicas de Concreto

T.M.A. (PULG)	TIPO DE MEZCLA	SACOS DE CEMENTO POR M ³	ARENA (KG/SACO)		GRAVA O PIEDRA T. (KG/SACO)
			CON AIRE	SIN AIRE	
$\frac{1}{2}$	A	5.4	107	111	77
	B	5.3	102	107	86
	C	5.2	102	107	93
$\frac{3}{4}$	A	5.0	102	107	102
	B	4.9	102	107	111
	C	4.8	98	102	120
1	A	4.9	102	107	111
	B	4.7	98	102	125
	C	4.7	93	98	132
$1\frac{1}{2}$	A	4.6	102	107	132
	B	4.5	98	102	145
	C	4.4	93	98	157
2	A	4.4	102	106	150
	B	4.3	98	102	163
	C	4.1	93	98	172

Métodos Experimentales

Debido al gran número de variables, suele ser aconsejable proporcionar o dosificar las mezclas de concreto, con la preparación y prueba de lotes experimentales. Esto generalmente se hace cuando los materiales a utilizar son poco comunes, de calidad dudosa o en obras que por su magnitud no permiten ningún tipo de riesgo.

Se empieza con la selección de la relación agua-cemento y se preparan varias mezclas de prueba, con diversas proporciones de agregados a fin de obtener la trabajabilidad deseada con el mínimo de cemento. Los agregados utilizados en las mezclas de prueba deben tener el mismo contenido de humedad que los que se utilicen en obra.

La cantidad de agua utilizada debe contemplar el agua absorbida por los agregados secos o se debe reducir según la cantidad de agua libre en estos cuando se hallen mojados. El agua utilizada debe ser lo mas pura posible, ya que el contenido de alcalis o de otras substancias afecta las propiedades de concreto y en particular su resistencia.

Deben hacerse observaciones del revenimiento y apariencia de la mezcla y por último se prueban especímenes para evaluar su resistencia y características hasta encontrar las deseadas. Algunas veces, después de seleccionada la proporción, es necesario hacer algunos cambios cuando se aplica directamente en la obra.

Métodos Analíticos

Son los de empleo habitual y se basan en estudios de grandes investigadores, quienes han propuesto diversas fórmulas para determinar la resistencia probable que alcanzará el concreto al cabo de cierto tiempo, entre ellas podemos indicar:

$$\text{Fórmula de ABRAMS} \quad R = \frac{A}{B^{1.5} \omega}$$

Donde: R = Resistencia a los 28 días en Kg/cm²
 A = Constante = 985 para cemento portland
 B = Constante = 9
 ω = Relación agua/cemento en peso

Fórmula de GRAF
$$R = \frac{R_m}{400} \left(\frac{1640}{\omega^2} + 30 \right)$$

Donde: R = Resistencia a los 28 días en Kg/cm²
 R_m = Resistencia alcanzada por el mortero normal 1:3 en peso a los 28 días = 400 para cemento portland
 ω = Relación agua/cemento en peso

Fórmula de BOLOMEY
$$R = \frac{R_m}{2.7} \left(\frac{1}{\omega} - 0.5 \right)$$

Donde: R = Resistencia a los 28 días en Kg/cm²
 R_m = Resistencia alcanzada por el mortero normal 1:3 en peso a los 28 días = 400 para cemento portland
 ω = Relación agua/cemento en peso

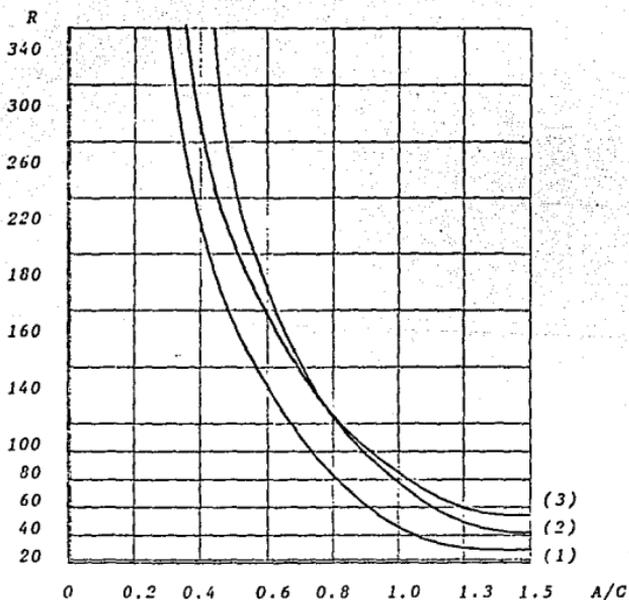
Y de otra manera BOLOMEY a indicado

$$R = \left[\left(\frac{\Delta}{2.35} \right) \times \frac{C}{A} \right]^{1/2} \times \frac{K}{2}$$

Donde: R = Resistencia a los 28 días en Kg/cm²
 Δ = Densidad del concreto
 K = Coeficiente que depende del tipo de cemento
 C = Cantidad de cemento
 A = Cantidad de agua

En las curvas de la tabla VIII.8 siguiente, se representa el comportamiento de las fórmulas descritas, en ellas se observa la resistencia a compresión expresada en Kg/cm², en función de la relación agua-cemento en peso. Como se muestra siguen mas o menos una conformación similar, lo cual comprueba que cualquiera de las ecuaciones puede utilizarse para una dosificación racional.

Tabla VIII.8 Curvas de Abrams, Graf y Bolomey
(1) (2) (3)



Como se ha dicho, por medio de las fórmulas descritas se puede relacionar la resistencia de un concreto con las cantidades de cemento y agua. Para ejemplificar la dosificación, podemos utilizar la fórmula de Bolomey:

$$\text{Si llamamos } K = \frac{R_m}{2.7} \quad \text{y} \quad \frac{1}{\theta} = \frac{A}{C}$$

$$\text{Sustituyendo tenemos } R = K \left(\frac{C}{A} - 0.5 \right) \quad [I]$$

La relación entre la cantidad de agua A y el módulo de finura del agregado mas cemento es:

$$A = \frac{b}{M} \quad [II]$$

Donde:

- A = cantidad de agua expresada en porcentaje, por metro cúbico
- M = módulo de finura
- b = coeficiente que depende del agregado

= 34 para consistencia seca	}	valores para agregado
= 40 para plástica		redondeado, para triturado
= 43 para fluida		aumentar 25%

Si llamamos Ma al módulo de finura el agregado y Mc al módulo de finura del cemento, el de la mezcla será:

$$M = \frac{M_a (100 - c) + M_c \cdot c}{100} = M_a \left(1 - \frac{c}{100} \right) + M_c \frac{c}{100}$$

Y como Mc es muy pequeño por la finura de sus granos, se puede despreciar, quedando:

$$M_a \left(1 - \frac{c}{100} \right)$$

Sustituyendo [II] en la anterior tenemos lo siguiente

$$A = \frac{b}{Ma \left(1 - \frac{c}{100} \right)}$$

Y a su vez, poniendo este valor en la [I] se transforma en

$$R = K \left(\frac{Ma \cdot c \left(1 - \frac{c}{100} \right)}{b} - 0.5 \right)$$

Haciendo operaciones y resolviendo la ecuación, obtendremos la fórmula [III] que nos permite calcular la resistencia probable de un concreto, conociendo el módulo de finura del agregado.

$$c = 50 - 10 \sqrt{25 - \frac{b}{Ka} \left(0.5 + \frac{R}{K} \right)} \quad \text{[III]}$$

EJEMPLO No. 1: Se quiere calcular la resistencia probable de un concreto a 28 días, conociendo el módulo de finura del agregado, la consistencia deseada y el consumo de cemento por metro cúbico.

DATOS: $R_m = 400 \text{ Kg/cm}^2$; $Ma = 5$; $b = 40$;
 $c = 300 \text{ Kg/m}^3$
 densidad del concreto fresco de 2200 Kg/m^3

La cantidad de cemento será $c = \frac{300}{2200} = 0.136 = 13.6\%$

Y la cantidad de agua $A = \frac{40}{5 (1 - 0.136)} = 9.3\%$

En total para un metro cúbico $2200 \times 0.093 = 205$ litros

$$\text{Entonces la relación } w = \frac{A}{C} = \frac{205}{300} = 0.683$$

Y finalmente la resistencia del concreto será:

$$R = 148 \left(\frac{1}{0.683} - 0.5 \right) = 142 \text{ Kg/cm}^2$$

EJEMPLO No.2: Encontrar la cantidad de cemento a utilizar por metro cúbico, para un concreto de resistencia determinada conociendo el módulo de finura y la consistencia.

DATOS: $R = 250 \text{ Kg/cm}^2$; $Ma = 7$; $K = 148$; $b = 40$

Sustituyendo los valores en la fórmula [III] tenemos:

$$c = 50 - 10 \sqrt{25 - \frac{40}{7} \left(0.5 + \frac{250}{148} \right)} = 14.6\%$$

$$M = 7 \left(1 - \frac{14.6}{100} \right) = 6$$

$$A = \frac{40}{6} = 6.6\%$$

Con lo cual obtenemos:

Cemento	=	2200×0.146	=	321 Kg
Agregados	=	2200×0.788	=	1734 Kg
Agua	=	2200×0.066	=	145 Kg

				2200 Kg

MEZCLADO

Para producir un concreto de primera calidad, es indispensable un mezclado completo con el cual se produce una pasta uniforme que nos da un mayor grado de trabajabilidad y una mejor resistencia.

El hacer el mezclado a mano resulta muy costoso y solamente se utiliza esporádicamente cuando el volumen no amerita una revoladora, pero en la actualidad cualquier obra cuenta con una máquina revoladora, la cual se utiliza para todos los trabajos menores, dejando los de mayor importancia para un concreto premezclado en los cuales interviene la dosificación en planta.

Para el mezclado existen en el mercado infinidad de tipos de revoladoras, pero además de la capacidad o la velocidad de rotación, la importancia radica en el tiempo de mezclado, ya que nunca debe ser menor a un minuto y mientras mayor sea este tiempo más uniforme será la mezcla. En el proceso de mezclado pueden observarse algunas características que adquiere el concreto de entre ellas tenemos:

Trabajabilidad

Es una propiedad importante para la aplicación del concreto, aunque resulta difícil de evaluar, en esencia es la facilidad con la que pueden mezclarse los ingredientes y el concreto resultante puede manejarse transportarse y colocarse con poca pérdida de homogeneidad.

Fluidez

Es la característica más ligada a la trabajabilidad y mediante algunas pruebas, como la de revenimiento, mesa de fluidez, remoldeo, etc. se trata de medir esta propiedad en un concreto e indirectamente su trabajabilidad. La fluidez también es una medida de la cohesión que existe en una mezcla y su tendencia a la segregación.

Temperatura

La temperatura ambiente en el mezclado afecta la trabajabilidad del concreto, aunque en términos reales lo que es importante es la temperatura de la mezcla en sí. Como se sabe al mezclarse el agua con el cemento se desprende calor de hidratación aumentando la temperatura, este calor generado puede ser alto o bajo dependiendo del tipo de cemento utilizado y del volumen de la masa de concreto.

Al aumentar la temperatura en un concreto hasta 50°C se observa una gran pérdida de trabajabilidad y se deben utilizar aditivos fluidificantes, agua fría para la mezcla, inclusión de aire, aumento en la cantidad de agua o cualquier otro método que resulte apropiado para recuperar la consistencia.

Cuando se tiene temperaturas bajas en el mezclado y colocación del concreto es aconsejable utilizar un cemento que genere suficiente calor de hidratación y así evitar el congelamiento y por consiguiente baja calidad y resistencia. También se puede calentar el agua de amasado o los agregados antes de mezclarlos para tratar de que la mezcla se encuentre entre 20 y 33°C que resulta ser la temperatura recomendable.

ETAPA DE COLOCACION

Cuando se ha mezclado perfectamente el concreto se procede a colocarlo en las cimbras o moldes, para que adquiera su forma final. El procedimiento para colocación, también llamado colado del concreto, contempla algunos factores de vital importancia, como son la segregación, compactación o vibrado, transporte y bombeo o lanzamiento en algunos casos: todo esto para que el concreto logre el endurecimiento apropiado y no se alteren sus características de diseño por mal manejo.

Segregación

Ocurre cuando se separan las partículas o elementos de la mezcla, de tal forma que deja de ser uniforme y cohesiva, dando lugar a una pasta poco compactable y con grandes huecos en ciertas zonas y en otras con gran concentración de espuma o lechada de cemento y finos. La causa principal, es la tendencia a la segregación que presenta una pasta cuando existe gran diferencia en el tamaño de las partículas, aunada a un inadecuado transporte del concreto, caídas desde gran altitud para colocarse en la cimbra y vibrado o apizonado excesivo.

Vibrado

El concreto dentro de las cimbras debe ser vibrado para lograr que se compacte la mezcla y evitar huecos o espacios vacíos. El medio mas antiguo para hacerlo ha sido picando la superficie o apizonando manualmente a fin de colocar las partículas mas cerca unas de otras. Pero actualmente el uso de vibrador, ya sea eléctrico o neumático, produce excelentes resultados, los hay internos (inmersión), externos (percusión). superficiales, etc.

Bombeo

La principal ventaja de bombear el concreto radica en que se hace llegar a diversos puntos de un área extensa, que de otra manera no serían accesibles. Es conveniente su uso en sitios congestionados o en aplicaciones especiales, como los revestimientos de túneles o losas de niveles altos. El concreto que se bombea debe estar perfectamente mezclado antes de introducirse en la bomba, generalmente es premezclado en planta y de la olla revoladora se pasa directamente a la bomba, su costo es elevado, pero se reducen las posibilidades de segregación.

Concreto Lanzado

Es un método de colocación en el cual se aplica el concreto directamente contra la forma por medio de un chorro de aire, es de especial utilidad para conformaciones que no tienen cimbra en un lado. La fuerza del impacto del chorro sobre la superficie compacta el material para que se sostenga por sí mismo sin escurrirse ni desprenderse, aunque se encuentre en una superficie vertical o un techo. Resulta un procedimiento caro y la calidad depende de los operadores y la maquinaria, es por esto que se utiliza en trabajos muy especiales como son, revestimiento de túneles, tanques presforzados, techos de cascarón, reparación de concreto dañado, estabilizar taludes de roca, etc.

Concreto con agregado precolocado

Se produce en dos etapas, primero se coloca el agregado grueso en la cimbra y se compacta, después se llenan de mortero las cavidades que quedan entre las partículas. El agregado que se utiliza para este concreto es de granulometría escalonada, es económico en lo que se refiere al cemento, pero la resistencia esta limitada por la alta relación agua-cemento y generalmente se emplea elementos de difícil acceso.

ETAPA DE ENDURECIMIENTO

En términos generales, el concreto durante su endurecimiento presenta factores en los cuales debe tenerse especial atención, para que se logre alcanzar satisfactoriamente la resistencia, durabilidad, impermeabilidad, etc. que determinan que el concreto sea de buena calidad. Entre estos factores tenemos los que se mencionan a continuación.

Fraguado

El endurecimiento del concreto se debe a la acción química entre el agua y el cemento y continúa indefinidamente mientras se tenga humedad y temperatura favorables. El fraguado inicial se efectúa dos o tres horas después del mezclado, durante este intervalo se evapora el agua en las superficies expuestas y puede llegar a agrietarse si no se evita la pérdida de humedad; cuando el concreto ha fraguado completamente es muy importante que se siga manteniendo la humedad y en este estado es más fácil hacerlo debido a que se tiene cierta dureza que permite la manipulación del elemento sin la cimbra.

Sangrado

El sangrado que se conoce también como ganancia de agua es un tipo de segregación en la cual parte del agua de la mezcla tiende a subir a la superficie del concreto recién colado. Esto se debe a que los componentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua de mezclado y cuando se asientan en el fondo. La tendencia al sangrado depende de las propiedades del cemento utilizado, disminuye cuando aumenta la finura del cemento y las mezclas ricas suelen ser menos propensas que las pobres, así como también el aire incluido en un concreto lo reduce con eficacia.

Por causa del sangrado la superficie de un colado puede quedar demasiado húmeda e incluso con una capa de lechosidad que forma una superficie porosa y débil; si el agua o lechada queda atrapada entre dos capas de concreto superpuestas, se puede tener un conjunto poroso y débil sin adherencia. El sangrado no es dañino si no se interrumpe, es decir, dejando que se evapore el agua superficial, con lo cual la relación efectiva agua-cemento se puede disminuir dando como resultado un aumento de la resistencia.

Curado

Durante las etapas tempranas de fraguado es necesario procurar la hidratación del cemento y controlar la temperatura y humedad del concreto fresco por medio del curado. Esto se logra manteniendo el elemento de concreto saturado de agua, las pérdidas de resistencia que provocan un curado inadecuado es más pronunciada en elementos esbeltos y es menor cuando se utiliza un agregado ligero para la mezcla, pero en general las mezclas más ricas en cemento suelen ser afectadas en sus resistencias cuando no se hace un curado adecuado.

Los tipos de curado más conocidos y utilizados son aquellos que mantienen un ambiente húmedo por medio de adición de agua, los que sellan el agua dentro del concreto y los que apresuran la hidratación.

Estos métodos de curado varían dependiendo de las condiciones de la obra y de la forma, dimensiones y posición del elemento; pero siempre tendrán como finalidad incluir todas las operaciones que mejoren la hidratación del concreto y efectuándolo en forma correcta durante un período suficientemente largo se logrará alcanzar su máxima resistencia e impermeabilidad.

Dilatación y Contracción

Los cambios volumétricos pueden ser tempranos, como en el caso de la contracción plástica que ocurre por evaporación de agua en el proceso de hidratación y produce grietas superficiales; o incluso pueden ocurrir después del fraguado y presentarse como expansiones y contracciones.

Las expansiones se presentan cuando se tiene una fuente de agua que permite la hidratación continua y absorción de agua por parte del gel de cemento dando como resultado aumento en el volumen y peso.

Las contracciones se observan cuando no se permite movimiento de humedad de entrada o salida de la pasta y se da una contracción autógena, la cual solo es significativa en estructuras de concreto masivo, y más generalmente por proceso de secado, en el cual se pierde el agua absorbida y se tiene una disminución en el volumen y el peso.

RESISTENCIA

La resistencia del concreto es la principal de sus propiedades y en ella influyen infinidad de factores, como son la relación agua-cemento, la calidad de los agregados y su granulometría, la cantidad y calidad del agua de amasado ya que las impurezas afectan la resistencia, el tipo y cantidad de cemento utilizado, el proceso de mezclado, el procedimiento y temperatura de colocación, el curado, el grado de exposición a la intemperie y temperatura, el agrietamiento, la porosidad y la edad del concreto.

La resistencia del concreto puede ser de diferentes tipos: Resistencia a agentes químicos, Resistencia al intemperismo que incluye condiciones atmosféricas y temperaturas extremas, Resistencia al fuego y Resistencias mecánicas, de estas últimas hablaremos a continuación.

Resistencia a la Tensión

Esta resistencia se desprecia por ser mucho menor que la resistencia a compresión y tiene una correlación deficiente con $f'c$. La resistencia a tensión que se determina por pruebas a flexión es de al rededor de $7\sqrt{f'c}$ para concretos de alta resistencia y $10\sqrt{f'c}$ para concretos de baja resistencia. Para un concreto en tensión axial, tanto las resistencias como las deformaciones correspondientes, son aproximadamente del orden de una décima parte de los valores respectivos en compresión axial. Se calcula con la fórmula siguiente para especímenes cilíndricos:

$$f_{t,iii} = \frac{2P}{\pi dl} \quad [\text{Kg/cm}^2]$$

Donde:

- P = Carga máxima aplicada [Kg]
- d = diámetro del espécimen [cm]
- l = longitud del espécimen [cm]

Resistencia a Compresión

La resistencia a compresión de un concreto suele aumentar con la edad, pero la medida mas común de especificarla es a los 28 días, mediante el esfuerzo denominado $f'c$.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad [\text{Kg/cm}^2]$$

Este valor del esfuerzo a compresión, se determina con una prueba de compresión axial uniformemente repartida en la sección transversal del elemento, por medio de una placa rígida. Y es el resultado de dividir la carga total aplicada P, entre el área de la sección transversal A del espécimen, este esfuerzo se obtiene bajo la hipótesis de que la distribución de deformaciones es uniforme y de que las características esfuerzo-deformación son constantes en toda la masa.

Los ensayos de especímenes bajo compresión triaxial, muestran que la resistencia y la deformación unitaria correspondiente crecen al aumentar la presión lateral de confinamiento, es decir que el aumento de la resistencia esta en función directa del incremento de la presión de confinamiento. Y los resultados que se obtienen pueden representarse por medio de la expresión:

$$f_1 = f'c + 4.1 f_2 \quad [\text{Kg/cm}^2]$$

Resistencia a Flexión

Para algunas aplicaciones, tales como pavimentos de concreto, es necesario conocer la resistencia a la flexión del concreto simple. Esta se determina ensayando un espécimen libremente apoyado, sujeto a una o dos cargas concentradas y basándose en la hipótesis de que el concreto es elástico hasta la rotura. El esfuerzo teórico de tensión en la fibra inferior correspondiente a la rotura, se calcula mediante el empleo de la fórmula:

$$f_r = \frac{M c}{I}$$

Donde:

f_r = Módulo de rotura [Kg/cm²]

M = Momento flexionante correspondiente a la carga máxima aplicada [kg*cm]

c = medio peralte de la sección [cm]

I = Momento de inercia de la sección transversal [cm⁴]

Este valor nos determina, entonces, una medida indirecta de la resistencia del concreto a la flexión, ya que el esfuerzo máximo de falla a flexión se determina mediante la resistencia a la tensión debida a la flexión, pero normalmente el módulo de rotura es mayor que la resistencia a la tensión obtenida por otras pruebas. Aunque el esfuerzo a flexión también depende de la resistencia a compresión, es difícil establecer una relación entre los valores de f_r y f'_c .

Flujo Plástico

La relación entre el esfuerzo y la deformación en el concreto es una función del tiempo, el aumento gradual de deformación que se produce con el tiempo y bajo carga se debe a la fluencia. La fluencia puede definirse como el aumento de deformación que se presenta bajo esfuerzos sostenidos y puede ser mucho mayor que la deformación causada por la carga normal.

El flujo plástico aumenta con la duración y con el nivel de la carga, este fenómeno en ciertos límites, tiende a aliviar las zonas de máximo esfuerzo y por lo tanto, a uniformizar los esfuerzos en un elemento.

La fluencia del concreto se suele determinar midiendo los cambios de deformación que ocurren al pasar el tiempo en especímenes sujetos a esfuerzo constante y almacenados en condiciones adecuadas. La fluencia afecta las deformaciones y deflexiones, y con frecuencia también la distribución de esfuerzos, pero sus efectos varían de acuerdo con el tipo de estructura.

TIPOS DE CONCRETO

Existe una gran variedad de concretos, que han sido creados con la finalidad de solucionar un problema determinado de obra y han encontrado aplicación en otros muchos, con algún cambio, adecuación o perfeccionamiento. Es por esto que tratar de mencionar todos los tipos de concreto resulta bastante difícil, nos enfocaremos a los más comunes, partiendo de los componentes que se van utilizando para darles las características específicas.

DE ACUERDO AL TIPO DE CEMENTO

El tipo de cemento utilizado para elaborar el concreto, le proporciona ciertas características, de esta forma tenemos:

Concreto Normal

Se utiliza el cemento portland normal o tipo I para el la mezcla de concreto, es el de la generalidad de construcciones y sus características son las bases para la creación de todos los demás.

Concreto de moderado Calor de Hidratación

En la elaboración de este concreto se utiliza el cemento tipo II o modificado, con el se obtienen moderado calor de hidratación y baja resistencia a sulfatos, se utiliza en obras hidráulicas y presas.

Concreto de Alta Resistencia

Es el concreto en el cual se utiliza el cemento Tipo III, como su nombre lo indica alcanza altas resistencias a edades tempranas, se utiliza en obras a corto plazo donde la optimización de recursos está en función del tiempo.

Concreto de Bajo Calor de Hidratación

En este concreto se utiliza el cemento tipo IV, con lo cual se logra que el calor de hidratación baje significativamente y se puedan hacer colados en masa, como por ejemplo en presas y cualquier obra donde se tiene gran volumen de concreto.

Concreto de Alta Resistencia a los Sulfatos

Al hacer un concreto con cemento tipo V se obtiene una mezcla con la que la estructura tendrá gran resistencia a los sulfatos, se utiliza principalmente en túneles, canales y otras obras donde el concreto se encuentra expuesto a ataques que pueden deteriorarlo.

SEGUN EL TIPO DE AGREGADO

Concreto Ciclópeo

Se le llama así al concreto que contiene agregado grueso normal y algunos mampuestos de tamaño mayor a 25 cm. este tipo de concreto se utiliza en presas y cimentaciones.

Concreto Ligero

Es aquel que tiene una densidad muy baja, la cual se produce debido a la selección de los agregados con esta misma característica, los mas utilizados para este fin son la piedra pómez, toba, ceniza volcánica, arcilla, pizarra, tezontle, obsidiana y perlita. Este tipo de concreto es mas poroso que un concreto normal y por lo tanto de una menor resistencia, tiene la ventaja de ser aislante acústico y térmico, se utiliza para aligerar el peso de las estructuras, en rellenos y fachadas.

Concreto Pesado

Se produce con agregados mas pesados que los normales, por ejemplo con barita, limonita y magnetita, o con pedacería de hierro y a veces se utiliza munición de acero como agregado fino, alcanzando un peso volumétrico de 3200 Kg/m³ y hasta de 5500 Kg/m³. Estos concretos no tienen buena resistencia a la intemperie ni a la abrasión, pero se utilizan como protección contra la radiación y contrapesos.

Concreto sin Pinos

Es un concreto ligero en el cual se omite el agregado fino, dando como resultado un concreto con huecos, se utiliza para reducir la carga muerta de la obra o para aislar del ruido, calor o frío.

Concreto de Cascote

Es el concreto cuyos agregados son total o parcialmente restos triturados de ladrillos o de demolición de otros concretos. Se utilizan como relleno.

Concreto con agregado Orgánico

Se emplean para su elaboración el serrín, viruta de madera, corcho, paja y turba obtenidos de la elaboración de productos de madera, siendo el pino, el abeto, haya y plátano los más empleados. Este tipo de concreto es ligero, buen aislante y su comportamiento depende del tipo de madera o árbol del cual provienen los agregados.

CONFORME A LOS ADICIONANTES

Concreto con Puzolanas

Las puzolanas se emplean como un ingrediente de los concretos con cemento portland, principalmente en obras marítimas y estructuras hidráulicas, buscando la impermeabilidad y resistencia a las aguas salinas. Cuando se sustituye en un concreto una parte del cemento por puzolanas se obtiene también mayor plasticidad.

Concreto con Dispersantes

Cuando al concreto se le agrega un dispersante, las partículas de la masa tienden a separarse distribuyéndose homogéneamente, con lo cual se aprovecha la eficiencia del cemento al máximo y se logra una considerable manejabilidad y fluidez con disminución del agua de la mezcla. Al reducir el agua se aumenta la resistencia del concreto, la densidad y la durabilidad.

Concreto con Inclusores de Aire

Los agentes inclusores de aire que se adicionan a una mezcla, producen un concreto espumoso o gaseoso, el cual tiene como finalidad ser ligero, trabajable y poroso. Dentro de este tipo de concretos tenemos uno muy conocido que se le nombra celular, el cual se utiliza principalmente en prefabricados, es de baja resistencia y buen aislante.

Concreto con Acelerantes

El concreto al cual se le adicionan acelerantes del fraguado, proporciona resistencia elevada a edades tempranas, aunque a edades posteriores se observa la misma que de uno normal. Tiene como desventaja elevar la temperatura del concreto, no pudiendo ser utilizado en grandes masas a menos que la temperatura ambiente sea lo suficientemente baja. El empleo de acelerantes requiere amplio conocimiento y experiencia ya que puede ser contraproducente.

Concreto con Retardantes

Los retardantes adicionados al concreto, funcionan a la inversa que los descritos anteriormente, ya que se encargan de retrasar el fraguado inicial del concreto con lo cual se baja notablemente la temperatura de la mezcla, siendo útiles para colados en climas calurosos o para grandes volúmenes de concreto donde el calor que se genera debido a la hidratación se contrarresta con el retardante. De igual manera que los acelerantes, deben utilizarse con mucho cuidado y por personas que conozcan perfectamente su aplicación.

DE ACUERDO AL LOS ADITIVOS COMERCIALES

Los aditivos se utilizan para controlar las características específicas del concreto y resultan bastante recomendables para mejorar su calidad empleándose en forma correcta, ya que de no ser así pueden producir efectos secundarios.

Concreto con Impermeabilizante

El aditivo impermeabilizante se agrega al concreto en diversas proporciones, dependiendo del tipo de obra. La elaboración se hace de forma normal, obteniéndose un concreto de baja permeabilidad, muy trabajable y el cual admite una reducción del agua de mezclado.

Concreto con Reductor de Agua

El concreto con aditivo reductor de agua, permite incorporar a la mezcla únicamente el agua necesaria para lograr la resistencia especificada, ya que el reductor actúa como lubricante y proporciona la trabajabilidad deseada, sin necesidad de agregar agua. Al tener una relación de agua-cemento estricta, se aumenta la resistencia del concreto y se reduce la posible contracción.

Concreto con Fluidificante

Al tener un concreto fluido mediante aditivo, se obtiene una extraordinaria trabajabilidad, manteniendo su resistencia de diseño y permitiendo colocarse en sitios de gran dificultad, se emplea especialmente para ser bombeado y en elementos muy estrechos. Además de manejabilidad proporciona alta resistencia a edades tempranas.

Concreto con Endurecedor Metálico

Este tipo de concreto se utiliza principalmente para pisos sujetos a un tránsito muy pesado, abrasión e impactos fuertes. El endurecedor metálico proporciona durabilidad y resistencia al concreto, pero no debe estar expuesto a humedad, ya que tiende a la oxidación.

Concreto con Estabilizador de Volumen

El aditivo estabilizador de volumen reduce las contracciones y proporciona mayor resistencia al concreto, se utiliza principalmente para trabajos de anclaje en piezas precoladas y pretensadas, para asentar maquinaria pesada como las turbinas y para reparación de elementos estructurales como trabes y columnas.

CAPITULO IX

PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO

PRUEBA N° 10: FRAGUADO

PRUEBA N° 11: REVENIMIENTO

PRUEBA N° 12: FLUIDEZ

PRUEBA N° 13: MANEJABILIDAD

PRUEBA N° 14: CALOR DE HIDRATACION

CAPITULO IX PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO

PRUEBA Nº 10: FRAGUADO

MARCO TEORICO

Cuando el cemento y el agua, junto con los agregados, entran en contacto se inicia una reacción química exotérmica, que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla.

Dentro del proceso general de endurecimiento, se presenta un estado en el que la mezcla pierde su plasticidad, haciéndose poco manejable; tal estado se denomina fraguado inicial de la mezcla.

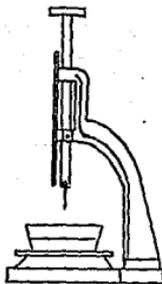
Al continuar el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia alcanza un valor muy apreciable; este estado se le llama fraguado final y se determina, al igual que el fraguado inicial, por medio de las agujas de Vicat o de Gillmore.

El lapso comprendido entre estos dos estados se conoce como tiempo de fraguado de la mezcla y en resumen se define como el tiempo necesario para que una mezcla pase del estado fluido al estado sólido. La determinación de este lapso, así como del fraguado inicial y final son únicamente índices comparativos, los cuales ayudan para determinar la necesidad de usar retardantes o acelerantes.

El tiempo mínimo que transcurre para que se de el fraguado inicial de una mezcla de cemento es de 45 minutos para cementos portland ordinarios de endurecimiento rápido y de altos hornos; para cementos portland de bajo calor es de 60 minutos y para cementos aluminosos de 2 a 6 horas. El tiempo de fraguado final se calcula desde que se adiciona el agua a la mezcla y no deberá ser mayor de 10 horas para cemento portland normal, de rápido endurecimiento, de bajo calor y de altos hornos; para cementos aluminosos de 12 a 16 horas.

El falso fraguado se observa cuando se amasa la mezcla y esta parece adquirir consistencia inmediatamente o cierta rigidez prematura y anormal aproximadamente a los 2 minutos de incorporar el agua. "Parece fraguar", pero al seguir amasando la mezcla sin adicionar agua, se deshace esa consistencia, se restablece su plasticidad y paulatinamente endurece. Se cree que el falso fraguado se debe a la deshidratación del yeso en la molienda del clinker, se atribuye también a la hidratación del semihidrato cálcico o a la carbonatación de los alcalis que contienen los cementos.

El falso fraguado no altera las propiedades del cemento o la mezcla, se puede considerar inofensivo, siempre y cuando se de al concreto el mezclado adecuado.



Aparato de "Vicat"

Para el fraguado inicial se utiliza una aguja cuadrada o redonda con área transversal de 1 mm^2 . El fraguado final se determina por medio de una aguja de 1 mm también adaptada a un aditamento metálico ahuecado, de forma que deje un borde circular de corte de 5 mm de diámetro, colocado a 0.5 mm detrás de la punta de la aguja.

OBJETIVO

Valorar el tiempo de fraguado de una pasta de cemento portland normal y observar si se presenta un falso fraguado.

MATERIAL

- 150 cm^3 de agua
- 500 g. de cemento

EQUIPO

- Aparato de Vicat
- Cucharilla de albañil
- Charola
- Báscula de 5 Kg. sensibilidad de 5 gr.
- Probeta graduada

DESARROLLO

- 1.- Se pesan y miden las cantidades de material y se mide el agua necesaria para la mezcla.
- 2.- Se prepara la mezcla en la charola con las cantidades de material dadas y se amasa auxiliándose con la cucharilla. Debe registrarse el tiempo y observarse si acaso se presenta un falso fraguado.
- 3.- Se llena el molde troncocónico del aparato, el cual normalmente mide 40 mm de alto por 80 y 90 mm de bases respectivamente, se introduce en agua y a intervalos iguales de tiempo se saca y se deja descender la aguja cargada con 300 gr. sin velocidad. Se observa la penetración y se registra el tiempo.
- 4.- Cuando la pasta ha endurecido lo suficiente para que la aguja penetre solamente 35 mm o menos, es decir no pasa más allá de 5 mm de la base, se encuentra el tiempo de fraguado inicial, el cual será el intervalo desde que se preparó la mezcla hasta esta lectura.
- 5.- El fraguado final se determinará cuando la aguja, bajada lentamente hacia la superficie de la pasta, se impresiona sobre ella, pero los bordes de corte circular (del aditamento ahuecado) no pueden hacerlo igual. El tiempo de fraguado final será el lapso desde que se preparó la mezcla hasta este momento.
- 6.- El tiempo de fraguado será la diferencia entre el tiempo registrado del fraguado final (punto 5) menos el tiempo registrado del fraguado inicial (punto 4).

PRUEBA Nº 11: REVENIMIENTO

MARCO TEORICO

Esta es una prueba que se usa en gran medida durante el trabajo en obra en todas partes del mundo. Dada la gran importancia que reviste la calidad de un concreto en una estructura, es necesario tener un estricto control desde su diseño, elaboración y utilización, para ello se efectúan pruebas de laboratorio y campo.

La prueba de revenimiento se puede hacer en campo o en laboratorio con resultados similares. Con ella se mide la consistencia y se detecta la variación de uniformidad de la mezcla de un concreto, con lo cual nos califica la manejabilidad o trabajabilidad que se tiene dentro de determinadas proporciones nominales.

El revenimiento no es otra cosa que el asentamiento o disminución de altura, que presenta una mezcla fresca al quitársele el molde en el que inicialmente se había colocado; es decir, la diferencia de altura entre el molde y la que adquiere la mezcla después de quitarlo, medida en el centro del concreto y expresada en centímetros.

El revenimiento varía principalmente en función de la cantidad de agua del concreto, la cual actúa como lubricante entre las partículas que integran la masa. Considerando que un revenimiento alto necesita mayor cantidad de agua, implica agregar mas cemento para no bajar la resistencia, lo cual resulta un costo mayor. Por lo tanto es recomendable, en la medida que el proceso constructivo lo permita, utilizar concreto con un revenimiento bajo.

Las mezclas con consistencia rígida tienen un revenimiento nulo, por lo que en un rango bastante seco, no se pueden detectar variaciones. En las mezclas ricas se observa que su revenimiento es sensible a las variaciones de trabajabilidad de manera satisfactoria. En mezclas pobres y con tendencia a la aspereza, puede darse el revenimiento de cortante, donde la mitad del cono se desliza en un plano inclinado; o un revenimiento colapsado y para varias muestras de la misma mezcla se pueden encontrar valores muy diferentes del revenimiento.

La forma del revenimiento deseable es aquella en la cual se observa un asentamiento uniforme y de manera redondeada, cuando se da un revenimiento de cortante o un revenimiento de colapso llamado también desplomado, la prueba debe repetirse. Si persiste este comportamiento, es un indicio de falta de cohesión o de un concreto no satisfactorio. Estas condiciones se ilustran en el esquema mostrado a continuación.

Hasta 125 mm



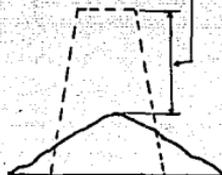
REVENIMIENTO NORMAL

Hasta 150 mm
25-50 mm



REVENIMIENTO DE CORTANTE

Entre 150 a 255 mm



REVENIMIENTO DE COLAPSO

La tabla IX.1 nos indica el orden de magnitud del revenimiento para diversas trabajabilidades. Sin embargo hay que recordar que con diferentes agregados se puede alterar el revenimiento.

Tabla IX.1 Revenimiento y trabajabilidad de concretos
(T.M.A. 3/4" ó 1 1/2")

REVENIMIENTO (mm)	REVENIMIENTO (pulg.)	GRADO DE TRAJABILIDAD	USOS DEL CONCRETO
0 - 25	0 - 1	Muy bajo	Compactación y vibrado con maquinaria
25 - 50	1 - 2	Bajo	Sin vibrado o de forma manual, poco reforzado
50 - 100	2 - 4	Mediano	Sin vibrado o forma manual, muy reforzado
100 - 175	4 - 7	Alto	Alta concentración de refuerzo

OBJETIVO

Evaluar la consistencia de una muestra de concreto, mediante la prueba de revenimiento con cono truncado.

MATERIAL.

■ Muestra de concreto elaborada con:

- 400 cm³ de agua
- 1 Kg. de cemento
- 5 Kg. de arena
- 7 Kg. de grava

EQUIPO

- Cono truncado de 20 cm de diámetro inferior, 10 cm de diámetro superior, con 30.5 cm de altura y provisto de asas y orejas.
- Cucharón
- Charola
- Cucharilla de albañil
- Varilla de hierro redondo liso de 5/8" de diámetro, 60 cm de largo y punta redondeada
- Guantes de hule
- Regla de 30 cm con graduación en mm.

DESARROLLO

- 1.- Se mezclan los materiales en la charola, revolviendo con la cucharilla de albañil y el cucharón, para obtener un concreto uniforme.
- 2.- Se humedece ligeramente el molde y la base, la cual debe ser una superficie plana, rígida y no absorbente. Luego se coloca el cono truncado sobre la base y se sujeta firmemente con los pies.
- 3.- Utilizando el cucharón se vierte el concreto fresco en el interior del molde, hasta ocupar una tercera parte del volumen total.
- 4.- Se apizona la capa de concreto 25 veces con la varilla, en toda la superficie con la finalidad de compactarla.
- 5.- El cono deberá llenarse en tres capas, repitiendo los pasos 3 y 4. Teniendo precaución al apizonar con la varilla, de no penetrar mas de una pulgada en la capa anterior.

- 6.- Una vez llenado el molde, se enraza con la varilla y deberá limpiarse el área alrededor del molde quitando el concreto que se haya podido caer fuera.
- 7.- Se sujeta el molde por sus asas y quitando los pies de las orejas, se retira el molde verticalmente con un solo movimiento.
- 8.- Colocando el molde a un lado de la muestra de concreto y auxiliándose de la varilla, se mide la diferencia de alturas. Si la superficie del concreto es muy irregular, deberán tomarse tres lecturas y promediar el resultado; comparar con los datos de la teoría.

PRUEBA Nº 12: FLUIDEZ

MARCO TEORICO

Un requisito indispensable que la mezcla de concreto debe cumplir, es ser manejable o trabajable. Esto quiere decir, que el concreto debe tener una cierta consistencia plástica, homogeneidad y un grado de cohesividad que dependen de la cantidad de pasta de cemento utilizada, para envolver las partículas de los agregados.

La prueba de fluidez nos indica la consistencia de los concretos, su tendencia a la segregación, el grado de cohesividad y por consecuencia indirectamente nos da indicio de su trabajabilidad.

Cuando se logra la fluidez óptima y se utiliza un método constructivo adecuado, podemos colocar el concreto en cualquier elemento, sin sufrir separación o segregación de los componentes; evitando así las oquedades, bolsas de arena, etc.

Para calificar la fluidez de un concreto, se realiza la prueba que consiste en conocer la dificultad o facilidad que presenta una mezcla, al deslizamiento sobre una superficie, originada por movimientos iguales y consecutivos, los cuales obligan al concreto a extenderse, partiendo de un amoldamiento de cono truncado.

El valor de la fluidez de un concreto se define entonces, como el incremento en el diámetro promedio de la superficie final que alcanza el concreto esparcido, con respecto al diámetro original de la base inferior del molde que ocupó la mezcla y se expresa como porcentaje de este último. Y se calcula con la fórmula:

$$\text{Fluidez (\%)} = \left(\frac{d}{D} \times 100 \right) - 100$$

Donde:

d = Promedio en mm. del incremento de dos diámetros medidos a 90° sobre la superficie de la mezcla después de la prueba
 D = Diámetro original de la base inferior del molde cónico

Pueden obtenerse valores de la fluidez que van desde 0 hasta 150 por ciento. Esta prueba puede aplicarse a un mortero con procedimiento operativo similar, pero el diámetro de la mesa es menor y el molde también es de menores dimensiones.

Cuando se desea obtener una fluidez determinada y la medición inicial se excede o no alcanza el valor deseado, se pueden agregar diferentes proporcionamientos de los materiales, cuidando que se cumpla con otros requisitos, como son la resistencia, etc.

OBJETIVO

Determinar el grado de fluidez de una mezcla de concreto, con la finalidad de valorar sus características de segregación, consistencia y trabajabilidad.

MATERIAL

■ Muestra de concreto elaborada con:

- 400 cm³ de agua
- 1 Kg. de cemento
- 5 Kg. de arena
- 7 Kg. de grava

EQUIPO

- Mesa de fluidez con platillo de bronce de 30" de diámetro, con altura de caída de 1"
- Cono truncado de 10" de diámetro en la base inferior, 6 $\frac{3}{4}$ " de diámetro en la base superior y 5" de altura.
- Pisón (varilla de madera dura, redonda y lisa) de 5/8" (15.8 mm) de diámetro y 24" (61 cm) de largo con punta redondeada.
- Cucharón
- Cronómetro
- Charola
- Guantes de hule
- Cucharilla de albañil
- Metro o flexómetro graduado en milímetros

DESARROLLO

- 1.- Se mezclan los materiales en la charola y se hace una mezcla uniforme con ayuda de la cucharilla y el cucharón.
- 2.- Se humedece un poco el molde cónico y se centra sobre el platillo de la mesa de fluidez.
- 3.- Se llena la primera mitad del molde, cuidando que el concreto se deposite sin segregaciones, lo cual se logra haciendo girar suavemente la mesa mientras se vierte el concreto.
- 4.- Se golpea con el pisón el concreto 25 veces consecutivas en toda la superficie.
- 5.- Se llena la segunda parte del molde repitiendo los pasos 3 y 4, pero cuidando de que el pisón no llegue a penetrar en la primera capa.

- 6.- Se engrasa el cono y se limpia perfectamente la superficie del plato alrededor del molde y por encima de éste para quitar todo residuo de mezcla.
- 7.- Se quita el molde, levantándolo verticalmente en un solo movimiento.
- 8.- Con altura de caída de $1/2$ " se golpea de manera uniforme el disco 15 veces en un lapso de 15 segundos.
- 9.- Se miden dos diámetros a 90° sobre la superficie del concreto después de trabajado. El aumento de diámetro que se obtiene por el concreto esparcido, expresado en función del diámetro original, como lo indica la fórmula dada anteriormente, determinará la fluidez alcanzada.

PRUEBA Nº 13: MANEJABILIDAD (REMOLDEO)

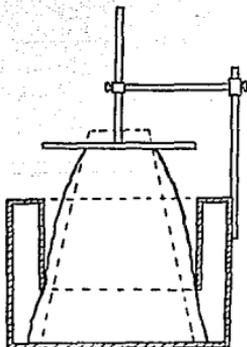
MARCO TEORICO

La prueba de remoldeo evalúa la trabajabilidad a base de medir el esfuerzo de remoldeo, es decir, el esfuerzo realizado al cambiar la forma de una muestra de concreto y apreciar la resistencia que opone a su manejo.

Esta resistencia a la manejabilidad, se deriva tanto de la fricción que presentan las partículas entre sí dentro de la masa de concreto, como de la oposición al deslizamiento sobre una superficie dada.

Esta prueba es exclusivamente de laboratorio, pero es muy valiosa puesto que nos da un índice estrechamente relacionado con la manejabilidad y una apreciación mas completa, al combinar dos formas de calibración en un dispositivo creado por T. C. Powers, el cual lleva su nombre.

Dispositivo de "Powers".



Está formado por un cilindro de fierro de 12" de diámetro y 8" de altura, se sujeta firmemente a la mesa de fluidez, con altura de caída de 1/4" y en él se coloca el cono de revenimiento. Dentro del cilindro y rodeando al cono se pone un anillo de 8 1/2" de diámetro por 5" de altura, conocido como anillo de inmersión, el cual estará dispuesto sobre el cilindro exterior en tal forma que la distancia entre el borde inferior del anillo de inmersión y el fondo del cilindro pueda variar entre 67 y 76 mm. a intervalos de 3.2 mm. Una placa circular con 1.948 kg. de peso se coloca sobre el concreto moldeado en el cono de revenimiento.

El esfuerzo de remoldeo se expresa por el número de golpes o sacudidas necesarias, para hacer que el fondo del pisón se encuentre 81 mm. por encima de la placa de base. Esto se da cuando la forma del concreto ha cambiado de un cono truncado a un cilindro. Para muestras muy secas puede ser necesario un esfuerzo considerable.

Los resultados son de tipo comparativo y se califica como mas manejable aquella muestra (de consistencia o fluidez dada) que requiere el mínimo de golpes para satisfacer la condición descrita.

OBJETIVO

Determinar el esfuerzo de remoldeo de una mezcla de concreto y apreciar que tan manejable resulta.

MATERIAL

■ Muestra de concreto elaborada con:

- 400 cm³ de agua
- 1 Kg. de cemento
- 5 Kg. de arena
- 7 Kg. de grava

EQUIPO

- Dispositivo de "Powers"
- Pisón de placa circular de 209 mm de diámetro y peso de 1.984 Kg.
- Meza de fluidez
- Charola
- Cucharón
- Pisón (varilla de madera dura, redonda y lisa) de 5/8" (15.8 mm) de diámetro y 24" (61 cm) de largo con punta redondeada.
- Cono truncado de revenimiento

DESARROLLO

- 1.- Se mezclan en la charola los materiales para obtener una pasta uniforme y homogénea.
- 2.- Se coloca el cilindro de "Powers" en la mesa de fluidez, dentro se pone el cono contrándolo en el cilindro y luego se coloca el anillo de inmersión.
- 3.- Se llena el cono de revenimiento en tres capas, apizonando 25 veces cada capa con el fin de compactarla y cuidando de no llegar a la capa anterior.
- 4.- Se enraza el concreto del borde superior del cono con el apizonador para lograr una superficie plana.
- 5.- Se retira el cono tirando suavemente de él hacia arriba de manera continua y se coloca el pisón circular de carga sobre el concreto ya sin molde.

6.- Se acciona la manivela de la mesa de fluidez, a un ritmo uniforme de un golpe por segundo, hasta que la masa de concreto pase entre el anillo de inmersión y el fondo; alcanzando una altura de 81 mm. desde el fondo del cilindro, entre las paredes del anillo de inmersión y el cilindro exterior.

PRUEBA Nº 14 CALOR DE HIDRATACION

MARCO TEORICO

El calor de hidratación, es la cantidad de calor expresado en calorías por gramo, del cemento deshidratado, dispersado por una hidratación completa en un concreto a una temperatura determinada.

De acuerdo con muchas reacciones químicas, la hidratación de los compuestos del cemento es exotérmica y pueden hasta liberarse 500 joules por gramo (120 calorías / gramo).

Puesto que la conductividad del concreto es relativamente baja, actúa como aislante y en el interior de una masa grande de concreto, la hidratación puede ocasionar un fuerte aumento de la temperatura. Al mismo tiempo la masa exterior del concreto pierde algo de calor, de modo que se origina un fuerte gradiente de temperatura y durante el posterior enfriamiento de la parte interna, pueden producirse grandes agrietamientos. Sin embargo este comportamiento se modifica por la fluencia del concreto.

En otros casos, el calor de hidratación del concreto puede impedir el efecto del congelamiento del agua en los capilares de la mezcla recientemente aplicada, en climas fríos o en aguas heladas y es, por lo tanto, ventajoso que se produzca una fuerte dispersión de calor. Sin duda es aconsejable conocer las propiedades productoras de calor del cemento en un concreto, para elegir la mezcla mas adecuada para determinada obra.

Existen varios métodos para determinar el calor de hidratación mediante calorímetros.

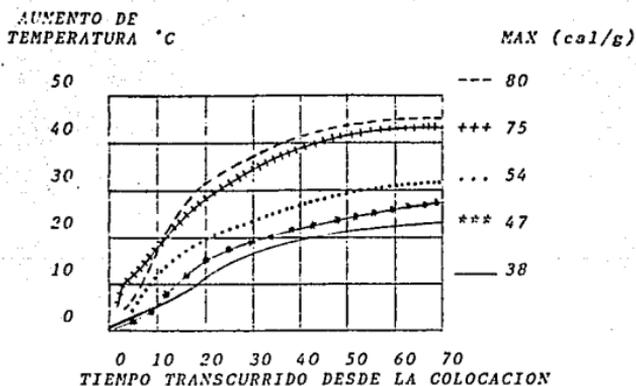
- 1) Método del termo o vaso Deward. Como su nombre lo indica se utiliza un termo y se mide la elevación de la temperatura al hidratarse la mezcla.
- 2) Método adiabático. Consiste en introducir en un calorímetro la mezcla y a medida que se hidrata se registra la temperatura en función del tiempo.
- 3) Método del calor de disolución. En este procedimiento se observa la disminución de energía de una mezcla con ácidos nítrico y fluorhídrico después de cierto tiempo.

El calor de hidratación depende de la composición química del cemento que se utilice en la mezcla, en la tabla IX.2 se aprecian los diferentes tipos de cemento con el calor de hidratación que pueden desarrollar. Para fines prácticos, no importa tanto el calor total de hidratación, sino la velocidad de desarrollo y es por esto la importancia de una curva típica de tiempo-temperatura. La misma cantidad total de calor, producida en un gran periodo, puede disiparse en mayor grado con menor aumento de temperatura.

Tabla IX.2 Calor de Hidratación

TIPO DE CEMENTO	CALOR DE HIDRATACION (cal/g) DESARROLLADO A			
	4 °C	24 °C	32 °C	41 °C
I	36.9	68.0	73.9	80.0
III	52.9	83.2	85.3	93.2
IV	25.7	46.6	45.8	51.2

Tabla IX.3 Curva de Tiempo-Temperatura
(Concretos 1:2:4, con diversos tipos de cemento)



OBJETIVO

Medir el calor de hidratación que se genera en un concreto al reaccionar químicamente el cemento con el agua, así como observar en forma gráfica su comportamiento.

MATERIAL

■ Muestra de concreto elaborada con:

- 225 cm³ de agua
- 500 g. de cemento
- 1.5 Kg. de arena
- 2.5 Kg. de gravilla (grava 3/8")

EQUIPO

- Vaso de cristal
- Termo
- Termómetro sensible tipo Beckman
- Horno
- Charola
- Cucharilla de albañil

DESARROLLO

- 1.- Se amasan en la charola los materiales para formar una mezcla homogénea.
- 2.- Se llena el recipiente de cristal con la mezcla y se introduce dentro del termo. En caso de no contar con termo adecuado, se puede fabricar uno con poliestireno de alta densidad, de tal forma que se aisle la muestra.
- 3.- Se introduce el termómetro en la mezcla, con mucho cuidado para no dañarlo. En caso de que se dificulte el introducirlo, se deberá hacer una punzadura mediante una varilla.
- 4.- Se toma la primera lectura del termómetro a los cinco minutos de hecha la mezcla y consecutivamente cada cinco minutos.
- 5.- Cuando se estabiliza la temperatura se tabulan y grafican los datos registrados para obtener la curva tiempo-temperatura.

CAPITULO X

PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO

PRUEBA Nº 15: CABECEO DE ESPECIMENES

PRUEBA Nº 16: COMPRESION

PRUEBA Nº 17: TENSIÓN

PRUEBA Nº 18: SEGREGACION

PRUEBA Nº 19: CURADO ACELERADO

PRUEBA Nº 20: EXTRACCION DE CORAZONES

CAPITULO X PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO

PRUEBA N° 15: CABECEO DE ESPECIMENES

MARCO TEORICO

Quando se efectúa una prueba de compresión simple en un espécimen de concreto, es necesario que las bases se encuentren totalmente planas para que las cargas se apliquen de manera uniforme.

Por lo general los especímenes no presentan superficies verdaderamente planas, por lo que siempre existe la necesidad de preparar las caras que van a estar expuestas o sujetas a la aplicación de cargas. A este proceso se le llama "cabeceo" y debe efectuarse con materiales lo suficientemente resistentes, para transmitir los esfuerzos sin deteriorarse.

La mezcla mas satisfactoria, para este fin, es la de tres partes en peso de azufre con una parte de algún material inerte finamente molido, el cual puede ser arcilla cribada que pase la malla número cuarenta.

Esta mezcla se prepara calentando los materiales a una temperatura de entre 175 y 200°C, para fundirla, al hacerlo toma una apariencia viscosa y espumosa. Se deja enfriar un poco antes de utilizarla, para que disminuya su viscosidad quedando mas fluida y que desaparezca la espuma.

El calentamiento y enfriamiento alternados de la mezcla, después de una serie de ciclos, proveen a esta de cierta elasticidad que la hace impropia para el cabeceo, por lo tanto, aún cuando la mezcla pueda ser aprovechada repetidas veces, esto tiene un límite.

OBJETIVO

Conocer el procedimiento y la importancia del cabeceo de especímenes de concreto endurecido, ya sean cilindros o corazones, con la finalidad de saber prepararlos para ser probados.

MATERIAL

- Especímenes de concreto endurecido
- 300 g. de azufre en flor
- 100 g. de arcilla que pase la malla N° 40
- Grasa

EQUIPO

- Placa maquinada provista de guías normales a la base con depresión circular en el centro
- Martillo con cabeza de hule
- Espátula o cucharilla de albañil
- Cinta de papel impermeable o banda de hule y ligas.
- Crisol o recipiente metálico para fundir el azufre
- Parrilla eléctrica
- Cíncel
- Nivel
- Cepillo de alambre
- Franela o jerga

DESARROLLO

- 1.- Se secan superficialmente los especímenes de concreto con la franela.
- 2.- Se quita la costra natural de las bases del concreto con el cíncel, cuidando de no dañar el espécimen en un límite de 1.5 milímetros de la superficie, hasta lograr una superficie rugosa, la cual tiene la finalidad de que se adhiera fácilmente la mezcla de azufre.
- 3.- Con el cepillo de alambre, se elimina de la superficie de las bases todo el polvo y partículas sueltas. Se miden varios diámetros y alturas del cilindro, se promedian para obtener sus dimensiones medias y se registran.
- 4.- Se engrasa la placa maquinada con depresión en el centro y se dispone sobre una superficie a nivel.
- 5.- Se vierte sobre la placa la mezcla fundida hasta llenar la depresión central.
- 6.- Inmediatamente y antes de que se cristalice la mezcla, se coloca el cilindro presionándolo contra la placa, apoyado en toda su longitud sobre las guías para hacer coincidir su eje vertical y se deja enfriar.
- 7.- Unos minutos después de que se enfríe la mezcla, se retira el cilindro de concreto con un fuerte tirón vertical, si es necesario se golpea ligeramente la placa con el martillo para despegar la mezcla. La superficie del espécimen debe estar uniforme y plana: al golpearse ligeramente con los nudillos deberá comprobarse que no tenga ningún punto hueco o fallo en liga, de no ser así se retirará la mezcla y deberá sustituirse.

8.- Para "cabecear" la otra cara del cilindro se repiten los pasos 4, 5, 6 y 7.

PRUEBA N° 16: COMPRESION

MARCO TEORICO

La prueba de resistencia a compresión simple o directa en cilindros de concreto, es un índice de la calidad del concreto, pudiéndose derivar de ella todos los valores de los distintos esfuerzos que se necesitan conocer para prever su comportamiento estructural.

No existe una convención aceptada universalmente sobre que tipo de espécimen es el mejor para realizar ensayos en compresión. Por lo general se utilizan tres tipos: cilindros, cubos y prismas.

En nuestro medio y en numerosos países del mundo, se utilizan cilindros con una relación de esbeltez igual a dos. En estructuras de concreto reforzado, el espécimen usual es el cilindro de 15 x 30 centímetros. En estructuras construidas con concretos en masa, donde se utilizan agregados de gran tamaño (de 10 a 15 cm), generalmente se emplean cilindros de 30 x 60 cm. o de 60 x 120 cm. y las resistencias se determinan a los 28 días de edad del concreto o la edad en que vaya a recibir su carga de servicio.

Tanto cilindros como cubos y prismas, tienen ventajas y desventajas, pero la tendencia actual se inclina hacia el uso del cilindro. Para lograr una prueba a la compresión aceptable es necesario que las cabezas de la máquina de ensaye estén totalmente en contacto con las superficies del espécimen en ambos extremos, de manera que la presión ejercida sea lo mas uniforme posible.

Comúnmente los especímenes se fabrican en moldes de acero, apoyados en una placa en su parte inferior, y libres en su parte superior, donde es necesario dar un acabado manualmente, este queda con frecuencia demasiado rugoso, por lo que es preciso dar una preparación a los extremos del cilindro (cabecado).

Una ventaja importante de los cilindros sobre los cubos, es la disminución del efecto de confinamiento y de la restricción al desplazamiento lateral, debida a la fricción de los extremos contra la máquina. Por su mayor relación de esbeltez, estos efectos son mucho menores que en los cubos.

Para determinar el valor de la resistencia a compresión, se requieren especímenes de dimensiones definidas que guarden cierta relación con el tamaño de los agregados del concreto. Generalmente cuando se parte de concretos frescos, el molde que dará forma al espécimen de prueba es cilíndrico y su tamaño estará definido por la tabla N.1 que nos muestra las dimensiones adecuadas para diferentes tamaños máximos de agregado, tomando una relación de altura h con el diámetro D de 2.0.

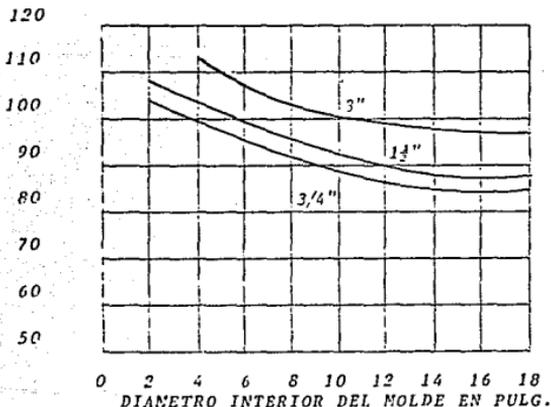
Tabla X.1 Tamaño del Espécimen para Prueba de Compresión

TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO		h / D = 2.0	
mm	pulg	h (pulg)	D (pulg)
6.4 ó menos	1/4 ó menos	4	2
6.4 a 19.1	1/4 a 3/4	8	4
19.1 a 38.1	3/4 a 1½	12	6
38.1 a 76.2	1½ a 3	24	12
76.2 a 152.4	3 a 6	36	18

Quando el diámetro del molde no es el correspondiente para el tamaño máximo del agregado que se ha usado en el concreto del espécimen, las resistencias varían de acuerdo con la curva de la tabla X.2, la cual muestra los porcentajes de resistencia alcanzados en función de los diámetros del molde y del T.M.A. usado.

Tabla X.2 Efecto del diámetro del molde y T.M.A. en la Resistencia a Compresión de un Concreto

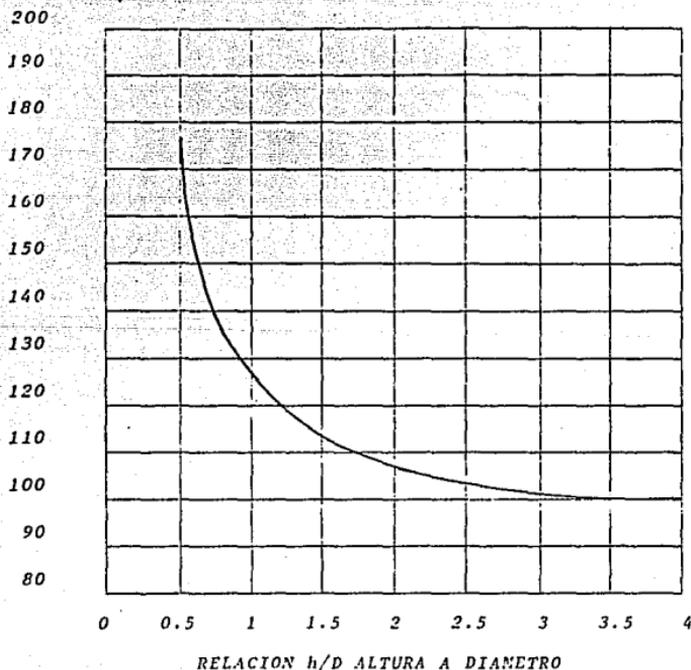
PORCENTAJES



Cuando la relación de altura a diámetro no sea igual a 2.0 la resistencia a compresión obtenida deberá ser corregida de acuerdo con los datos de la tabla X.3, donde se muestra el porcentaje de resistencia que corresponde al cilindro con relación de 2.0 y al de cualquier otro.

Tabla X.3 Efecto de la Relación h/D en la Resistencia a Compresión

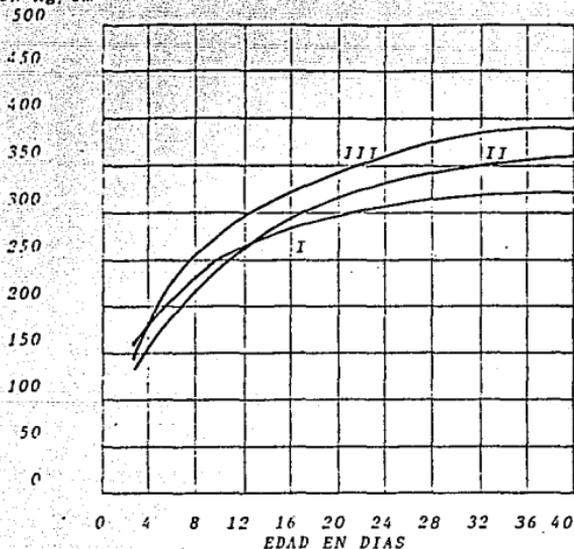
PORCENTAJE DE RESISTENCIA
AL CILINDRO h/D = 2.0



El efecto de la edad sobre la resistencia de un concreto se muestra en la gráfica de la tabla X.4, la cual nos muestra concretos con diferentes tipos de cemento, estas curvas son aproximadas, ya que cementos de un mismo tipo pueden observar variaciones dependiendo de otros factores. Son pues una guía para conocer la relación entre la resistencias a distintas edades.

Tabla X.4 Relación entre Edad de un Concreto y su Resistencia a Compresión

RESISTENCIA A
COMPRESION Kg./cm²



La carga total de ruptura o falla del espécimen debe expresarse como resistencia unitaria en Kg/cm² y se calcula con la fórmula:

$$\text{Resistencia unitaria "f'c"} = \frac{P}{A}$$

Donde:

P = Carga total registrada en Kg.

A = Área de la sección transversal del espécimen en cm²

OBJETIVO

Determinar la resistencia a compresión simple de un espécimen de concreto mediante prueba de carga.

MATERIAL

Para elaborar el cilindro de prueba.

- Muestra de concreto elaborada con las siguientes proporciones:

400 cm³ de agua
1 Kg. de cemento
5 Kg. de arena
7 Kg. de grava de 1/2"

Cuando se cuente con especímenes endurecidos

- Especimen cilíndrico de concreto con su resistencia de diseño indicada, recientemente salido del cuarto de curado y cabeceado de las bases.

EQUIPO

Para elaborar el cilindro de prueba

- Moldes cilíndricos de placa de fierro con espesor mínimo de 1/4", con una de sus caras maquinada, la cual esta ligada al molde mediante tornillos. Las paredes del molde y sus juntas deben ser impermeables para evitar fugas de agua. De 15 cm. de diámetro por 30 cm. de altura
- Cucharón
- Charola
- Cucharilla de albañil
- Varilla de fierro redondo liso de 5/8" de diámetro, 60 cm de largo y punta redondeada o vibrador para concreto.
- Guantes de hule
- Grasa
- Lienzos de plástico y ligas
- Enrazador

Cuando se cuente con especímenes endurecidos

- Máquina Universal

DESARROLLO

Para elaborar el cilindro de prueba

- 1.- Se mezclan los materiales en la charola, revolviendo con la cucharilla de albañil y el cucharón, para obtener un concreto uniforme.
- 2.- Se engrasa ligeramente el molde y la base, la cual debe ser colocada en una superficie plana donde no se produzcan vibraciones.
- 3.- Utilizando el cucharón se vierte el concreto fresco en el interior del molde, hasta ocupar una tercera parte del volumen total. En caso de contar con vibrador se llenará hasta la mitad y después de vibrarlo, la otra mitad.
- 4.- Se apizona la capa de concreto 25 veces con la varilla, en toda la superficie con la finalidad de compactarla. En caso de contar con vibrador se harán tres o cuatro inmersiones de 3 a 5 segundos.
- 5.- El molde deberá llenarse en tres capas, repitiendo los pasos 3 y 4 (como se mencionó en caso de tener vibrador será en dos capas). Teniendo precaución al apizonar con la varilla, de no penetrar mas de una pulgada en la capa anterior.
- 6.- Una vez llenado el molde, se enraza con la varilla y deberá alisarse el área superficial. El molde conteniendo el concreto deberá permanecer inmóvil durante 24 horas y se protegerá la superficie expuesta con el lienzo cuando haya desaparecido el agua superficial del concreto
- 7.- Se retirará el molde del espécimen a las 24 horas después de colado, evitando golpearlo o dañarlo. Se identificará marcando sus bases y superficie, registrando estos datos.
- 8.- Se colocará el espécimen en el cuarto de curado, para evitar la pérdida de humedad, con humedad relativa de 100% , inmersión en agua o enterrado en arena húmeda y a una temperatura entre 21° y 25° C. Hasta el momento de su prueba.

Cuando se cuente con especímenes endurecidos

- 9.- Inmediatamente después de que el espécimen se saca del cuarto de curado se prepara por medio del cabeceo para ser probado.
- 10.- Se coloca el cilindro en la mesa de la máquina universal, utilizando los círculos que tiene marcados para centrarlo perfectamente.

- 11.- Verificar en el manómetro de la máquina universal que la aguja marque ceros.
- 12.- Hacer funcionar la máquina, de modo que el cilindro se aproxime lentamente a la base de carga hasta que se apoye completamente, pero sin ocasionar choque.
- 13.- Aplicar la carga uniformemente a razón de 141 Kg/cm²/min, hasta la falla del espécimen.
- 14.- Calcular con la carga total de falla del espécimen, la resistencia unitaria mediante la fórmula descrita en el marco teórico. (Debe aproximarse a 150 Kg/cm² en el caso de usar la proporción recomendada)

PRUEBA N° 17: TENSION

MARCO TEORICO

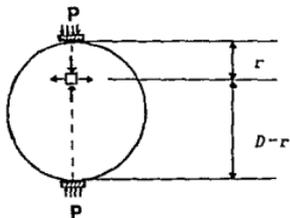
Resulta difícil encontrar una manera sencilla y reproducible de determinar la resistencia a tensión uniaxial. Siendo el concreto un material frágil bajo esta condición, es necesario que la sección transversal del espécimen varíe gradualmente, con el fin de evitar fallas prematuras por concentraciones de esfuerzos.

Para concreto en tensión axial, tanto las resistencias como las deformaciones correspondientes son aproximadamente del orden de una décima parte de los valores respectivos en compresión axial. Sin embargo la relación no es lineal para toda la escala de resistencias.

En 1984, Fernando Carneiro, en Brasil y casi simultáneamente Akazawa en Japón, idearon un procedimiento de ensaye indirecto en tensión, la cual se conoce como prueba brasileña de tensión.

Esta prueba consiste en someter un cilindro de concreto a compresión lineal diametral, la carga se aplica a través de un material relativamente suave, como triplay o corcho. Si el material fuera totalmente elástico se originarían esfuerzos de tensión uniformemente distribuidos, en la mayor parte del plano diametral de la carga.

En esta prueba, el esfuerzo horizontal de tensión sobre una sección que contiene el diámetro vertical es como se muestra a continuación y se determina como lo indica la fórmula:



$$(f_{tb})_{\text{máx}} = \frac{2P}{\pi dl} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

Donde:

P = Carga máxima del espécimen [Kg]

d = Diámetro del espécimen de concreto [cm]

l = Longitud del espécimen de concreto [cm]

En realidad el concreto no es elástico y la resistencia en tensión que se mide no es la tensión uniaxial, sin embargo, lo que se pretende es tener una medida de la resistencia del concreto a la tensión, por medio de un ensaye fácil y reproducible, lo cual se logra satisfactoriamente mediante el ensaye brasileño.

El conocimiento de la resistencia a la tensión en un concreto, es importante para el diseño en tensión diagonal y para otros tipos de comportamiento, en donde la tensión es el fenómeno predominante.

OBJETIVO

Determinar el valor de la resistencia a la tensión de un espécimen cilíndrico de concreto, utilizando la prueba brasileña.

MATERIAL

- Especimen cilíndrico de concreto endurecido
- Tiras para carga, de triplay, corcho o neopreno, de 3 mm de espesor 25 mm de ancho y longitud igual o ligeramente mayor que el espécimen.

EQUIPO

- Máquina universal
- Barra o placa de carga suplementaria
- Vernier
- Longímetro

DESARROLLO

- 1.- Se dibuja una línea diametral a cada extremo del espécimen, asegurándose de que las líneas estén totalmente verticales en el mismo plano diametral.
- 2.- Con el vernier, se miden tres diámetros a lo largo del cilindro de concreto y se calcula el promedio del diámetro del espécimen. Las lecturas se harán con una aproximación de 1 mm, asegurándose que estén en línea vertical y en el mismo plano diametral marcado en los extremos.

- 3.- Se aplica la carga en forma continua, sin impacto y a velocidad constante, de tal forma que se logren esfuerzos de tensión por compresión diametral de 5 a 15 Kg/cm² por minuto, hasta la falla del espécimen
- 4.- Se registra la carga máxima aplicada, en el momento de la falla y se calcula la resistencia a la tensión por compresión diametral con la ecuación descrita en la teoría.

PRUEBA Nº 18: SEGRGACION

MARCO TEORICO

La segregación se pueda definir como la separación de los materiales que constituyen una mezcla heterogénea, de modo que su distribución deja de ser uniforme.

En el caso del concreto, la diferencia en el tamaño de las partículas y la densidad de los constituyentes de la mezcla son las causas principales de la segregación, pero su magnitud puede controlarse seleccionando la granulometría de los agregados adecuada y teniendo mucho cuidado en el manejo de la mezcla.

Existen dos tipos de segregación: En el primero de ellos las partículas gruesas tienden a desplazarse hacia afuera, puesto que están mas propensas que las partículas finas a deslizarse por las pendientes o a asentarse. El segundo tipo de segregación, que ocurre casi siempre en las mezclas húmedas, se caracteriza por la separación de la lechada (cemento y agua) de la mezcla. Generalmente la primera se presenta en mezclas pobres y demasiado secas y la segunda en mezclas pobres pero excesivamente húmedas.

Un concreto satisfactorio requiere ser manejable y en general no debe segregarse con facilidad, es decir debe ser cohesivo. El grado de tendencia a la segregación de una mezcla se puede incrementar por el indebido manejo y procedimiento de colado. Por ejemplo si el concreto tiene que trasladarse en un trayecto largo en carretilla, si al hacer el colado se deja caer de gran altura, si tiene que pasar en un tobogán con cambios de dirección, si se descarga contra algún obstáculo o si se hace un vibrado inadecuado (tiempo excesivo) la mezcla tenderá a segregarse.

En los casos señalados, para soslayar dicho efecto, se debe utilizar una mezcla muy cohesiva. Por otra parte si se coloca el concreto lo mas directamente posible en la posición en la que habrá de permanecer y se evita que fluya o que se trabaje a largo de la cimbra vibrándolo un tiempo moderado, el peligro de segregación es mínimo.

Es difícil definir cuantitativamente la segregación, pero cuando el concreto se maneja en alguna de las formas descritas, en el proceso constructivo erróneo de una obra, se puede observar cualitativamente este fenómeno. Mas aún, cuando se construyen elementos de un mismo concreto con diferentes procedimientos de colado y/o vibrado, siendo alguno de estos poco adecuado; se puede provocar la segregación y como consecuencia detectar la baja en la resistencia de los elementos con mayor segregación, respecto a aquellos en los que no se presente o su grado sea menor.

OBJETIVO

Elaborar dos especímenes de concreto, compactando con vibrador: uno en forma moderada y el otro con tiempo excesivo, a fin de observar la segregación producida.

MATERIAL

■ Muestra de concreto elaborada con:

- 400 cm³ de agua
- 1 Kg. de cemento
- 5 Kg. de arena
- 7 Kg. de grava

EQUIPO

- Dos moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura
- Vibrador mecánico para concreto
- Máquina Universal de pruebas
- Charola
- Cucharón
- Enrazador
- Cucharilla de albañil

DESARROLLO

- 1.- Se mezclan en la charola los materiales para obtener una pasta uniforme y homogénea.
- 2.- Se llena el primer cilindro con el concreto, en dos capas compactando cada una con el vibrador, cuidando de que no choque con el fondo o con la capa anterior y con tres o cuatro inmersiones de tres o cuatro segundos de tiempo cada una.
- 3.- Se llena el segundo cilindro con el concreto, también en dos capas, pero compactando cada una con el vibrador por espacio de diez minutos continuos, cuidando de que no choque con el fondo o con la capa anterior y dejando caer la mezcla desde una altura considerable al momento de llenarlo.
- 4.- Se retira el molde del concreto, después de 24 horas y se registra el grado de segregación que se aprecie en cada cilindro, luego se colocan en el cuarto de curado, dejándolos allí por 7 días para después probarlos a compresión.

5.- Pasado el tiempo mencionado, se sacan los cilindros del curado, se preparan por medio del "cabeceo" y se prueban a compresión (ver pruebas Nº15 y 16); para así corroborar que el cilindro de concreto segregado bajará en la resistencia a compresión, comparándolo con el que no tuvo segregación.

PRUEBA N° 19: CURADO ACELERADO

MARCO TEORICO

Para poder lograr un concreto de buena calidad, después de la colocación adecuada de la mezcla y durante las etapas tempranas de fraguado, debe hacerse un "curado" en un medio ambiente propicio.

Se le llama "curado" al procedimiento que se utiliza para favorecer la hidratación del cemento y consiste en un control de la temperatura y humedad hacia adentro y hacia afuera del concreto.

Específicamente el objetivo del curado es mantener el concreto en estado saturado o lo más cercano a la saturación, hasta el momento en que los espacios que originalmente se encontraban llenos de agua se saturen de productos de la hidratación del cemento.

Es muy importante que se haga un curado al concreto y sobre todo, que el tiempo de curado sea el apropiado para no provocar efectos en la resistencia; este lapso no se puede determinar sencillamente, ya que depende del tipo de obra y sus características, pero generalmente se especifican 7 días para un concreto con cemento portland normal y para cementos de fraguado lento un tiempo mayor.

En la tabla X.5, mostrada a continuación, se puede observar la influencia del curado húmedo en la resistencia de un concreto con relación agua/cemento de 0.5: la pérdida de resistencia debida a un curado inadecuado es mas pronunciada en elementos esbaltos, es menor cuando el concreto contiene agregado ligero y en ambos casos las mezclas mas ricas son mas susceptibles.

Los procedimientos de curado varían ampliamente, dependiendo de las condiciones de la obra, de la forma del elemento, de sus dimensiones y la posición en que se encuentre.

En el caso de un elemento con una relación superficie/volumen pequeña, el curado se puede mejorar engrasando o mojando las cimbras antes del colado y durante el endurecimiento; después del descimbrado se debe rociar el concreto y envolver en hojas de polietileno o material similar.

Las superficies grandes de concreto, como losas para carretera, requieren un procedimiento un tanto complicado ya que debe evitarse la pérdida de agua desde antes del fraguado y prevenir que se cuartee la superficie al secarse. Además como el concreto está mecánicamente débil debe colocarse un elemento de protección sobre el mismo. Cuando ya ha fraguado se puede aplicar un curado húmedo, rociando, inundando o cubriendo el concreto con tierra, aserrín o paja mojados.

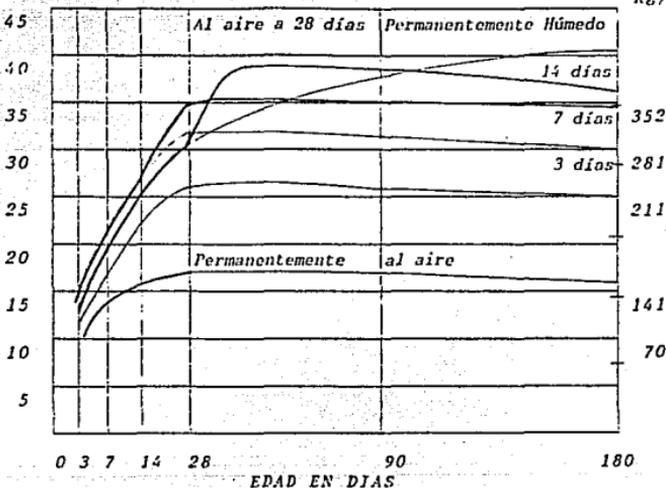
Otro medio de curado es utilizar una membrana impermeable o papel a prueba de agua. La membrana, siempre y cuando no este perforada o dañada, evitará eficazmente la evaporación de agua del concreto, pero no permitirá que entre agua para reponer la que se pierda por autodesecación. Es por esto que, cuando es una membrana de sellado se aplica después de que desaparece el agua libre de la superficie y si es en forma de hojas se rocía con agua para después cubrir el concreto.

Tabla X.5 Curado de un Concreto y su Resistencia

RESISTENCIA A COMPRESION

MPa

Kg/cm²



Generalmente el concreto se cuela por etapas o colando elementos uno sobre otro, de modo que cuando el tiempo entre colados, no es suficiente para obtener los resultados de pruebas hechas a muestras del concreto ya aplicado, no se podrán reparar o corregir los errores o fallas que en algún momento pudieran detectarse por medio de dichas pruebas.

Evidentemente, en estos casos, sería una gran ventaja poder predecir la resistencia a los 28 días de un concreto, probando una muestra a las pocas horas de colado, pero la resistencia a 24 horas de una muestra no es una guía confiable.

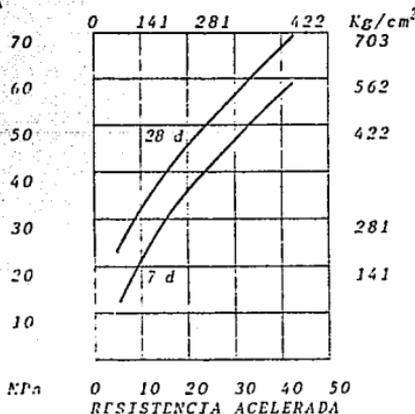
Debido a que la velocidad a la que se adquiere la resistencia difiere de un cemento a otro y a que una pequeña variación de la temperatura durante las primeras horas después de colado, ejercen un efecto considerable en una prueba de resistencia a edad temprana; es necesario que el concreto antes de probarse haya alcanzado una gran proporción de su resistencia potencial.

En la prueba que desarrolló J.W.H. King en 1957, se logra esta condición descrita mediante el curado acelerado del espécimen. De manera que se puede determinar la resistencia del concreto, mediante las curvas de King (Tabla X.6), en el transcurso de las 7 horas siguientes al colado y los resultados de esta prueba acelerada muestran buena correlación con las resistencias a los 7 y 28 días de un concreto curado normalmente.

La confiabilidad de los resultados obtenidos con esta prueba es muy alta, sobre todo correlacionando únicamente la resistencia a 7 días, a veces, restrictivamente es necesario también hacer la prueba a los 28 días con curado normal, ya que la probabilidad de pasar satisfactoriamente dos pruebas es menor que la de pasar cualquiera de ellas. Sin embargo, dada la variabilidad de un concreto, cualquiera de ellas por sí misma es adecuada para establecer si el concreto es de características aceptables.

Tabla X.6 Curvas de King
(Relación entre la resistencia determinada mediante la prueba de curado acelerado y las resistencias a 7 y 28 días de concreto curado con humedad a 20°C)

RESISTENCIA CON
CURADO NORMAL



OBJETIVO

Efectuar un curado acelerado a muestras de concreto con la finalidad de determinar en siete horas, la resistencia que alcanzará dicho concreto a siete días de colado y comparar ambos resultados.

MATERIAL

■ Muestra de concreto elaborada con:

- 225 cm³ de agua
- 500 g. de cemento
- 1.5 Kg. de arena
- 2.5 Kg. de gravilla (grava 3/8")

EQUIPO

- 6 moldes metálicos de cubo de 15X15X15 cm y con tapa de placa
- Grasa
- Charola
- Cucharilla de albañil
- Cucharón
- Llana metálica
- Pizón de varilla cuadrada de acero de 25 mm de largo
- Horno
- Máquina universal

DESARROLLO

- 1.- Se mezclan en la charola los materiales para formar una pasta homogénea y uniforme. Se engrasa ligeramente el interior de los moldes y se colocan sobre su base.
- 2.- Se llenan los recipientes de cubo con la mezcla en tres capas, apizonando cada capa con 35 golpes, cuidando de no tocar la capa anterior. Cuando se llenan totalmente se engrazan y se aplana la cara expuesta con la llana.
- 3.- Cuatro de los cubos se almacenan en reposo durante 24 horas sin ser movidos, a una temperatura de 18 a 22°C y con humedad relativa mínima del 90%.
- 4.- Se engrasan las tapas de placa y se tapan los dos cubos restantes, cuidando de sellar y cubrir las uniones y huecos con grasa para evitar la pérdida de agua.

- 5.- Cuando hayan pasado 30 minutos desde que se adicionó el agua a la mezcla, los cubos tapados se colocan dentro del horno hermético, debiendo alcanzar los 93°C al cabo de una hora y manteniéndose a esa temperatura por un lapso de 5 horas mas.
- 6.- Los cuatro cubos almacenados en reposo se desmoldan después de 24 horas y se curan en agua a una temperatura de 19 a 21°C , probándose a compresión dos de ellos a los 7 días y los otros dos a los 28 días.
- 7.- Los cubos tapados, permanecerán en el horno por un tiempo total de 6 horas, transcurrido este lapso se retiran del horno, se desmoldan y se dejan enfriar. A los 30 minutos de haberse sacado del horno, se prueban a compresión y se registran los resultados con la finalidad de predeterminar la resistencia a los 7 y 28 días mediante las curvas de King. Comparar estos datos con las resistencias reales que se obtengan.

PRUEBA N^o 20: EXTRACCION DE CORAZONES

MARCO TEORICO

El propósito principal de medir la resistencia de especímenes de prueba, llamados corazones, es estimar la resistencia del concreto directamente en la estructura real.

Los corazones de prueba son especímenes cilíndricos cortados del elemento de concreto por medio de una perforadora cortante giratoria con broca de diamante.

Esta prueba es necesaria cuando se descubre que la resistencia a compresión, de los especímenes de un concreto utilizado en obra, no cumple con el mínimo especificado. Concluyéndose entonces, que las muestras no son representativas del concreto de la estructura, debido a alteraciones en el fraguado, curado y resultados de su prueba a compresión; o que definitivamente la estructura no cumple con la resistencia requerida, ya que las muestras indican un concreto dudoso.

De esta manera se obtiene un espécimen que comúnmente tiene 100 ó 150 milímetros de diámetro (varía según la perforadora) y la altura dependerá de la prueba estándar que se haya realizado: Si en la prueba estándar se utilizaron cilindros, la relación altura/diámetro que guarde el "corazón" deberá ser de 2, cuando se empleen cubos en la prueba estándar, la relación será de 1. Los corazones con la relación altura/diámetro menor a 1 son poco confiables, así mismo no es recomendable el empleo de corazones muy pequeños, pero de ser inevitable, será necesario triplicar la cantidad de muestras a probar.

Las resistencias que se obtienen de los corazones, generalmente son inferiores a las de los cilindros estándar, esto resulta en parte, como consecuencia de la operación de perforación y en parte a que las condiciones de curado en obra, no son las mismas a las cuales se someten los cilindros para prueba.

Independientemente del cuidado que se tenga al realizar el taladrado para la extracción de corazones, siempre existe gran riesgo de causar daños a elemento que se perfora, estos daños se incrementan obviamente al hacer mayor número de extracciones, al hacerlas en lugares donde existe concentración de esfuerzos y al efectuar extracciones de gran volumen en elementos menudos.

La interpretación de resultados de resistencia de corazones, con respecto a una resistencia especificada a los 28 días, no es fácil, ya que influye el lugar de donde se tome la muestra, el tipo de elemento del que se obtiene y la dirección del taladro para extraerla, pero es aceptado que sea entre el 70 y 85% del valor de la resistencia especificada.

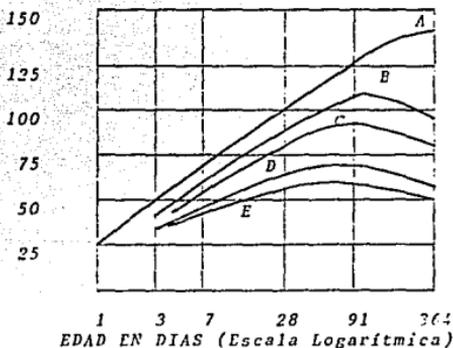
En ocasiones se argumenta que los corazones tomados de un concreto, con muchos meses de edad, deben ser más resistentes que el valor especificado a los 28 días. Pero esto resulta incierto y existe evidencia de que el concreto en obra, después de los 28 días y hasta tres meses solo aumenta, en el mejor de los casos, el 10% de resistencia y hasta seis meses el 15%.

Esto se observa en la tabla X.7, que nos muestra el desarrollo de resistencia en corazones de concreto elaborados con cemento portland tipo I, expresada como porcentaje de la resistencia a los 28 días de un cilindro estándar de 387 Kg/cm² (A). Donde:

- (B) es un corazón de losa bien curada y probado seco
- (C) es un corazón de losa bien curada probado húmedo
- (D) es un corazón de losa pobremente curada probado seco
- (E) es un corazón de losa pobremente curada probado húmedo.

Tabla X.7 Resistencia de corazones como porcentaje de la resistencia de un cilindro estándar

RESISTENCIA DE
CORAZONES



De lo anteriormente expuesto, deducimos que no se deben hacer conversiones dogmáticas de la resistencia de corazones a resistencias de cilindros o cubos imaginarios, ya que los resultados de las pruebas de corazones son solo una base para la evaluación racional y cimentada en la experiencia.

La prueba de corazones, también puede emplearse para descubrir la segregación o alveolado de un elemento de concreto, o bien para verificar la adherencia en juntas de construcción.

OBJETIVO

Conocer el procedimiento de extracción de corazones de prueba y someterlos a compresión para evaluar la resistencia del elemento del cual se obtienen.

MATERIAL

- Elemento endurecido de concreto con sección transversal de 20X20 centímetros, el cual se pueda perforar (destruir) de una parte.

EQUIPO

- Perforadora (Hilti) con broca de diamante de 4" de diámetro
- Máquina universal

DESARROLLO

- 1.- Se coloca la perforadora contra el elemento de concreto, de modo que la broca indique el lugar de extracción y se fija la base.
- 2.- Se extrae el espécimen del elemento de concreto, utilizando la perforadora sin ángulo de inclinación para que se perfore verticalmente y tengamos un espécimen cilíndrico, sin necesidad de desbastar. Deberá mojarse un poco la broca con agua, cada vez que se sienta dificultad al corte.
- 3.- Una vez que se enfríe la máquina, se retira el corazón de la broca y se procede a cabecearlo y prepararlo para la prueba de compresión.
- 4.- Se somete el corazón a compresión en la máquina universal y el resultado se compara con la resistencia especificada del elemento, este resultado deberá ser del orden del 70 al 85% para que se señale como satisfactorio.

CAPITULO XI

PRUEBAS A CONCRETOS ESPECIALES

PRUEBA Nº 21: CONCRETO LIGERO

PRUEBA Nº 22: CONCRETO RESISTENTE A SULFATOS

PRUEBA Nº 23: CONCRETO CON INCLUSION DE AIRE

PRUEBA Nº 24: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

CAPITULO XI PRUEBAS A CONCRETOS ESPECIALES

PRUEBA Nº 21: CONCRETO LIGERO

MARCO TEORICO

Para producir un concreto ligero, o sea de baja densidad, es necesaria la utilización de un método determinado, que nos permita introducir grandes cavidades en su masa.

En las construcciones de concreto, el peso propio de la estructura representa un porcentaje de la carga total a la que se sujeta, cuando se reduce la densidad del concreto, se obtienen ventajas a este respecto. Es decir, al utilizar un concreto ligero, aligeramos la estructura y como consecuencia se tiene la reducción de las secciones de diseño.

Además de lo anterior, tenemos otras ventajas como: el concreto ligero proporciona mayor aislamiento térmico, la presión que la cimbra tiene que soportar es menor y el peso volumétrico de este concreto baja con respecto al concreto normal; características con las cuales se obtienen beneficios en el manejo, productividad y economía.

Existen tres métodos para obtener concreto ligero y son:

- 1.- Empleando agregado ligero y poroso de baja densidad relativa, en lugar del agregado normal. El concreto que resulta recibe el nombre del agregado que se utilice como aligerante.
- 2.- Introduciendo grandes cavidades dentro del concreto. A este tipo de concreto se le conoce como celular, aireado, espumoso o gasificado, debido a la forma en que se introducen las cavidades dentro del concreto
- 3.- Haciendo la mezcla sin utilizar agregado fino y en general con agregado grueso normal, de manera que queden en la masa del concreto cavidades intersticiales. Al concreto que se obtiene de esta forma se le llama concreto sin finos.

Por tanto, es obvio que la resistencia de un concreto ligero es mas baja que la del concreto normal, por los huecos que se forman y que su costo es mas alto, debido a que se emplean métodos especiales para su elaboración; pero para muchos fines, sus ventajas superan los inconvenientes. Como por ejemplo cuando se utiliza en muros divisorios, techos de cascarón, losas aligeradas.

El concreto ligero tiene infinidad de aplicaciones, pero se debe utilizar cuando no se requieren resistencias muy elevadas, ya que en la mayoría de los casos, para elevar su resistencia se necesita aumentar la cantidad de cemento.

En el caso de que el proyecto lo requiera, se pueden tener resistencias altas, pero deberá vigilarse cuidadosamente el proceso de elaboración y comprobar las propiedades y comportamiento de los agregados utilizados.

OBJETIVO:

Obtener un concreto ligero por medio del método de emplear agregados ligeros, en este caso tezontle y observar sus características, así como comparar su resistencia con un concreto normal.

MATERIAL

- 10 Kg. de Cemento portland normal
- 18 Kg. de Grava de 3/4"
- 18 Kg. de Arena
- 9 Kg. de Tezontle
- 13.5 Lt. de agua

EQUIPO

- 4 Moldes para cilindro de 15X30 cm.
- 2 Charolas
- Báscula de 25 Kg de capacidad
- Probeta graduada
- Cucharón
- Cucharilla de albañil
- Varilla punta de bala de 16 mm de diámetro o vibrador

DESARROLLO

1.- Elaborar en la charola, una mezcla de concreto con la siguiente proporción:

- 5 Kg. de cemento
- 18 Kg. de grava
- 9 Kg. de arena
- 5.5 Lt. de agua

2.- Con la mezcla de concreto normal llenar 2 moldes considerando:

- A) Colocar los moldes previamente engrasados sobre una base donde no se tengan vibraciones.
- B) Llenar los cilindros, cuidando de hacerlo en tres capas y compactando cada una de ellas mediante 35 golpes con la varilla, sin llegar a tocar la capa anterior. Se enraza el borde alisando la superficie.
- C) Se dejan los cilindros en la base durante 24 horas sin que sean movidos, protegiendo la superficie expuesta con un lienzo húmedo.

3.- Elaborar en la otra charola, una mezcla de concreto con la proporción dada:

- 5 Kg. de cemento
- 9 Kg. de tezontle
- 9 Kg. de arena
- 8 Lt. de agua

4.- Con la mezcla de concreto ligero llenar los otros 2 moldes considerando lo siguiente:

- A) Colocar los moldes previamente engrasados sobre una base donde no se tengan vibraciones.
- B) Llenar los cilindros, cuidando de hacerlo en tres capas y compactando cada una de ellas mediante 35 golpes con la varilla, sin llegar a tocar la capa anterior. Se enraza el borde alisando la superficie.
- C) Se dejan los cilindros en la base durante 24 horas sin que sean movidos, protegiendo la superficie expuesta con un lienzo húmedo.

5.- A los cuatro especímenes se les quitará el molde a las 24 horas después de colados y se marcarán con sus datos de identificación. Luego se ponen en el cuarto de curado con 100% de humedad relativa y con una temperatura entre 21 y 25°C por un lapso de 28 días.

6.- Pasados los 28 días se pesan y se prueban los cilindros a compresión registrándose los pesos y las resistencias obtenidas para correlacionar sus diferencias.

PRUEBA Nº 22: CONCRETO RESISTENTE A SULFATOS

MARCO TEORICO

El ataque de los sulfatos, se presenta debido a que algunas arcillas contienen en su estructura ciertos alcalis, sulfato de calcio, magnesio, etc.; substancias que al conjuntarse con el agua del subsuelo forman una solución salina o sulfatada que reacciona químicamente con el concreto, dando como resultado un producto de mayor volumen que el original. Como esta reacción se da en los huecos o vacíos del concreto, cuando se produce la expansión provoca la ruptura del elemento.

Al utilizar un concreto en algún proyecto de ingeniería, debemos estar conscientes de que puede estar expuesto a la acción o al ataque de sulfatos, los cuales se encuentran generalmente en las cimentaciones en contacto con el subsuelo o en elementos que se encuentren directamente en relación con el agua de mar.

La acción de los sulfatos se puede apreciar por la apariencia blanquecina que presentan las estructuras de concreto. El daño puede iniciarse en las esquinas o aristas, continuando con agrietamientos y descascaramiento progresivo que llega a hacer un concreto quebradizo, inservible y peligroso.

Los sulfatos mas usualmente encontrados son el de sodio y el de magnesio, siendo este último, el mas agresivo.

Se puede lograr un concreto resistente a la acción de los sulfatos, mediante el uso de cemento de bajo contenido de aluminato tricálcico o reemplazando parcialmente el cemento por puzolanas, con ciertas precauciones. De igual forma se logra con un concreto muy impermeable o rico en cemento y realizando un curado mediante vapor a alta presión.

Aunque es de gran ayuda emplear cemento portland de alto horno o cemento portland con puzolanas, el comportamiento del concreto, ante el ataque de sulfatos, depende mas de la calidad del concreto que del tipo de cemento que se utilice. Si se le permite al concreto secar completamente antes de exponerlo a sulfatos, se incrementa su resistencia, ya que se forma una película de carbonato de calcio que bloquea los poros y reduce la permeabilidad de la superficie. De esto se deduce que los elementos prefabricados de concreto suelen ser menos vulnerables que los colados en obra.

También se puede aplicar un tratamiento que tape y selle los poros del concreto con diferentes materiales, de manera que se pueda preparar la superficie para ser expuesta, lo cual siempre implicará una capa protectora que puede dar diversos grados de protección y que requerirá suficiente adherencia, plasticidad y renovación cada cierto tiempo.

Las estructuras mas dañadas por este tipo de ataque de sulfatos, son aquellas que se encuentran sometidas a humedecimiento y secado alternados por largos períodos, como por ejemplo las construcciones a orillas del mar o que se efectúan dentro de las mareas.

En el caso de concreto reforzado, la absorción de las sales establece áreas anódicas y catódicas; la acción electrolítica resultante conduce a una acumulación de la corrosión sobre el acero, con la consecuente ruptura del concreto que lo rodea, de tal manera que los efectos del agua de mar son mucho peores en el concreto reforzado que en el simple.

OBJETIVO

Observar los efectos en el concreto provocados por el ataque de sulfatos, mediante una prueba de intemperismo acelerado aplicada a dos muestras diferentes de concreto.

MATERIAL

- 750 gramos de cemento portland normal (Tipo I)
- 750 gramos de cemento portland resistente a sulfatos (Tipo V)
- 1,500 gramos de arena
- 350 gramos de sulfato de sodio
- 1,900 ml. de agua

EQUIPO

- 6 moldes para espécimen en forma de cubo
- 2 Charolas
- Báscula de 2 Kg. de capacidad
- Espátula
- Cucharilla de albañil
- Varilla con punta de bala de 16 mm. de diámetro

DESARROLLO

1.- Elaborar en la charola, una mezcla con la siguiente proporción:

- 750 gramos de cemento portland normal
- 750 gramos de arena
- 450 ml. de agua

2.- Con la mezcla de cemento normal llenar 3 moldes considerando:

- A) Colocar los moldes previamente engrasados sobre una base donde no se tengan vibraciones.
- B) Llenar los moldes, cuidando de hacerlo en tres capas aproximadamente iguales y compactando cada una de ellas mediante 25 golpes con la varilla, sin llegar a tocar la capa anterior. Se enraza el borde alisando la superficie, si es necesario se debe agregar un poco mas de mezcla.
- C) Se dejan los moldes en la base durante 24 horas sin que sean movidos, protegiendo la superficie expuesta con un lienzo húmedo.

3.- Elaborar en la otra charola, una mezcla con la siguiente proporción de materiales:

750 gramos de cemento portland Tipo V
750 gramos de arena
450 ml. de agua

4.- Con la mezcla de cemento Tipo V llenar los otros 3 moldes considerando lo siguiente:

- A) Colocar los moldes previamente engrasados sobre una base donde no se tengan vibraciones.
- B) Llenar los moldes, cuidando de hacerlo en tres capas aproximadamente iguales y compactando cada una de ellas mediante 25 golpes con la varilla, sin llegar a tocar la capa anterior. Se enraza el borde alisando la superficie, si es necesario se debe agregar un poco mas de mezcla.
- C) Se dejan los moldes en la base durante 24 horas sin que sean movidos, protegiendo la superficie expuesta con un lienzo húmedo.

5.- A los seis especímenes se les quitará el molde a las 24 horas después de colados y se marcarán con sus datos de identificación. Luego se ponen en el cuarto de curado con 100% de humedad relativa y con una temperatura entre 21 y 25°C por un lapso de 7 días.

6.- Pasado este lapso, se pesan y se registran estos datos. Se prepara la solución salina con 350 gramos de sulfato de sodio diluido en un litro de agua.

7.- Se colocan los especímenes cúbicos en dicha solución y después de 6 horas se sacan y se ponen al horno durante 18 horas a una temperatura de 90°C, registrándose sus pesos al término.

8.- Se repiten los pasos 7 y 8 durante cinco ciclos mas y se evalúan las pérdidas de peso que sufran los cubos, así como el estado físico en que se encuentren debido al ataque del sulfato; comparando los de cemento normal y los elaborados con cemento tipo V.

PRUEBA Nº 23: CONCRETO CON INCLUSION DE AIRE

MARCO TEORICO

La inclusión de aire en un concreto, no es mas que el incorporar intencionalmente aire a la mezcla, mediante un agente adecuado.

Es necesario distinguir este aire de aquel que se queda atrapado accidentalmente en una pasta. La diferencia entre estos, es la magnitud de las burbujas que lo componen.

El aire incluido produce cavidades discretas en la mezcla de cemento, del orden de 0.05 mm; de manera que no se formen canales en donde pueda circular el agua y no aumente la permeabilidad del concreto. Mientras que las del aire atrapado suelen ser mucho mayores.

El propósito de incluir aire en un concreto es principalmente hacerlo resistente al congelamiento, además se aumenta la resistencia de la mezcla a las heladas y deshielos repetidos, esto es, cuando el concreto está sujeto a este tipo de ciclos. Los agentes inclusores de aire, se pueden aplicar como aditivos al concreto o como un elemento que se adiciona al cemento en proporciones fijas, los agentes mas utilizados son:

- A) Grasas y aceites minerales y animales, así como sus ácidos grasos.
- B) Resinas naturales de maderas, las cuales reaccionan con la cal formando resinato soluble.
- C) Agentes humectantes como las sales de alcalis de compuestos orgánicos sulfatados o sulfonatados.

En el mercado existen diversos tipos de aditivos inclusores de aire, los principales requisitos para un agente de este tipo, son que produzca rápidamente un sistema de espuma fina y estable, cuyas burbujas individuales resisten la coalescencia y que no ejerza efectos negativos al concreto.

Una desventaja importante es que al incluir aire en un concreto, su resistencia de diseño bajará en proporción al volumen de aire que presente. En muchas ocasiones esto se compensa con otras ventajas que ofrece un concreto con esta característica; por ejemplo cualitativamente se aumenta la trabajabilidad, es mucho mas fácil de colar y compactar; su sangrado se reduce, disminuye la formación de nata o costra en las superficies expuestas y en general la mezcla es mas cohesiva y uniforme que la de un concreto normal.

Existen tres métodos para medir el contenido total de aire en un concreto fresco y son:

- 1.- Método gravimétrico.- Compara la densidad de un concreto compactado con aire incluido (Pa), contra la de un concreto normal (P), con igual proporción. Expresando el contenido de aire como parte del volumen total.

$$\text{Contenido de aire CA} = \frac{Pa}{P} \text{ [%]}$$

- 2.- Método volumétrico.- Por este medio se mide la diferencia de volúmenes de una mezcla de concreto compactado, antes y después de que el aire ha sido expulsado. El aire se extrae por agitación, rodado y movimiento. La operación se efectúa en un picnómetro u otro recipiente adecuado.

- 3.- Método de presión.- Es el más utilizado en obra, se basa en la relación que existe entre el volumen de aire y la presión aplicada a una temperatura constante. No es necesario conocer las proporciones de la mezcla, ni las propiedades de los materiales y cuando se emplean medidores comerciales se obtiene el porcentaje de aire directamente. A grandes alturas se debe calibrar el medidor.

En el caso de un concreto endurecido, se debe medir el contenido de aire en secciones pulidas del elemento por medio de un microscopio (técnica lineal transversal) o con un medidor de aire a alta presión.

OBJETIVO

Determinar en el laboratorio el aire incluido en un concreto fresco por medio del método de presión.

MATERIAL

- 1.27 Kg. de cemento
- 3.27 Kg. de arena
- 6.37 Kg. de grava
- 0.84 Lt. de agua
- 0.762 cm³ de aditivo (30 cm³ por saco de cemento)

EQUIPO

- Medidor de aire tipo presión
- Pisón de varilla metálica de 5/8" de diámetro y 40 cm. de largo
- Enrazador o regla plana de 40 cm. de largo
- Perilla de hule
- Charola
- Cucharilla de albañil

DESARROLLO

- 1.- Se elabora la mezcla en la charola con las proporciones de material determinadas.
- 2.- Se llena el recipiente del medidor, vaciando el concreto en tres capas iguales y compactando con el pisón cada una con 25 golpes, con cuidado para no llegar a tocar la capa anterior.
- 3.- Se enraza el recipiente cuidadosamente con la regla para lograr una superficie totalmente lisa.
- 4.- Se limpia perfectamente el borde del recipiente y se le coloca la tapa cónica, se ponen las abrazaderas y se ajustan las mariposas opuestas, apretando hasta que cierre sin forzar las roscas.
- 5.- La perilla de hule llena de agua, se introduce un tanto por alguno de los orificios de la tapa y al salir el líquido por el lado opuesto se cierran inmediatamente las llaves de paso.
- 6.- Se inyecta agua a presión por medio del émbolo que tiene la tapa, hasta que el manómetro llegue al punto de calibración. Cuando esto sucede se atornilla el émbolo en su posición final de descenso y se procede a oprimir la válvula de paso para incrementar la presión en el recipiente que contiene el concreto.
- 7.- Se hace la lectura de la carátula del manómetro, donde se observa directamente el porcentaje de aire que existe.
- 8.- Finalmente, se abre en forma lenta una de las llaves de paso de los orificios de llenado y se deja salir parte del agua a presión. Cuando esta baja al nivel de la atmosférica se destapa el recipiente.

PRUEBA N^o 24: CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

MARCO TEORICO

La resistencia es una propiedad del concreto que, casi siempre, es motivo de preocupación para el constructor. Por lo general, se determina por medio de un espécimen en compresión cuando alcanza su resistencia final; aunque en algunas ocasiones por su capacidad a flexión o tensión.

Como el concreto aumenta su resistencia con la edad, lo mas común es probar un cilindro en compresión a los 28 días. No obstante, a veces es necesario determinar la resistencia de un concreto con núcleos extraídos por perforación.

La proporción agua/cemento es de gran influencia en la resistencia de un concreto, a mayor proporción se tiene menor resistencia; es decir, la resistencia puede aumentarse disminuyendo la relación agua/cemento.

También los agregados juegan un papel importante, ya que utilizando algunos de mayor resistencia; o graduando perfectamente el material a fin de tener el menor porcentaje de huecos en la mezcla, se obtienen altas resistencias.

Para este mismo fin, se cuenta con procedimientos constructivos adecuados, curando bien el concreto en húmedo después de fraguado, añadiendo una puzolana como ceniza ligera, vibrando el concreto perfectamente en las cimbras y succionando el exceso de agua de la mezcla en el encofrado mediante una bomba de vacío.

La resistencia a corto tiempo o resistencia rápida, puede aumentarse utilizando cemento portland tipo III, o con aditivos aceleradores como el cloruro de calcio y también con el aumento de la temperatura de curado, pero estos procesos no afectarán esta propiedad a largo plazo. Los aditivos para aumentar la resistencia, por lo general actúan reduciendo los requisitos de agua para obtener la trabajabilidad deseada.

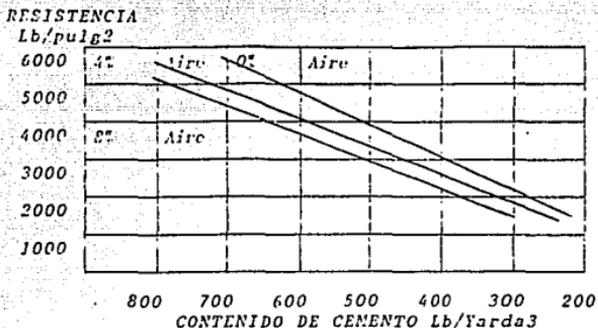
La resistencia a la tensión del concreto, como se sabe, es mucho menor que la resistencia a la compresión, y cualquiera que sea el tipo de prueba, tiene una correlación deficiente con f'_c .

La resistencia a la tensión (módulo de ruptura y no resistencia real) determinada en las pruebas de flexión, es al rededor de $7\sqrt{f'_c}$ para los concretos de alta resistencia y de $10\sqrt{f'_c}$ para los concretos de baja resistencia.

A continuación se muestran gráficamente, algunos de los diversos factores que afectan la resistencia de un concreto.

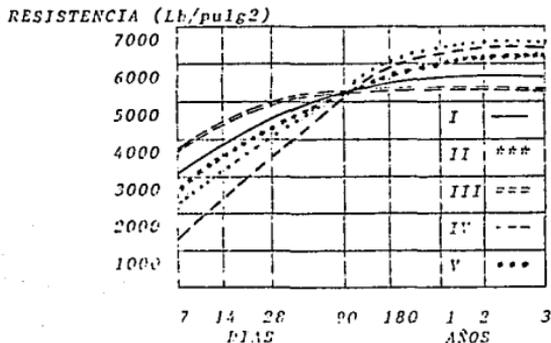
La tabla XI. nos muestra como la resistencia a compresión de un concreto de 28 días, aumenta con el contenido de cemento, pero disminuye con las adiciones de aire, en este caso del 0%, 4% y 8%. Los concretos que se observan tienen un agregado de tamaño máximo de 3/4", elaborados con 43% de arena y revenimiento máximo de 3".

Tabla XI.1 Resistencia en función del contenido de cemento



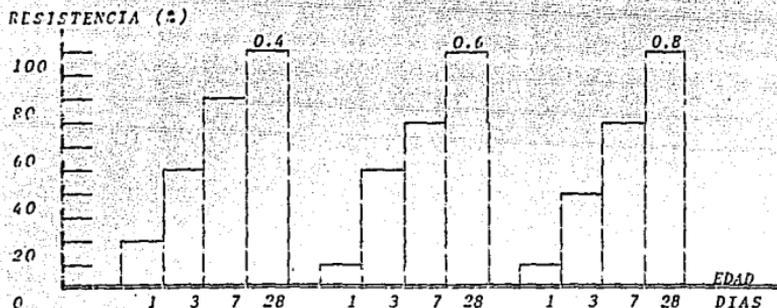
La rapidez de desarrollo de la resistencia de un concreto, varía dependiendo del tipo de cemento utilizado. La tabla XI.2 lo demuestra con pruebas de resistencia a compresión, en cilindros semejantes con agregado de 1 1/2", pero utilizando diferentes tipos de cemento, a razón de 6 sacos por yarda cúbica.

Tabla XI.2 Resistencia con diversos Cementos



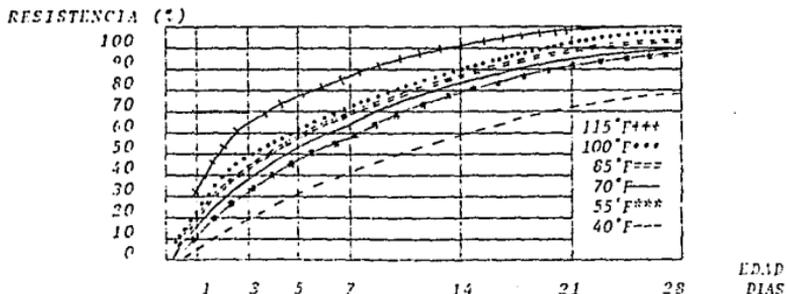
La relación agua cemento es de gran importancia para la resistencia final de un concreto e influye en el desarrollo de la resistencia a edades tempranas. En la tabla XI.3 se muestra la obtención relativa de resistencia, como porcentaje de la que se adquiere a 28 días, en relación con el tiempo para concretos elaborados con cemento portland normal pero con diferentes proporciones de agua/cemento.

Tabla XI.3 Desarrollo de Resistencia en función de A/C



La resistencia a compresión del concreto se ve afectada con la variación en la temperatura de curado. La tabla XI.4 muestra el comportamiento a diferentes edades, de concretos curados a temperaturas entre 40°F y 115°F, con respecto a los porcentajes de resistencia a 28 días de muestras curadas a 70°F. Los concretos se elaboraron con relación agua/cemento de 0.5, con 3,405 lb. de arena y 606 lb. de cemento tipo II por yarda cúbica y sin grava.

Tabla XI.4 Relación de Resistencia y temperatura de curado



El escurrimiento plástico del concreto es mayor cuando se aumenta la relación agua/cemento o cuando aumenta la intensidad de la carga aplicada. En las gráficas mostradas a continuación se observa el escurrimiento plástico unitario del concreto, expresado en millonésimas de pulgada de acortamiento por cada pulgada del espécimen, relacionado con el tiempo de aplicación de la carga, para dos condiciones: A) Variaciones en la proporción agua/cemento de un concreto y sujeto a carga constante aplicada (tabla XI.5). Y B) Diferentes cargas aplicadas a un concreto idéntico (tabla XI.6).

Tabla XI.5 Ecurrimiento plástico en diferentes relaciones A/C
 ESCURRIMIENTO UNITARIO

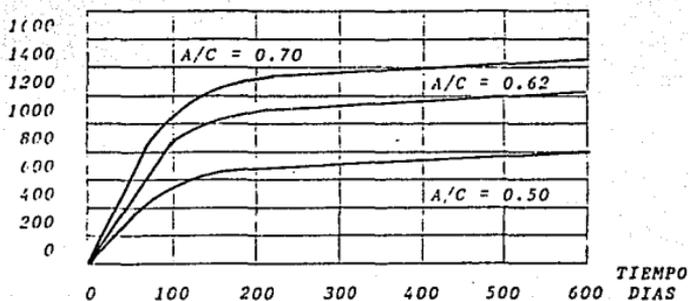
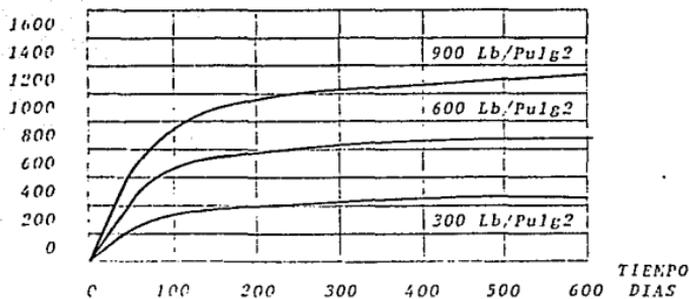


Tabla XI.6 Ecurrimiento plástico en diversas Cargas Aplicadas
 ESCURRIMIENTO UNITARIO



OBJETIVO

Elaborar un concreto de alta resistencia, observar sus características y comprobar su resistencia de diseño.

MATERIAL

- 3.805 Lt. de agua
- 12.624 Kg. de cemento portland normal
- 26.846 Kg. de grava de 3/4" mojada
- 14.959 Kg. de arena mojada
- Grasa
- Lienzo

EQUIPO

- Báscula de 20 Kg. de capacidad con sensibilidad de 5 gramos
- Pala de albañilería
- Cubeta de 20 litros de capacidad
- 4 moldes para cilindro de 15 cm. de diámetro por 30 cm. de altura
- Pisón de varilla de 5/8" de diámetro por 40 cm. de largo
- Enrazador o regla metálica de 40 cm de largo
- Probeta graduada
- Máquina Universal

DESARROLLO

- 1.- Se elabora la mezcla con las proporciones marcadas formando una pasta homogénea y uniforme. Se llenan los moldes en tres capas, compactando con 25 golpes cada una, cuidando de no llegar a tocar la capa anterior.
- 2.- Se enraza el recipiente cuidadosamente con la regla para lograr una superficie lisa en cada uno de los cilindros.
- 3.- Los cilindros deberán permanecer inmóviles durante 24 horas y se protegerá la superficie expuesta con un lienzo o papel húmedo, cuando haya desaparecido el agua superficial del concreto.
- 4.- Cuidando de no golpear o maltratar los cilindros, se les quitará el molde, pasadas las 24 horas después de colados. Se marcan sus datos y se colocan en el cuarto de curado a una temperatura entre 21° y 25°C, con humedad relativa de 100%. inmersión en agua o enterrados en arena húmeda.

- 5.- Pasados siete días, se preparan y se prueban dos cilindros a compresión, registrándose y promediando los datos obtenidos.
- 6.- Después de 28 días, los otros dos cilindros se preparan y se prueban también a compresión, registrando y promediando los datos. Podrá observarse que la resistencia aumenta con la edad y será aproximadamente de 500 Kg/cm² a 28 días.

CAPITULO XII

EL ACERO

CAPITULO XII EL ACERO

DEFINICION

Los metales mas utilizados en la construcción son el hierro, plomo, cinc, cobre y aluminio. Generalmente se encuentran en la naturaleza combinados con otros cuerpos y en cantidad insuficiente para ser utilizados industrialmente. Es por esto que se requiere de la metalurgia para obtenerlos, darles forma y según su empleo, ciertas resistencias.

La obtención del hierro (siderurgia) y sus aleaciones con otros elementos, ya sean impurezas o materiales añadidos para modificar sus propiedades; como el carbono, silicio, manganeso, fósforo, azufre, etc. se denominan fundición, hierro dulce o acero.

El acero es el producto ferroso cuyo porcentaje de carbono se encuentra entre 0.05 y 1.7%, se endurece por temple al formarse el carburo de hierro y se funde a temperaturas entre 1,400 y 1,500°, pudiéndose moldear mas fácilmente que el hierro. Para clasificar a los aceros, se debe tomar en cuenta además de su contenido de carbono, su resistencia, la cual debe ser como mínimo de 40 kg/mm² a la tracción.

CLASIFICACION

Por su método de obtención se clasifica al acero de la forma:

Tabla XII.1 Clasificación del acero por su obtención

PROCEDIMIENTO DIRECTO Obtención en estado sólido	ACERO SOLDADO
	ACERO FORJADO
PROCEDIMIENTO INDIRECTO Obtención en estado líquido	ACERO DE FUSION
	ACERO HOMOGENEO

Los aceros estructurales que se utilizan en la construcción, se clasifican por las especificaciones de la ASTM en base a su proceso de producción, contenido químico, tratamiento térmico, propiedades de dureza, resistencia a tracción y límite de fluencia para secciones mínimas, como se muestra en la tabla XII.2.

La mayoría de los aceros estructurales, excepto los maraging, contiene carbono entre 0.10 y 0.28%, los mas antiguos tienen pocos elementos de aleación y se les llama aceros al carbono. Los aceros llamados de bajo contenido de aleación contienen cantidades al rededor del 2% de estos elementos. Otros como los maraging con 18% de níquel, se designan aceros de alto contenido de aleación.

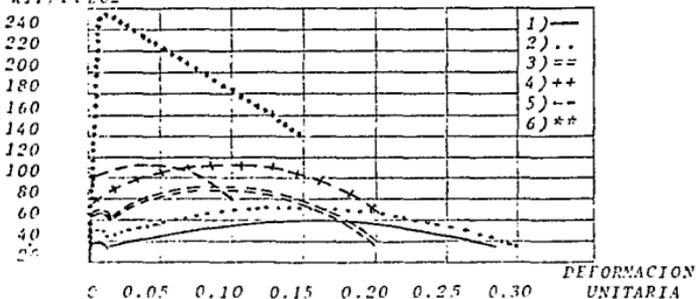
Tabla XII.2 Clasificación de aceros norma ASTM

CLASIFICACION	Nº ASTM	LIMITE Ksi FLUENCIA
Aceros estructurales al carbono (1)	* A36	36
Aceros alta resistencia y bajo contenido de aleación (2)	* A440	42 - 50
	* A441	
	* A242	
	A588	
Aceros al (3) columbio-vanadio	* A572	42 - 65
Aceros al carbono con tratamiento térmico (4)	*	50 - 80
Aceros al carbono con tratamiento térmico para construcción (5)	* A514	90 - 100
	A517	
	A633	
Aceros Maraging (6)	*	200 - 300

En la gráfica mostrada a continuación se observan las curvas típicas de esfuerzo deformación para: 1)*, 2)*, 3)*, 4)*, 5)* y 6)*

Tabla XII.3 Gráficas esfuerzo deformación para aceros

ESFUERZO KIP/PULG²



PROPIEDADES GENERALES

FUSIBILIDAD

Cualquier metal en estado líquido debe tener cierta fluidez, para que penetre en los huecos mas pequeños y no queden espacios vacíos en el elemento, que den lugar a contracciones de volumen o almacenamiento de gases.

FORJABILIDAD

La capacidad de un metal en estado sólido, para soportar un cambio de forma calentándolo y sometándolo a acciones mecánicas, sin pérdidas de cohesión, recibe el nombre de forjabilidad; y al igual que la maleabilidad de un acero, depende de la composición química del elemento.

MALEABILIDAD

Esta propiedad de los metales de poder modificar su forma a la temperatura ambiente ordinaria, mediante acciones mecánicas, es similar a la forjabilidad, pero se limita a un rango determinado, fuera del cual el elemento se hace duro y quebradizo.

DUCTILIDAD

Esta propiedad de los elementos metálicos de poderse alargar en la dirección de su longitud, hasta transformarse en alambres o hilos, depende del límite de la elasticidad y tenacidad.

TENACIDAD

Es la resistencia a la falla por tracción que presentan los metales y en ella influyen la elasticidad y la capacidad de alargamiento que posea el material. Se expresa en Kg/cm².

FACILIDAD AL CORTE

Es la propiedad de poderse separar en partes mediante herramientas de corte, los metales muy duros no se pueden cortar fácilmente y los blandos impiden un corte liso.

SOLDABILIDAD

Es la propiedad de poder unir por presión y mediante elevada temperatura, dos elementos metálicos hasta formar uno solo.

OXIDACION

Es la acción del oxígeno sobre el elemento metálico, que forma una capa que va penetrando al interior y lo destruye con el tiempo.

VENTAJAS DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

El acero es uno de los materiales estructurales más versátiles y se dice que es el más cercano a la perfección considerando su gran resistencia, poco peso, fabricación sencilla y otras características deseables que se exponen a continuación.

ALTA RESISTENCIA

La alta resistencia del acero, por unidad de peso, da como resultado que en una estructura las cargas muertas sean menores que con otros materiales. Esto es muy importante en algunas construcciones como los puentes de claros muy grandes, los edificios de gran elevación y las estructuras cimentadas en condiciones precarias.

UNIFORMIDAD

Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo, lo cual si sucede con otros materiales, como por ejemplo con el concreto.

ELASTICIDAD

El acero se encuentra más cerca de la hipótesis de diseño, que la mayoría de los demás materiales, porque sigue la ley de Hooke, hasta para esfuerzos relativamente altos. Los momentos de inercia de una estructura de acero pueden ser calculados con precisión, en tanto que estos valores obtenidos para otras estructuras, como son las del concreto reforzado, son inexactos o un tanto indefinidos.

DURABILIDAD

Recibiendo un mantenimiento adecuado, las estructuras de acero, duran indefinidamente y la investigación de nuevos aceros, manifiesta que bajo ciertas condiciones, con solo dar mantenimiento a la capa de pintura suele ser suficiente.

DUCTILIDAD

Esta propiedad de los materiales, que les permite soportar deformaciones generales sin fallar, bajo esfuerzos de tensión elevados, es muy notoria en el acero. Cuando se somete un elemento de acero a la prueba de tensión, ocurrirá una reducción considerable de su área transversal y un fuerte alargamiento, en lugar de la falla, antes de que la fractura real ocurra.

Un material que no tenga esta propiedad es probablemente duro y quebradizo, vítreo y posiblemente se rompa si recibe un choque súbito, aún cuando no sea de magnitud realmente grande.

En los miembros estructurales bajo cargas normales, se desarrollan concentraciones de esfuerzos muy elevadas en varios puntos. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes, les permite fluir localmente en dichos puntos, previniendo así fallas prematuras. Una ventaja adicional de las estructura dúctiles es que cuando se sobrecargan, sus grandes deflexiones, dan una evidencia de falla inminente.

AMPLIACION DE ESTRUCTURAS

Las estructuras de acero que se hayan construido, pueden ampliarse después de cierto tiempo, ya sea en nuevos tramos o en partes completas, debido a que estos elementos pueden añadirse a las estructuras de acero de edificaciones ya existentes. Comúnmente se observan las ampliaciones en puentes de acero.

OTRAS VENTAJAS

Algunas otras ventajas del acero estructural son:

- a) Adaptable a prefabricación.
- b) Rapidez de montaje.
- c) Soldabilidad.
- d) Tenacidad y resistencia a la fatiga.
- e) Posible reutilización después de desmontada la estructura.
- f) Valor de rescate aún cuando no pueda usarse sino como chatarra.

DESVENTAJAS DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

En general, el acero tiene las desventajas siguientes:

COSTO DE MANTENIMIENTO

La mayoría de las estructuras de acero, tienen alguna parte expuesta al aire y deben pintarse periódicamente para evitar el ataque de la corrosión.

COSTO DE PROTECCION CONTRA INCENDIO

Aunque el acero es incombustible, la resistencia del acero estructural, se reduce notablemente a las temperaturas que se alcanzan cuando se presenta un incendio. Es por esto que la estructura de acero de una edificación debe estar a prueba de incendios, a fin de asegurarla con primas bajas.

SUSCEPTIBILIDAD AL PANDEO

A medida que los miembros sujetos a compresión son mas largos y delgados, mayor es el peligro de pandeo. Como se ha indicado, el acero tiene alta resistencia por unidad de peso y utilizado en columnas de acero, no siempre resulta económico, debido a que al reforzar la columna para evitar el pandeo se utiliza mayor cantidad de material.

PRODUCTOS DE ACERO PARA LA CONSTRUCCION

Los productos comerciales que se utilizan en la construcción se pueden agrupar en dos rubros: El acero de refuerzo para concreto y los elementos de acero estructural.

ACERO DE REFUERZO PARA CONCRETO

Las varillas corrugadas, son el principal refuerzo para los elementos y estructuras de concreto armado, aunque en algunos casos se utilizan otros como por ejemplo las mallas electrosoldadas para losas, pisos o muros y el alambrión de 1/4" de diámetro para castillos y cadenas, cuyas características comerciales se muestran en las tablas XII.4 y XII.5 expuestas a continuación.

Tabla XII.4 Mallas electrosoldadas

TIPO	c DEL ALAMBRE	AREA DE ACERO cm ² /m	PESO kg./m
6X6-1/1	7.19	2.662	4.309
6X6-2/2	6.67	2.290	3.830
6X6-3/3	6.20	1.974	3.204
6X6-4/4	5.72	1.690	2.729
6X6-6/6	4.88	1.225	1.982
6X6-8/8	4.11	0.87	1.460
6X6-10/10	3.43	0.61	1.010
6X6-12/12	2.68	0.37	0.620

Tabla XII.5 Alambrión para refuerzo de concreto

CALIBRE	mm	Kg/mts.
6	1/4	0.248
8	5/6	0.388
10	3/8	0.559

Es precisamente el corrugado lo que mejora la adherencia con el concreto; las varillas corrugadas se fabrican en acero laminado en caliente, con lo que alcanzan un límite de fluencia desde 2,300 hasta 4,200 Kg/cm² y también con acero trabajado en frío, que les proporciona un límite de fluencia de 4,000 a 6,000 kg/cm². En la tabla XII.6 se muestran las características principales de las varillas corrugadas más comúnmente utilizadas así como la nomenclatura para definir las.

Tabla XII.6 Varilla corrugada comercial

Nº	Ø NOMINAL		ARFA	PESO	PERIMETRO	Nº DE VARILLAS DE 12m POR Ton
	mm	pulg				
2.5	7.9	$\frac{5}{16}$	49	0.384	24.8	217
3	9.5	$\frac{3}{8}$	71	0.557	29.8	150
4	12.7	$\frac{1}{2}$	127	0.996	39.9	84
5	15.9	$\frac{5}{8}$	199	1.560	50.0	53
6	19.1	$\frac{3}{4}$	287	2.250	60.0	37
7	22.2	$\frac{7}{8}$	387	3.034	69.7	27
8	25.4	1	507	3.975	79.8	21
9	28.6	1 $\frac{1}{8}$	642	5.033	89.8	17
10	31.8	1 $\frac{1}{4}$	794	6.225	99.9	13
11	34.9	1 $\frac{3}{8}$	957	7.503	109.6	11
12	38.1	1 $\frac{1}{2}$	1140	8.938	119.7	9

Varilla corrugada Grado 42
 Límite de Fluencia mínima 4200 Kg/cm²
 Resistencia a la Tensión mínima 5300 Kg/cm²

ELEMENTOS DE ACERO ESTRUCTURAL

El acero estructural puede laminarse económicamente en una amplia variedad de formas y tamaños, sin un cambio apreciable de sus propiedades físicas. Normalmente los miembros más ventajosos son aquellos que tienen grandes módulos de sección en proporción con las áreas de sus secciones transversales.

Los perfiles estructurales se identifican por la forma de su sección transversal, a continuación mostraremos algunos de los más comunes con sus características.

Tabla XII.7 Angulos de Lados Iguales

DIMENSIONES	PESO (Kg/m)	AREA (cm ²)	I (cm ⁴)
1/8"x3/4"x3/4"	0.88	1.11	0.37
3/16"x1"x1"	1.73	2.21	1.25
3/16"x2"x2"	3.63	4.61	11.45
1/4"x1"x1"	2.22	2.80	1.54
1/4"x2"x2"	4.75	6.06	14.57
5/16"x2"x2"	5.83	7.42	17.46
3/8"x2"x2"	6.99	8.77	19.98
1/2"x3"x3"	13.99	17.74	92.4
5/8"x6"x6"	36.01	45.87	1005.6

Tabla XII.8 Soleras

DIMENSIONES	PESO (Kg/m)
1/8"x1/2"	0.32
3/16"x1"	0.95
1/4"x1"	1.27
5/16"x2"	3.17
3/8"x3"	5.70
1/2"x4"	10.13
3/4"x6"	22.78

Tabla XII.9 Pesos de Placa de Acero Nivelada

MEDIDAS	1"	3/4"	1/2"	3/8"	1/4"	3/16"
2' X 6'	333	250	167	125	83	62
3' X 10'	555	416	278	208	139	104
4' X 8'	592	444	296	222	148	111
4' X 12'	888	666	444	333	222	167
5' X 10'	925	694	463	347	231	174
5' X 20'	1850	1388	925	694	463	347
6' X 12'	1332	999	666	500	333	248
6' X 20'	2220	1665	1110	833	555	416
PESO Kg/m ²	199.18	149.38	99.59	74.69	49.79	37.35

Tabla XII.10 Perfil Estructural Rectangular

DIMENSIONES PTR	ESPESOR (mm)	PESO (Kg/m)	AREA (cm ²)	I (cm ⁴)
1" X 1"	2.4	1.62	2.07	1.75
1½" X 1½"	2.8	2.95	3.74	7.56
2" X 2"	3.2	4.54	5.79	21.40
2½" X 2½"	3.6	6.47	8.26	48.30
3" X 3"	4.0	8.62	11.00	93.70
3½" X 3½"	4.0	10.20	13.00	154.00
3" X 2"	3.6	6.47	8.26	63.30
4" X 2"	4.8	10.20	3.00	161.00
4" X 3"	4.0	10.20	13.00	187.00

Tabla XII.11 Vigas Tipo "I" de Perfil Standard

PERALTE IPS (pulg)	PERALTE (mm)	ANCHO PATIN (mm)	ESPESOR ALMA (mm)	PESO (kg/m)
3	76.2	59.2	4.3	8.48
4	101.6	67.6	4.8	11.46
5	127.0	76.2	5.3	14.88
6	152.4	84.6	5.8	18.60
8	203.2	101.6	6.9	27.38

Tabla XII.12 Canales de Perfil Standard

PERALTE (pulg)	PESO (kg/m)	ANCHO PATIN (mm)	ESPESOR PATIN (mm)	ESPESOR ALMA (mm)
3	6.10	36	7	4
4	8.04	40	8	5
6	12.20	49	9	5
	15.63	52	9	8
	19.35	55	9	11
8	17.11	57	10	6
	20.46	60	10	8
	27.90	64	10	12
10	22.76	66	11	6
	29.00	70	11	10
	37.2	73	11	13
	44.64	73	11	17
12	30.80	75	13	7
	37.20	77	13	10
	44.64	81	13	13

Comercialmente, existen infinidad de perfiles estructurales comerciales, además de los ya descritos, entre ellos tenemos:

- A) Angulos de lados desiguales
- B) Acero redondo macizo liso
- C) Acero cuadrado macizo liso
- D) Perfil "I" Estructural
- E) Perfil "Z" Estructural
- F) Tubería Estructural Cédula 30, 40 y 80
- G) Perfil Tubular Rectangular "PTR" o "PER"
- H) Lámina rolada en frío o en caliente de diversos calibres
- I) Lámina de acero galvanizado
- J) Lámina de acero antiderrapante
- K) Perfiles tubulares para Herrería
- L) Viga "I" de Perfil Rectangular "IPR"
- M) Polín Mon-Ten
- N) Rieles

CAPITULO XIII

PRUEBAS AL ACERO ESTRUCTURAL

- PRUEBA Nº 25: RESISTENCIA A TENSION
(LIMITE DE FLUENCIA)*
- PRUEBA Nº 26: CORROSION*
- PRUEBA Nº 27: DILATACION*

CAPITULO XIII PRUEBAS AL ACERO ESTRUCTURAL

PRUEBA Nº 25: RESISTENCIA A LA TENSION

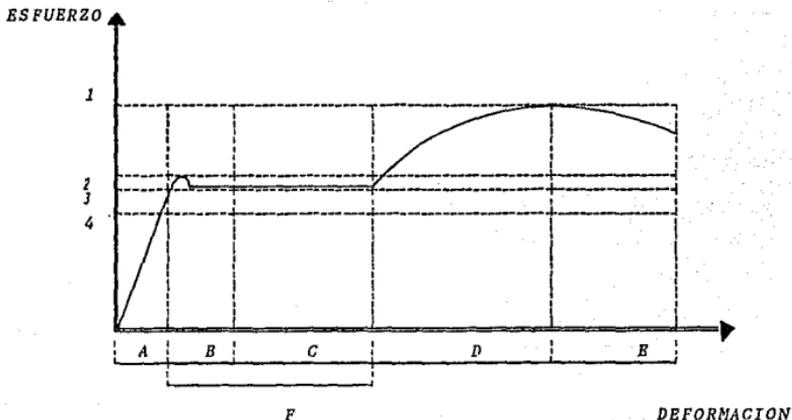
MARCO TEORICO

El acero es un producto derivado del hierro, relativamente puro; se produce combinándolo con carbono y cantidades mínimas de magnesio, fósforo, azufre, silicio, etc. Para ello existen dos métodos: por procesos en frío y procesos en caliente, los primeros no tienen su límite de fluencia bien definido, en tanto que los segundos si lo tienen.

Para comprender el comportamiento de las estructuras de acero es necesario conocer las propiedades de este material. Los diagramas de esfuerzo-deformación nos muestran una valiosa información para entender dicho comportamiento.

Si una pieza de acero estructural se somete a una fuerza de tensión, comenzará a alargarse. Al incrementarse la fuerza de tensión en forma constante, el alargamiento aumentará de manera constante también, pero entre ciertos límites. Esto se observa a continuación:

Tabla XIII.1 Diagrama Esfuerzo-Deformación del acero



La curva esfuerzo-deformación, es una curva típica de cualquier acero dúctil de grado estructural y se supone igual para miembros tanto en tensión, como en compresión. Esta forma del diagrama varía con la velocidad de carga, el tipo de acero y la temperatura. De este diagrama tenemos lo siguiente.

El esfuerzo está determinado por: $f = P/A$

La deformación unitaria está dada por: $\epsilon = \Delta L/L$

El límite elástico de proporcionalidad (4) es el punto más alto sobre la porción de línea recta y determina el mayor esfuerzo para el cual se aplica la ley de Hooke.

El límite de fluencia es el punto donde el acero cambia del estado elástico al estado plástico, es decir, el punto donde el acero empieza a fluir. Este punto determina el esfuerzo al que corresponde un decisivo alargamiento o deformación, sin un incremento significativo de carga. Gráficamente, es el primer punto del diagrama donde la tangente a la curva es horizontal.

Una propiedad muy importante de una estructura que no haya sido cargada más allá de su punto de fluencia, es que recupera su longitud original cuando se retira la carga. Si se lleva la carga más allá del punto de fluencia, solo se logra recuperar parte de la dimensión original. Si después de que la carga se ha retirado, la estructura no recobra sus dimensiones originales, es porque se ha sometido a un esfuerzo mayor que el de su punto de fluencia.

El diagrama de esfuerzo-deformación, puede tener ciertas variaciones en el punto del límite de fluencia:

El Límite Superior de Fluencia (3) Cuando se aplica la carga al acero de forma rápida se tiene este punto como resultado.

El Límite Inferior de Fluencia (2) Cuando la carga se aplica lentamente se tiene este límite como consecuencia.

El Esfuerzo Máximo (1) Es el esfuerzo correspondiente a la resistencia final antes de la ruptura.

Fluencia Elástica (A) Es la etapa en la cual la deformación es elástica, es decir que el acero puede regresar a su estado original cuando se retira la carga. Esta deformación ocurre antes del límite de fluencia.

Fluencia Plástica (F) Es la etapa en la que ocurre una deformación plástica, sin incremento en el esfuerzo y tiene lugar después del punto del límite de fluencia. El acero que se deforma en esta etapa no tiene la capacidad de recuperarse cuando se retira la carga.

En esta etapa tenemos: Flujo Plástico Restringido (B)
Flujo Plástico No restringido (C)

Zona de Endurecimiento por Deformación (D) Es la etapa en la cual es necesario un esfuerzo adicional para producir una deformación mayor, también se le llama zona de acritud. No se le da gran importancia a esta zona en el diseño actual de estructuras, pero las deformaciones totales son del orden de 150 a 200 veces las deformaciones elásticas.

Etapa de Estrangulamiento y Fractura (E) En esta zona del diagrama de esfuerzo-deformación, se observa que desde el esfuerzo que corresponde a la resistencia final, la curva desciende antes de la ruptura y ocurre una aguda reducción en la sección transversal del elemento (estrangulamiento) hasta llegar a la falla.

Como se ha visto el acero es un material de consistencia altamente dúctil, capaz de deformarse en alto grado antes de la falla, pero a mayor resistencia disminuye esta propiedad.

Debido a esta característica podría suponerse que la fluencia del acero, sin incremento de esfuerzo, sería una desventaja, pero actualmente se considera de gran utilidad para prevenir fallas prematuras. Sin embargo, existen ciertos factores ante los cuales se puede comportar frágilmente llegando incluso a fallar sin que antes haya presentado deformaciones plásticas. Algunos factores que pueden propiciar esta situación son las bajas temperaturas, alto contenido de carbono y composición química incorrecta.

Los aceros en general, muestran otras características importantes, dentro ellas tenemos:

- 1.- La resistencia al esfuerzo cortante es alrededor del 75% de la resistencia a tensión.
- 2.- El módulo de elasticidad del acero es $2 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$
- 3.- El módulo de Poisson, que relaciona la deformación transversal con la deformación longitudinal, varía entre 0.25 y 0.33
- 4.- El peso volumétrico del acero es de $7,800 \text{ Kg/cm}^3$
- 5.- Su coeficiente de dilatación térmica es de $0.00001 \text{ m}/^\circ\text{C}$
- 6.- El acero que se utiliza como refuerzo del concreto tiene un límite de fluencia entre $2,300$ y $4,200 \text{ Kg/cm}^2$ para varilla corrugada laminada en frío y de entre $4,000$ a $6,000 \text{ Kg/cm}^2$ para varilla corrugada laminada en caliente.

OBJETIVO

Observar el límite de fluencia de una varilla corrugada, mediante la prueba de tensión y verificar su esfuerzo de falla.

MATERIAL

- Varilla corrugada grado 42 de 50 cm de largo y de 1/2" de diámetro.

EQUIPO

- Máquina Universal
- Punzón
- Martillo
- Báscula
- regla graduada

DESARROLLO

- 1.- Se pesa la varilla y se verifica su longitud, registrando estos datos.
- 2.- Con el punzón y el martillo se marca una distancia "L" de 15 a 20 centímetros en el centro de la varilla.
- 3.- Se coloca la varilla en la máquina universal, provista de mordazas que la sujeten y le transmitan una fuerza axial de tensión.
- 4.- Se procede a aplicar la fuerza axial de tensión a la varilla, registrando su valor cuando llega al límite de fluencia, cuando no se observa deformación proporcional al aumento de carga.
- 5.- Se calcula el esfuerzo de fluencia dividiendo la carga aplicada entre la sección de la varilla.
- 6.- Se continúa sometiendo la varilla a la carga axial hasta su fractura, registrando el valor de la carga de falla y se calcula el esfuerzo máximo o esfuerzo de falla de igual forma que en el punto 5.
- 7.- Se mide el alargamiento total de la varilla y se comprueba la deformación unitaria ($\epsilon = \Delta L/L$)

PRUEBA Nº 26: CORROSION EN EL ACERO

MARCO TEORICO

La corrosión es la destrucción de un metal por una reacción química o electroquímica hacia su medio ambiente.

Se entiende este fenómeno característico de los metales, como una reacción química que se asocia con la libertad de sus valencias de electrones, la cual produce el enlace metálico que les da mas utilidad porque permite la conductividad eléctrica.

Como los electrones están enlazados muy debilmente con sus átomos, estos electrones del metal se eliminan con facilidad en las reacciones químicas. En presencia de materiales no metálicos, como oxígeno, azufre o cloro, con sus cuerpos incompletos de valencia, hay la tendencia de que los metales formen un compuesto y corroan el elemento.

Existen varios tipos de corrosión que se aceleran por la presencia de alguna acción mecánica. Por ejemplo, si se produce una alteración local en una superficie, se aumenta la energía local y el material deformado tiende a volverse mas anódico. El resultado es una disminución localizada de la resistencia a la corrosión.

Esta corrosión por esfuerzo, incluye el ataque localizado en superficies trabajadas en frío, tales como dobleces agudos y agujeros punzonados; bandas de deslizamiento (líneas microscópicas de falla incipiente), que actúan como trayectorias para la corrosión interna a través de los cristales y el agrietamiento debido a corrosión por esfuerzo.

También se tiene la corrosión húmeda y ocurre por mecanismos de naturaleza esencialmente electroquímica, este proceso requiere que el líquido que esta en contacto con el material metálico sea un electrólito; además debe existir una diferencia en potencial, ya sea entre dos metales desiguales o entre diferentes áreas de la superficie de un metal.

La corrosión galvánica ocurre cuando dos metales desiguales están en contacto eléctrico entre si y expuestos a un electrólito. El metal menos noble se disolverá y formara el ánodo, mientras que el metal mas noble actuara como cátodo. La corriente para la corrosión circula a expensas del metal del ánodo, que se corroe, mientras que el metal del cátodo esta protegido contra este ataque.

La corrosión por un gas incluye la reacción entre un metal y las moléculas de un gas, las cuales se absorben en la superficie del metal y reaccionan con los átomos de dicha superficie, para formar productos de corrosión, tales como óxidos o sales.

Otras formas de corrosión comprenden la corrosión por rozadura, debida a un desgaste mecánico, en una atmósfera corrosiva. Los daños por cavitación que sirven para acelerar la corrosión por la aspereza formada en la superficie de un elemento cualquiera de acero. Corrosión subterránea ocasionada por la acidez del subsuelo y que actúa en elementos que se encuentra directamente en contacto con él. La corrosión microbiológica que se debe a la actividad metabólica de diversos microorganismos que atacan el acero. Y la corrosión selectiva que conduce al deterioro de algunas de las aleaciones del metal.

La selección adecuada de los materiales y un buen proyecto de ingeniería, son los mejores medios para controlar y evitar la corrosión, por ejemplo se debe evitar el uso de metales desiguales en contacto, en los cuales pueda ocurrir corrosión galvánica. También pueden utilizarse aleaciones para mejorar la resistencia.

Una protección catódica contra la corrosión, invierte las corrientes y hace que el metal al cual se aplica sea todo catódico. El procedimiento para esta protección consiste en introducir un nuevo ánodo en el sistema, cuyo potencial contrarreste el potencial del ánodo original mas la resistencia de los elementos eléctricos. De esta manera la corrosión se concentra en el nuevo ánodo, el cual se puede reemplazar a intervalos periódicos.

La aplicación de recubrimientos protectores es una medida de prevención y gran control de la corrosión. Con frecuencia se emplean tres tipos de recubrimiento:

- Protección mecánica. Separa el electrodo del electrolito, con pinturas, grasa, esmalte a fuego, etc.
- Protección galvánica. Es anódica con el metal base y se aplica como recubrimiento de zinc o galvanizado en el hierro.
- Pasivadores. Los cuales desplazan el metal base hacia el lado catódico de la serie electromotriz.

En la construcción, el método generalmente utilizado es el de hacer un recubrimiento con pinturas a los elementos estructurales, por ser uno de los mas fácilmente aplicables y económicos.

OBJETIVO

Observar el efecto de la corrosión en un elemento de acero estructural y comparar con el caso de otro elemento con protección.

MATERIAL

- Dos ángulos de acero de 1/4" X 1" de 30 centímetros de largo
- 500 ml. de ácido muriático
- Media cubeta de agua
- Grasa
- 125 ml. de primario anticorrosivo

EQUIPO

- Cepillo de alambre
- Brocha
- Cubeta de lámina de 20 litros de capacidad
- Guantes de hule de uso industrial
- Recipiente medidor de medio litro

DESARROLLO

- 1.- Cepillar perfectamente las piezas de acero con el cepillo, para quitar cualquier partícula adherida.
- 2.- Una de las piezas se recubre con el primario anticorrosivo, dejándolo secar por espacio de 4 horas.
- 3.- Se hace una segunda aplicación del primario, cuidando de que la capa sea totalmente uniforme y se deja secar 4 horas mas.
- 4.- Se prepara una solución de medio litro de ácido muriático en media cubeta de agua, utilizando los guantes y con precaución de no tener contacto físico o inhalación del gas del ácido, ya que es altamente corrosivo y perjudicial.
- 5.- A la pieza que se le aplico el primario se le cubre con una capa delgada y uniforme de grasa.
- 6.- Se sumergen las dos piezas de acero en la solución y se dejan por un lapso de 1 hora dentro de la cubeta.
- 7.- Pasado este tiempo, se sacan y se dejan expuestas al medio ambiente durante 24 horas.
- 8.- Se repiten los pasos 6 y 7 por cinco ciclos mas y se observan los efectos de la corrosión. Se comparan cualitativamente la pieza con recubrimiento y la que no lo tiene.

PRUEBA Nº 27: DILATACION (EFECTO DE LA TEMPERATURA)

MARCO TEORICO

Los materiales y estructuras suelen estar sometidos a influencias ambientales, que distan mucho de ser las condiciones inertes ideales. Pueden encontrarse con temperaturas bajas o elevadas, lo cual llega a afectar las propiedades mecánicas de los materiales, al grado de no cumplir con los requisitos de servicio.

Los efectos térmicos, es decir, las variaciones de la temperatura, a menudo se clasifican por dos tipos:

Temperaturas elevadas. Son los efectos que se llevan acabo por temperaturas superiores a las del ambiente.

Temperaturas Bajas. Son aquellos efectos que tienen lugar a temperaturas menores que la del ambiente.

A veces esto resulta muy relativo, debido a que las temperaturas críticas de un material se encuentran en rangos muy amplios. El límite inferior de interés en cualquier material es el cero absoluto. El límite superior es el punto de fusión para las cerámicas o los metales; o los puntos de fusión o desintegración para los polímeros y las maderas.

Otras temperaturas críticas incluyen la de cristalización de los metales, reblandecimiento y fluencia de los termoplásticos, transición de dúctil a quebradizo del vidrio, etc.

El efecto inmediato de los cambios de temperatura sobre los materiales, se refleja en sus propiedades mecánicas, tales como resistencia a la cedencia, fluencia viscosa y resistencia final. En la mayoría de los materiales, con los aumentos de temperatura, se da una tendencia descendente en la resistencia a la cedencia y resistencia final. El comportamiento a bajas temperaturas, por lo general se define sobre la base de la transición del comportamiento de dúctil a quebradizo.

Analizando la estructura interna de un sólido, podremos entender por que se dilata. Los átomos que constituyen el sólido se distribuyen regularmente en una red cristalina, mantenidos por fuerzas semejantes a las ejercidas por resortes pequeños.

A cualquier temperatura estos átomos se encuentran en vibración en torno a la posición de equilibrio de cada uno, si se aumenta la temperatura del sólido, se produce un aumento en la agitación de sus átomos y en la amplitud de cada vibración.

El crecimiento de la fuerza de repulsión, que se manifiesta entre los átomos cuando se aproximan entre sí, es más rápido que el crecimiento de la fuerza de atracción que se manifiesta cuando se separan.

Produciendo por tanto, un aumento en la distancia media de los átomos, con un consiguiente aumento en las dimensiones del sólido. Este aumento de la temperatura guarda una proporción lineal con respecto al incremento de la temperatura.

Análogamente, al disminuir la temperatura, este fenómeno se presenta a la inversa y ocurre una contracción.

En la tabla siguiente se muestran algunos coeficientes de dilatación lineal para diferentes materiales.

Tabla XIII.2 Coeficientes de dilatación

MATERIAL	COEFICIENTE DE α DILATACION ($1/^{\circ}\text{C}$)
Aluminio	23×10^{-6}
Cobre	17×10^{-6}
Zinc	26×10^{-6}
Vidrio común	9×10^{-6}
Plomo	29×10^{-6}
Acero	11×10^{-6}
Diamante	0.9×10^{-6}

Es necesario que el diseñador y constructor de estructuras metálicas considere las variaciones de temperatura ambientales a las cuales puede estar expuesto el acero, ya que como cualquier material, puede sufrir alteraciones en su volumen, ocasionando problemas en las zonas de apoyos, de fijación, de remaches, de anclajes, etc.

OBJETIVO

Analizar la dilatación que sufre un elemento de acero, al aplicarle un aumento de temperatura.

MATERIAL

- Solera de 1/4" X 1 1/2" de 45 centímetros de largo

EQUIPO

- Vernier
- Horno
- Guantes de carnaza resistentes a lo caliente
- Regla metálica graduada de 50 cm.
- Termómetro ambiental

DESARROLLO

- 1.- Se miden exactamente las dimensiones del elemento con el vernier y se registran los datos.
- 2.- Se toma la lectura del termómetro ambiental para determinar el incremento de temperatura al cual se someterá el elemento de acero.
- 3.- Se calcula el incremento de longitud que sufrirá el elemento con la fórmula:

$$\Delta L = (L_i \times \Delta T) \alpha$$

Donde:

- ΔL = Incremento de longitud [cm]
- L_i = Longitud inicial [cm]
- ΔT = Incremento de temperatura [$^{\circ}C$]
- α = Coeficiente de dilatación [$1/^{\circ}C$]

- 4.- Se pone al horno el elemento de acero a una temperatura de 350 $^{\circ}C$, durante un lapso de 30 minutos.
- 5.- Se saca el elemento de acero del horno y con mucho cuidado se miden sus dimensiones, esto debe hacerse inmediatamente para no dejar que se enfríe y tratando de ser lo mas preciso posible.

6.- Comparar los resultados con el calculo estimado. (puede tener cierta variación debido a la aleación del metal y errores en las lecturas). Sustituyendo en la fórmula dada en el paso 3, tenemos aproximadamente lo siguiente:

$$45 \text{ cm} \times 330 \text{ } ^\circ\text{C} \times (0.000011/^\circ\text{C}) = 0.16335 \text{ cm}$$

CAPITULO XIV

LA MADERA

CAPITULO XIV LA MADERA

DEFINICION

Los materiales orgánicos son un conjunto de elementos que se han venido utilizando desde muy antiguamente en la construcción, entre ellos contamos con la madera, el cual es muy apreciado y se utiliza bastante tanto estructuralmente como para obra negra y en acabados.

La madera es un material natural formado por la parte sólida de los troncos de los árboles, que se halla debajo de la corteza y de manera general puede decirse que es elástico, liviano, aislante y fácil de trabajar.

La composición química de la madera es del 50% de carbono, el 6% de hidrógeno, 42% de oxígeno, 1% de nitrógeno y 1% de cenizas. La mitad de la madera esta formada por celulosa, una tercera parte de lignina mas rica en carbono y de carácter aromático y el resto por las hemicelulosas, materias tánicas, colorantes, resinas y albúminas.

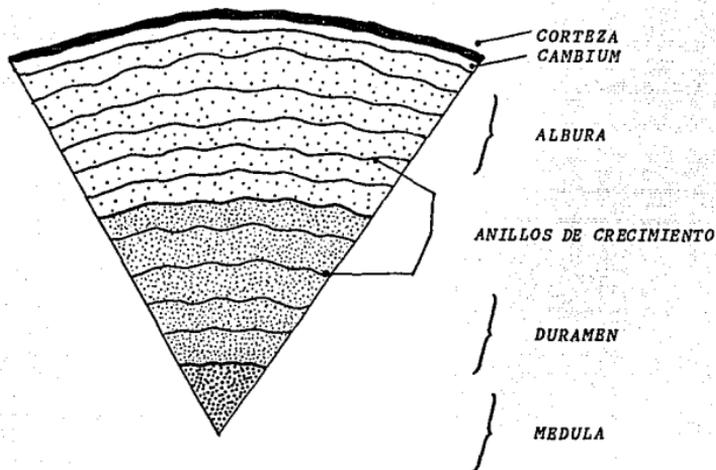
ESTRUCTURA DE LA MADERA

El tronco del árbol crece por el desarrollo de capas concéntricas de células en el exterior de la madera y bajo la corteza. El ciclo anual de crecimiento, ocasionado por las variaciones estacionales en temperatura y humedad, produce los conocidos anillos y vetas de la madera.

La madera está constituida por una aglomeración de células tubulares de forma y longitud muy variables. Al efectuar un corte transversal al tronco de un árbol, se obtiene una sección que permite distinguir en su composición diferentes capas o zonas, las cuales son las siguientes:

- A) **La médula.** Situada en el centro del tronco, tiene una forma más o menos cilíndrica y suele ser mas blanda que el resto de la madera que la circunda, de ella parten los llamados radios medulares hacia la corteza, también se le llama corazón.
- B) **El duramen.** Compuesto principalmente de tejido leñoso, es de color mas oscuro que el resto, los anillos anuales de crecimiento forman en él círculos concéntricos. Es propiamente la parte del árbol empleada en construcción como madera.

Capas componentes de un tronco de árbol



- C) **La albura.** Es la parte viva del árbol, una capa de color claro donde circula la savia bruta. Se trata de la madera mas joven que con el tiempo se convierte en duramen.
- D) **El cambium.** Se llama también capa generatriz, esta debajo de la corteza formada por células de paredes muy delgadas y es donde se engendra la madera.
- E) **El liber.** Es la capa en donde circula la savia elaborada, capaz de transformarse en nuevas células y en donde se genera la corteza.
- F) **La corteza.** Es la capa protectora de los tejidos del árbol y los aísla de los agentes atmosféricos, se le llama también capa suberosa.
- G) **Los radios leñosos.** Son láminas radiales muertas en el duramen y vivas en la albura. Estos radios favorecen la raja o hendibilidad de la madera.

PROPIEDADES DE LA MADERA

Las propiedades de la madera dependen del crecimiento, edad, contenido de agua, clases de terreno de plantación y distintas partes del tronco.

Humedad

El grado de humedad de la madera es uno de los factores que afectan la resistencia y rigidez del elemento. Como la madera es higroscópica, absorbe y desprende humedad según el medio ambiente en que se encuentre, los valores entre los que se encuentra son muy amplios. Para la madera secada al aire se tiene del 10% al 15% de humedad, para la recién cortada puede ser del 50% al 60% y la saturada puede llegar hasta un 250% o 300%.

La madera puede contener agua de tres tipos:

Agua de constitución.- Es inherente a la naturaleza orgánica y parte integrante del material natural.

Agua de saturación.- Es el agua retenida por las membranas y paredes de los elementos leñosos.

Agua libre.- Es el agua absorbida por capilaridad de los vasos y llena las fibras leñosas, desaparece después del corte del árbol.

El contenido de agua es mayor en la albura que en el duramen, de la misma manera es mayor en la madera que procede de árboles cortados en invierno que en los cortados en primavera.

Al colocar los elementos de madera en obra, es necesario tener en cuenta los cambios de volumen debidos a la humedad, ya que cuando la madera absorbe agua produce un hinchamiento y cuando pierde agua se contrae, siendo esta contracción mayor en la albura que en el corazón originando que curvatura y agrietamiento.

Densidad

La densidad absoluta o real de la madera es sensiblemente igual para todas las especies a 1.56; mientras que la densidad relativa o aparente varía no solo de unas especies a otras, sino aún en la misma, con el grado de humedad y sitio del árbol. Siendo mas denso el duramen que la albura en la madera seca, y en la base que en el tronco. Un valor alto en la densidad relativa de la madera indica mayor resistencia y menor porosidad.

Las maderas según su densidad se clasifican en:

A) Pesadas.- Con densidad aparente mayor a 0.8

B) Ligeras.- Densidad aparente de 0.7 a 0.5

C) Muy Ligeras.- Densidad aparente menor a 0.5

La tabla que se observa a continuación nos muestra las densidades relativas de algunos tipos de maderas, las cuales se obtuvieron con peso seco al horno y volumen al 12% de humedad. Así como sus pesos volumétricos en Kg/m³ obtenidos con 12% y 20% de humedad respectivamente.

Tabla XIV.1 Densidades Aparentes de Diversas Maderas

ESPECIE	DENSIDAD RELATIVA	PESO Kg/m ³	
		12% HUMEDAD	20% HUMEDAD
Cedro	0.33 - 0.44	368 - 498	386 - 535
Ciprés sureño	0.46	514	535
Abeto Douglas	0.43 - 0.48	480 - 541	503 - 563
Abeto blanco	0.37	421	437
Pinabete	0.40 - 0.42	467 - 458	423 - 477
Alerce	0.55	623	644
Pino	0.35 - 0.58	398 - 658	419 - 680
Pino gigante	0.40	450	472
Picea	0.34 - 0.40	379 - 466	395 - 478
Fresno blanco	0.60	676	698
Haya americano	0.64	701	722
Abedul	0.52 - 0.65	576 - 748	594 - 770
Nogal	0.63 - 0.72	704 - 813	725 - 829
Roble	0.63 - 0.68	692 - 741	716 - 762
Alamo amarillo	0.42	477	496

Dureza

La dureza de la madera es la resistencia que opone a ser rayada, desgastada o penetrada. Depende de su edad, estructura y la forma en que se trabaje ya sea en el sentido de sus fibras o perpendicular a ellas. De manera general tenemos los parámetros:

- 1) La madera es mas dura mientras mas vieja sea.
- 2) La madera del corazón es mas dura que la de la albura.
- 3) La madera procedente de árboles de crecimiento lento es mas dura que la de los árboles de crecimiento rápido.
- 4) La dureza disminuye con un mayor grado de humedad.
- 5) Es mayor la dureza en el sentido radial de la madera que en el sentido tangencial.

Frecuentemente se clasifica a las maderas en base a su dureza, de esta forma tenemos lo siguiente:

Tabla XIV.2 Clasificación de maderas por su dureza

GRADO DE DUREZA	ESPECIE DE MADERA
<i>Maderas muy duras</i>	<i>Ebano, serbal, encino, roble, fresno, arce, álamo y tejo.</i>
<i>Maderas duras</i>	<i>Acacia, cerezo, almendro, castaño, haya, nogal, aliso, peral, manzano, pino pinaster y carrasco.</i>
<i>Maderas blandas</i>	<i>Abeto, alerce, pino y sauce.</i>
<i>Maderas muy blandas</i>	<i>Tilo y chopo.</i>

Hendibilidad

Es la propiedad que tiene la madera de dividirse o separarse en el sentido longitudinal, es decir en el sentido de sus fibras y paralelo al eje del tronco.

Se le llama también facilidad a la raja bajo la acción de una cuña y es mas sencillo hacerlo sobre los radios medulares, ya que es mas hendible cuanto mas dura, densa, carente de nudos, con fibras rectas y bajo calor.

Entre las especies mas hendibles tenemos el abeto, pino, encino, arce, haya y aliso; entre las poco hendibles el roble, carpe y castaño.

Conductividad

La madera seca es aislante del calor y la electricidad, pero a medida que aumenta su humedad se hace conductora de esta última.

La conductividad es mayor en el sentido longitudinal que en el sentido radial o transversal de la madera; es mas considerable también en las maderas pesadas que en las ligeras o porosas, por lo cual se emplean estas últimas como aislantes térmicos.

Dilatación térmica

El coeficiente de dilatación lineal de la madera es muy pequeño, pudiendo ser despreciado, ya que por ejemplo en el abeto es de 35×10^{-7} y en el pino de 7×10^{-6} .

Duración

La duración de la madera varía mucho con la clase y medio, cuando está a la intemperie y sin impregnación depende de las alternativas de sequedad y humedad, el roble por ejemplo puede durar cien años, el álamo de setenta a noventa años, el pino y alerce de cuarenta a ochenta, el haya cincuenta, el sauce treinta y el aliso o chopo veinticinco años.

Cuando están sumergidos en agua algunas especies alcanzan mayor duración como el roble y aliso que pueden llegar a cien años, el olmo a noventa, el haya a setenta y el pino a cincuenta. Algunas maderas cuando se impregnan tienen una duración ilimitada. La madera empotrada o enterrada en el suelo o terreno varía su duración dependiendo del tipo de terreno, pero en términos generales se dice que su duración media solo llega a ser de diez años.

RESISTENCIAS MECANICAS

La resistencia de la madera depende del grado de humedad y de la densidad, ya que en compresión con cada variación mas o menos del 1% de humedad, la resistencia varía un 4% aproximadamente.

La resistencia y elasticidad, difieren también dependiendo de los tres ejes de simetría que contiene la madera: el longitudinal o paralelo a la veta, el tangencial o perpendicular a la veta y el radial. Los valores del módulo de elasticidad en las dos direcciones perpendiculares a la veta, son solo del orden de 1/20 y 1/12 del valor del módulo paralelo a la veta.

En la tabla XIV.3 siguiente, se comparan los módulos elástico y cortante de algunas maderas, en los sentidos longitudinal, tangencial y radial; los cuales son de gran importancia en el diseño de estructuras.

Tabla XIV.3 Módulos de Elasticidad de Diversas Maderas

ESPECIE	E_L (Kg/m ²)	RELACIONES DE MODULO YOUNG		RELACIONES DE MODULO DE RIGIDEZ		
		E_T/E_L	E_R/E_L	C_{RT}/E_L	C_{RT}/E_L	C_{RL}/E_L
Fresno	1532	0.064	0.109	0.057	0.041	0.017
Balsa	386	0.015	0.046	0.054	0.037	0.005
Abedul	1458	0.050	0.078	0.074	0.067	0.017
Abeto	1603	0.050	0.068	0.064	0.078	0.007
Alamo	989	0.043	0.092	0.075	0.069	0.011
Nogal	1146	0.056	0.106	0.085	0.062	0.021

E_L = Módulo de Elasticidad en dirección Longitudinal

E_T = Módulo de Elasticidad en dirección Tangencial

E_R = Módulo de Elasticidad en dirección Radial

C_{RT} = Módulo Cortante en un plano normal a la dirección Radial

C_{RT} = Módulo Cortante en un plano normal a la dirección Tangencial

C_{RL} = Módulo Cortante en un plano normal a la dirección Longitudinal

En la tablas siguientes, se indican las principales propiedades mecánicas para algunas maderas de uso común, en aplicaciones estructurales. Como se observa el contenido creciente de humedad reduce las resistencias finales a compresión y corte.

Tabla XIV.4 Resistencia promedio para maderas (1)

ESPECIE	MADERA SECADA AL AIRE		
	HUMEDAD (%)	COMPRESION (Kg/cm ²)	CORTE (Kg/cm ²)
Cedro rojo	12	353	60
Cedro blanco	12	330	56
Ciprés del sur	12	447	70
Abeto Douglas	12	522	81
Abeto blanco	12	376	65
Abeto de Canadá E.	12	380	74
Abeto de Canadá W.	12	436	82
Alerce Occidental	12	570	99
Pino amarillo	12	593	105
Pino blanco	12	395	59
Secoya Virgen	12	432	66
Abeto Sitka	12	394	80
Fresno blanco	12	521	137
Abedul	12	574	132
Arce azucarero	12	550	163
Roble rojo	12	475	125
Roble blanco	12	523	140
Alamo amarillo	12	389	83

Tabla XIV.5 Resistencia promedio para maderas (2)

ESPECIE	MADERA VERDE		
	HUMEDAD (%)	COMPRESION (Kg/cm ²)	CORTE (Kg/cm ²)
Cedro rojo	37	193	49
Cedro blanco	55	168	48
Ciprés del sur	91	251	56
Abeto Douglas	38	271	65
Abeto blanco	115	190	52
Abeto del Canadá E.	111	216	59
Abeto del Canadá W.	74	210	56
Alerce occidental	58	280	63
Pino amarillo	63	302	73
Pino blanco	54	186	45
Secoya Virgen	112	295	56
Abeto de Sitka	42	187	53
Fresno blanco	42	280	97
Abedul	67	237	78
Arce azucarero	58	282	100
Roble rojo	80	241	85
Roble blanco	68	250	87
Alamo amarillo	83	187	55

- De estos datos se obtienen esfuerzos permisibles considerando:
- La dispersión en las resistencias de una pieza puede ser hasta de 25% mayor o menor al promedio.
 - Las resistencias señaladas se basan en pruebas a períodos cortos. En el caso de los de servicio, la carga sostenida puede producir la falla a los 9/16 de la carga registrada.
 - El módulo de ruptura de un espécimen de 2" es mayor que el de una viga peraltada.
 - Se debe aplicar un factor de 3/5 para esfuerzos permisibles
 - Los defectos, como nudos y grietas, reducen los esfuerzos permisibles en diversos índices.

CLASES DE MADERAS

Para clasificar la especie de las maderas, muchas veces se utilizan sus propiedades físicas como densidad, dureza, color, vetas, etc. Pero la clasificación científica, se basa en los caracteres histológicos de su estructura anatómica, como vasos, fibras, parénquima, radios medulares, poros aerolares, canales resiníferos, etc.

De acuerdo a esto tenemos: Maderas coníferas o resinosas
 Maderas Frondosas
 Maderas Tropicales o Africanas
 Maderas Exóticas

Maderas Coníferas o Resinosas

Pertenece a las especies más antiguas, son propias de las zonas frías y templadas. Suministran las mejores y más apreciadas maderas de construcción debido a sus características de trabajo y resistencias mecánicas. Entre ellas tenemos las siguientes.

Pino Silvestre. Es una madera resinosa de albura blanca y duramen rojo. Si no es muy resinosa se labra fácilmente. Se utiliza en vigas, obras hidráulicas, madrinas y apeos de minas.

Pino Negral. Es una madera dura de albura blanca y duramen rojo oscuro. Se explota para obtener la resina. Se emplea para madrinas, postes, pilotajes y apeos de minas.

Pino Tea o Melis. Madera muy resinosa casi sin nudos, resiste bien el desgaste, tiene el duramen de color castaño. Se emplea en escaleras, entarimados, postes y madrinas.

Abeto Común. Madera poco resinosa y muy elástica de albura y duramen de color blanco o pardo rojizo. No se alabea fácilmente. se utiliza en mástiles, entibados, andamios, apeos y muebles.

Cedro. Es una madera fina y elástica con la albura blanca y duramen rojo amarillento. Su uso es en la ebanistería y escultura.

Ciprés. Madera dura con buen pulimento, tiene la albura blanca y el duramen rojo. Se usa generalmente en ebanistería.

Maderas Frondosas

Aparecieron después que las coníferas, son propias de las zonas templadas y tropicales, proporcionan maderas aptas para ebanistería por sus aspecto y calidad. Entre las mas comunes tenemos las que se mencionan a continuación.

- Roble albar.** Es una madera dura, de gran resistencia y facilidad al labrado. Tiene albura blanca y duramen rojo, admite buen pulimento. Se utiliza en la carpintería y obra negra de estructuras hidráulicas y navales.
- Encino.** Madera dura de albura y duramen de color rosado oscuro, se raja y alabea al secarse de forma rápida. Se emplea en la ebanistería y en la fabricación de carbón vegetal.
- Haya.** Es un tipo de madera muy dura y pesada, su albura y duramen son blancos. Se alabea con facilidad e igualmente se agrieta y pudre. Al ser impregnada se utiliza en obras hidráulicas y ebanistería.
- Olmo.** Es madera dura y elástica con albura amarillenta y duramen rojizo. Su uso es casi exclusivo para ebanistería y parquet.
- Acacia.** Es la madera dura y elástica que tiene albura amarillenta y duramen amarillo verdoso. Se desarrolla en terrenos áridos y su uso es en pilotes, apeos, ebanistería, carretería, consolidación de diques y vallados.
- Chopo.** Es una madera fina, no resiste los cambios de humedad y su albura es de color blanca amarillenta con duramen rojo claro. Se emplea en la carpintería, entramados, parquet, tableros, cajas y pasta para papel.
- Aliso.** Es madera dura y frágil, de albura y duramen color rosado, se pudre fácilmente no resistiendo alternación de humedad y sequedad, por lo cual se mantiene mejor sumergida. Se emplea para pilotaje, apeo en minas, obras hidráulicas y en ebanistería sustituyendo la caoba.
- Gastaño.** Es de albura blanca y duramen rojo oscuro, se asemeja al roble, pero es mas ligero, es madera dura y elástica. Se utiliza en trabajos de ebanistería, escultura y tallado.
- Presno.** La albura y el duramen tienen un color amarillento, es una madera elástica, dura y fina al tacto. Se utiliza en ebanistería debido a su facilidad de pulido.

Maderas Tropicales o Africanas

Como su nombre lo dice, crecen en zonas tropicales y en Africa, muchas veces son maderas de árboles frutales y entre ellas tenemos:

- Caoba.** Es una madera de color rosa salmón, con la cual se puede hacer cualquier trabajo debido a su poca dureza. Se emplea en carpintería, ebanistería y tallado.
- Nogal.** Es una madera blanda de color castaño con la cual se puede trabajar fácilmente la carpintería de taller y la ebanistería.
- Okoume.** Es una madera de color rosa salmón y rosa fuerte. Se desenrolla fácilmente por lo que se utiliza básicamente para contrachapeado.
- Limbo.** Es madera de color gris con vetas negras, se puede trabajar fácilmente. Se emplea en entarimados y tableros.

Maderas Exóticas

Se utilizan para la ebanistería y la talla artística, ya que al pulirse adquieren bellos colores. Entre ellas tenemos: el ébano que es de color negro, muy compacto y duro; el palo santo de color pardo verdoso con franjas negras; el sándalo que puede ser de color amarillo o rojo amarillento; la caoba que es una madera color rojo oscuro; y la teca que es parecida al roble de color pardo claro.

FORMAS COMERCIALES

En el mercado pueden encontrarse infinidad de formas en las que las maderas pueden comercializarse, incluso pueden mandarse cortar de manera determinada a petición del cliente.

Para un uso específico es necesario clasificarla en grados de calidad, el cual se basa en el número, carácter y ubicación de las características reductoras de la resistencia y en factores que afectan la durabilidad y la utilidad.

Los mejores grados están virtualmente libres de defectos, o sea, son de primera calidad y así sucesivamente conforme tienen mas defectos, son de un grado menor. Entre las mas comunes para el ramo de la construcción figuran las siguientes.

Polines.- Son piezas de secciones rectangulares generalmente de 4 X 4 pulgadas por 8 pies de largo y hasta 12 pies. Se utilizan como pies derechos, vigas mdrinas y arrastres en cimbras de columnas traveses y losas.

Barrotes.- Son piezas comúnmente de 2 X 4 pulgadas de sección y de 8 a 12 pies de largo. Se utilizan en las cimbras de columnas, traveses, zapatas y losas, como elementos llamados cuñas, yugos, estacas, bases, separadores y vigas mdrinas.

Duelas.- Su sección varía de 1 X 2, 1½ X 2, 1 X 4 o 1½ X 4 pulgadas con 8 pies de largo y hasta 12 pies. Se utilizan en cimbras como elementos llamados cachetes, contravientos, patas de gallo, rastras, plomos y duelas o cimbra de contacto en traveses, columnas, zapatas y losas.

Triplay. Son piezas en forma de tablero con medidas en pies desde 4 X 8, 4 X 10 y 4 X 12, con espesores desde 3 milímetros hasta 19. Se utilizan como cimbra de contacto en elementos estructurales que habrán de quedar aparentes.

MATERIALES DERIVADOS DE LA MADERA

Entre los derivados de la madera mas comunes tenemos los siguientes.

Maderas Mejoradas

Son maderas que han sido sometidas a un tratamiento especial, capaz de convertir las en mas duras, mas resistentes a productos químicos, etc. Entre estas maderas figuran los tableros contrachapados, la madera laminada y la madera comprimida.

Tableros Contrachapados

Están constituidos por hojas o chapas de madera, siempre en número impar, adheridas íntimamente entre sí, por medio de un pegamento especial y dispuestas de forma que las fibras de cada hoja queden en posición perpendicular o cruzada con respecto a la anterior. Se fabrican con haya, abedul, aliso, álamo, etc.

Madera Laminada

Se compone de chapas superpuestas y pegadas con un compuesto sintético y posteriormente prensadas. Es un material que puede curvarse con radios relativamente pequeños y resiste perfectamente la humedad sin agrietarse ni deformarse, por lo que se emplea en aviación.

Madera Comprimida

Se forma con chapas de haya o abedul, adheridas con resinas sintéticas y fuertemente prensadas en caliente. Su extraordinaria dureza obliga a la utilización de herramienta de acero o diamante para poder trabajarse, por lo mismo se emplea para engranajes, hélices de avión, etc.

Tableros de Fibra

Se fabrican con una pasta fibrosa aglomerada con resinas, obteniéndose tableros sólidos, duraderos y que se trabajan fácilmente. Entre los mas conocidos tenemos uno que se fabrica con fibras de paja y residuos de madera, comercializado con el nombre de "Tablex".

Tableros de Partículas

Se fabrican en seco con virutas, lana y resinas. Entre los mas comunes tenemos el denominado "Novopan", que se compone de tres capas superpuestas y armadas. Las dos capas exteriores son delgadas y de gran compacidad, formadas por virutas de pino, mientras que la capa intermedia está compuesta por pequeños trozos de madera triturada aglomerados con resinas sintéticas. Es un material muy duro de volumen constante, de menor peso que la madera natural, aislante térmico y acústico, indeformable e incombustible. Se utiliza para puertas, tabiques, cielos razos, etc.

Tableros de Revestimiento en Plástico Estratificado

Se fabrica con materiales celulósicos de la madera y de plásticos, tiene aplicación en el revestimiento de muebles, cocinas, baños, etc. Su dureza, variedad de color y dibujo lo hacen un material muy apreciado. Comercialmente se le denomina "Formica", "Railite", etc.

CAPITULO XV

PRUEBAS A LA MADERA

PRUEBA N° 28: FLEXION EN VIGAS DE MADERA

PRUEBA N° 29: AGENTES DESTRUCTIVOS

CAPITULO XV PRUEBAS A LA MADERA

PRUEBA Nº 28: FLEXION EN VIGAS DE MADERA

MARCO TEORICO

La madera es notable por su belleza, adaptabilidad, resistencia, durabilidad y la facilidad con que puede trabajarse.

Posee una alta relación de resistencia a peso, tiene flexibilidad y se comporta muy bien a temperaturas bajas, resiste sobrecargas considerables durante tiempos cortos. Tiene baja conductividad eléctrica y térmica, resiste la acción de productos químicos y es bastante económica.

Para utilizarla como material de construcción, se deben conocer sus propiedades, ya que es un material heterogéneo y dos piezas de la misma especie pueden ser diferentes en cuanto a resistencias.

La investigación, nos ha proporcionado mucha información de las propiedades de la madera, dentro de lo mas importante se encuentra lo que se refiere a la resistencia y por ejemplo tenemos que una madera tendrá un comportamiento diferente dependiendo de si se somete a compresión, tensión o flexión. La experiencia indica que las características típicas de crecimiento, perjudican mas la resistencia a tensión que a compresión.

La determinación de la calidad de la madera nos ayuda a estimar sus propiedades, conocer mejor el tipo al que corresponde y utilizarla óptimamente en el ramo de la construcción. Una manera de clasificar la madera y determinar su calidad, es mediante la observación e inspección visual y el recuento de sus imperfecciones, las cuales pueden ser:

Nudos. Se les llama así a los tejidos que se forman en los puntos donde las ramas se unen al tronco. Estos disminuyen el valor de la madera, pues resulta difícil de trabajar, reduce su resistencia, da origen a grietas y rompe el dibujo del veteado.

Fibra torcida o revirada. Se produce este defecto cuando, al crecer el árbol, sus fibras no lo hacen paralelamente al eje, sino en forma de hélice. Las maderas que presentan este defecto solo se utilizan como pilotes, postes, pies derechos, etc.

Madera curva o de vuelta. Es la que procede de árboles cuyos troncos no han crecido rectos y presentan trozos curvos, si las partes curvas son de poca longitud, cabe utilizar la madera en complemento con otra de buena calidad.

Excentricidad de la médula. Por causa del viento y proximidad a rocas, a veces la médula aparece descentrada, si esta excentricidad es pequeña, las cualidades de la madera no se ven afectadas, pero si es muy grande la madera pierde elasticidad y resistencia.

Irregularidad en los anillos de crecimiento. Debido a cambios bruscos de la vegetación del árbol, la madera puede presentar esta irregularidad, la madera con este defecto suele despreciarse por ser poco elástica y fracturarse con facilidad.

Entrecorteza. Se encuentra este defecto cuando existe un trozo de corteza entre los anillos de crecimiento y se debe a una unión imperfecta de dos ramas. Las maderas con este tipo de imperfección se rechazan por su poca resistencia y por encontrarse propensas a muchas enfermedades.

Acebolladura. Consiste en el desprendimiento circular de los anillos de crecimiento. Tiene su origen en los fríos intensos y en los vientos muy violentos a los cuales se ven expuestos los árboles. Esta madera se desecha por su poca resistencia y utilidad.

Patatas de gallina. Son fendas que parten de la médula y llegan hasta la albura, a veces pueden llegar hasta la superficie. Se originan por una descomposición debida a vejez en la médula, la madera que presenta este defecto es inútil para todo trabajo.

Corazón partido o estrellado. Cuando las grietas dividen el corazón y albura en dos partes se llama corazón partido y cuando hay dos grietas que se cortan en forma de cruz se llama corazón estrellado. Este defecto se atribuye a sequedad, pero como no existe descomposición, la madera que lo presenta se puede utilizar si se divide conforme a las grietas, para todo trabajo en el que no se sujete a flexión.

Corazón hueco. Este defecto es debido a pudrición o destrucción de árboles viejos. La madera con este defecto puede utilizarse cuando se corta en secciones pequeñas.

Doble Albura. Es debida a los fríos intensos y persistentes que detienen la formación de una parte del árbol, quedando muerta una zona de la albura, la cual con el tiempo, se oscurece debido a su descomposición, lo cual inutiliza la madera.

La madera ofrece muchas ventajas a la construcción y existen diversidad de usos, tanto estructurales como de ornamento, el mas común de todos es el de uso para cimbra del concreto, pero cualquiera que sea el empleo de la madera, debe tomarse en cuenta que se debe escoger la madera adecuada y un procedimiento para cada proyecto particular.

OBJETIVO

Encontrar la carga de ruptura a flexión de una viga de madera defectuosa y de otra de mayor calidad, comparando los resultados.

MATERIAL

- Viga de madera de 4" X 4" de sección por 100 centímetros de largo, defectuosa.
- Viga de madera de 4" X 4" de sección por 100 centímetros de largo, de primera calidad.

EQUIPO

- Máquina para prueba de flexión

DESARROLLO

- 1.- Se revisan detalladamente las dos vigas de madera, con la finalidad de identificar los defectos de cada una, de acuerdo a lo explicado en la teoría.
- 2.- Enlistar los defectos de las dos vigas de prueba, con lo cual se comprueba la calidad de cada una.
- 3.- Someter a flexión la viga defectuosa, cuidando que la aplicación de la carga sea tangencial a la veta de la madera y registrando el tiempo y la carga total de ruptura.
- 4.- Se marcan los punto de apoyo y de aplicación de la carga, con la finalidad de que las condiciones sean las mismas para ambas vigas.
- 5.- Se procede a aplicar la carga a la otra viga (la de buena calidad), de la misma manera que en la anterior, registrando el tiempo y la carga total de ruptura, utilizando la misma distancia entre apoyos y el punto de carga que en la viga anterior.

RESULTADOS

Se comparan los resultados de las dos pruebas y se comprueba que la carga final o de ruptura de la viga de calidad es mayor que la de una viga defectuosa. Es decir, la resistencia es mayor en una viga de madera de buena calidad que en otra de mala calidad.

PRUEBA Nº 29: AGENTES DESTRUCTIVOS

MARCO TEORICO

La madera al ser un material de origen orgánico, se encuentra sujeta además de los elementos mecánicos propios de servicio, a las alteraciones o cambios que se producen en su composición, debido a diversos factores. Entre los mas importantes tenemos:

Enmohecimiento de la madera. Cuando las condiciones ambientales de humedad y temperatura son adecuadas para el florecimiento de hongos, éstos comienzan a desarrollarse a expensas de la madera y terminan por destruirla.

Los hongos o mohos son seres heterótrofos carentes de clorofila que necesitan para sus funciones vitales de seres autótrofos que les suministren sustancias y son los responsables de la destrucción de la madera, al convertirse en parásitos de esta. El hongo puede extenderse a partir de lugares húmedos donde empieza una infección, hasta las partes secas, invadiendo todo el material, provocando que se reblandezca y se rompa con facilidad.

Los hongos se combaten aireando las maderas para construcción o las bodegas donde se encuentre este material, para evitar la humedad del ambiente y tratando las maderas con álcalis de ph. superior al 10:3 ya que el hongo se desarrolla en ph. ácido. Cuando el hongo se ha desarrollado, se puede combatir con aire caliente a 100°C, desecando la parte afectada y aplicando ácido clorhídrico o fénico diluidos.

Pudrición de la madera. Se produce cuando la humedad es superior al 30% y las temperaturas son mayores a los 25° ó 30°C. Esta destrucción es producida por la descomposición de la savia, la cual da a la madera diversas coloraciones, por las que se clasifica en la forma siguiente:

Pudrición blanca.- Es producida por hongos del género *polyporus*, convirtiendo la madera en una masa húmeda y clara disgregable.

Pudrición roja.- Es producida por hongos que disuelven la celulosa, destruyendo la madera y reduciéndola a polvo rojo oscuro. Atacan igualmente a madera viva que a la que ha sido cortada, siempre que se someten a humedad y secado alternadamente.

Putridión azul.- Esta descomposición se debe a hongos que comunican a la madera un color azul en la albura de los árboles resinosos, cuando se tarda mucho en descortezarlos. Esta madera puede utilizarse en cualquier caso, ya que no se debilita su resistencia, de preferencia en sitios secos y ventilados.

Putridión negra.- En las maderas resinosas se debe a hongos o bacterias, que forman la putridión en forma de surco en la bifurcación de los troncos.

Destrucción de la madera por plagas. Se puede deber a insectos y moluscos que atacan la madera de los árboles en pie o apados y de preferencia en la albura que es el lugar donde se tiene mas almidón.

Ya sea en madera seca o húmeda, las plagas forman una serie de galerías o coqueras que inutilizan la madera. La madera que mas se presta a los ataques de insectos y hongos es la que se apea en verano, ya que contiene gran cantidad de almidón y albuminoides, que son los alimentos para el desarrollo de dichas plagas.

Entre los insectos que forman plagas para la madera tenemos el barrenillo o polilla que ataca muebles o madera de roble, la hormiga que ataca coníferas y roble, las conocidas como avispas carpinteras que atacan abeto y pino, las termitas que atacan desde la madera hasta todo tipo de material, los lepidópteros que atacan todo tipo de madera y los moluscos que atacan la madera principalmente en diques y embarcaciones barrenando y perforando poco a poco la madera hasta inutilizarla.

Destrucción de la madera por el fuego. La madera resiste durante mas tiempo a elevadas temperaturas que el hierro, ya que aparte de no sufrir grandes dilataciones, el carbón que se forma en la superficie protege el interior de la pieza.

No se ha encontrado todavía alguna substancia que pueda evitar que el fuego consuma la madera, los procedimientos usados se reducen a protegerla con productos químicos o forros que aíslan el contacto de las llamas por la formación de gases envolventes o precipitados salinos que mantienen alejado el oxígeno del aire, haciendo mas lenta su carbonización.

Para proteger la madera el procedimiento mas eficaz, consiste en impregnar los tejidos interiores de la madera mediante vapor de agua a presión y vacío, con substancias refractarias, como silicato sódico, sulfato de hierro, sulfato amónico, ácido bórico, etc. Y cubrir exteriormente con pinturas que contengan un 15% de silicato sódico mezclado con espato pesado y alumbre; o algún otro material aislante como mezcla de creta y óxido de zinc, cemento y cal, yeso y amianto, etc.

Tratándose de los ataques de organismos, ya sea vegetales o animales, los principales puntos para proteger la madera son: no crear un medio favorable para el desarrollo de dichos organismos, el desaviado y la desecación de la madera. Además de esto podemos emplear diversas substancias y procedimientos, como son los que mencionaremos a continuación.

Carbonización. La carbonización superficial de la madera es un buen método para protegerla del ataque de hongos, aunque se requiere el uso de pinturas e impregnaciones para elementos que hayan de estar en contacto directo con la humedad o terreno.

Pinturas. Es la protección menos duradera, ya que puede ser arrastrada por el agua o mecánicamente, pero la de mas uso. Las pinturas y revestimientos se preparan con aceite de linaza, alquitrán de hulla y petróleo, alquitrán de madera, a veces mezclados con resinas, asfaltos, cal apagada y compuestos de flúor. Deben de aplicarse a la madera cuando se encuentre totalmente seca, pues si la humedad queda aprisionada, la madera se pudre.

Impregnación. Consiste en sumergir la madera en soluciones de diferentes productos, los cuales penetran por los capilares de la superficie a presión normal, y en los interiores mediante vacío y a presión. Para esta protección se emplea el cloruro mercúrico, cloruro de cinc, sulfato de cobre, alquitrán de hulla, urea sintética, etc.

En general para la construcción, la madera utilizable debe ser de preferencia recién cortada, con olor fresco, estar seca, de tronco sano, no tener fibras torcidas, nudos, fendas, manchas y sin olor de humedad o pudriciones. Y en todo caso es importante analizar los agentes a los cuales puede estar sujeto el elemento, para aplicar el tratamiento adecuado para su protección.

OBJETIVO

Observar las alteraciones que sufre un elemento de madera al someterlo al ataque de agentes destructivos.

MATERIAL

- Tres piezas de madera de 4" X 4" de 20 centímetros de largo de primera calidad
- Barniz para madera
- Media cubeta de agua

EQUIPO

- Máquina Universal
- Brocha
- Cubeta de lámina de 20 litros de capacidad
- Horno
- Parrilla

DESARROLLO

- 1.- Se secan en el horno las tres piezas de madera, durante una hora a 30°C de temperatura.
- 2.- Se sacan del horno y una de ellas se aparta. Otra se barniza y se deja secar al aire por espacio de 8 horas.
- 3.- Se calienta en la parrilla la cubeta de agua hasta que este a punto de hervir y se retira a un lugar donde pueda permanecer inmóvil.
- 4.- La tercera pieza y la barnizada se sumergen en la cubeta con el agua caliente, cuidando de que las piezas queden completamente cubiertas y se dejan por un lapso de 12 horas.
- 5.- Pasado este tiempo, se sacan las piezas del agua y se ponen a secar en el horno a 50°C durante 12 horas.
- 6.- Se repiten los pasos 4 y 5 por cinco ciclos mas y se observan los efectos de pudrición de la madera, comparando cualitativamente las tres piezas.
- 7.- Se prueba a compresión los tres especímenes, registrando el tiempo y la carga de ruptura de cada uno, para observar la resistencia de cada uno y compararlos.

RESULTADOS

Se observa una pudrición roja en las piezas sometidas a secado y humedad alternadas, pero en la que tiene recubrimiento se presenta en menor grado. Al someterlas a compresión se nota que la que se aparta inicialmente conserva su resistencia sin alteración, al rededor de 150 Kg/cm², la que se protegió pero se somete a pudrición disminuye su resistencia en un 30% y la que no tuvo protección disminuye su resistencia hasta un 50%.

CAPITULO XVI

LADRILLOS Y CERAMICAS

CAPITULO XVI LADRILLOS Y CERAMICAS

Para enfocar el tema de Ladrillos y Cerámicas, es necesario hablar de los materiales aglomerados, ya que estos contemplan de forma global, los antes mencionados. De esta forma, pues, se podrá observar su procedencia y entender mejor sus características.

MATERIALES AGLOMERADOS

Los elementos que se obtienen mezclando diversos productos, con un aglomerante amasado convenientemente, reciben el nombre de piedras artificiales, a las cuales se les da forma mediante moldes y prensas. adquieren el estado pétreo por las reacciones fisicoquímicas del fraguado. Dependiendo de la naturaleza del aglomerante estos materiales se pueden agrupar de la forma que se expresa a continuación:

Tabla XVI.1 Materiales Aglomerados

AGLOMERADOS DE ARCILLA	Adobes Tapial Cerámicas
AGLOMERADOS DE YESO	Placas de Yeso Mármol artificial Modelado Pavimento continuo
AGLOMERADOS DE MAGNESIA	Xiolita (Serrín y cemento) Vaciados Arenisca artificial Pavimentos continuos
AGLOMERADOS DE CING	Peldaños, Baldosas, Placas y Fachadas
AGLOMERADOS DE CAL	Morteros y concretos Piedra artificial Ladrillos de cenizas Ladrillos de escorias Ladrillos flotantes Ladrillos silicocalcáreos
AGLOMERADOS DE CEMENTO	Piedra artificial de cemento Ladrillos y bloques de concreto Mármol artificial de cemento Baldosas Hidráulicas
AGLOMERADOS VEGETALES	De corcho Linóleo Fibras vegetales

Como se observa existen infinidad de materiales aglomerados de diferente procedencia, es por esto que nos ocuparemos en este capítulo únicamente de los ladrillos y bloques de concreto junto con las cerámicas de arcilla recocida, por ser los materiales comúnmente utilizados en la construcción dentro de nuestro medio.

LADRILLOS Y BLOQUES DE CONCRETO

Con el cemento se puede fabricar toda clase de elementos constructivos, generalmente se emplea el cemento portland y agregados, cuyas características varían según la densidad, dureza, resistencia, etc. que se quieran obtener.

Los ladrillos y bloques de concreto se conocen también como prefabricados y dependiendo del fabricante y las características que posean, se les llama tabiques, tabicones, bloques, bloquines, adoquines, bovedillas y ladrillos. En México, los términos generalizados son: block para el elemento que posee huecos y tabicón para aquel que es sólido, empleándose el de ladrillo para la cerámica de barro recocido.

Se pueden utilizar morteros y concretos fluidos para colar los prefabricados, o mezclas secas para comprimirlos a mano o con maquinaria como prensas hidráulicas, o por medio de vibración y con pasta seca con lo cual se obtienen los mas compactos e impermeables. Los moldes empleados son generalmente metálicos, con los cuales se le da forma y dimensiones al elemento, de ahí que se tengan infinidad de apariencias y tamaños.

Para observar las características mas importantes de los bloques tomaremos dos tipos muy comunes: los denominados de 8 pulgadas y de 6 pulgadas, medidas que nos determinan el ancho del muro resultante.

BLOCK DE 6"

(15cm ancho X 20cm peralte X 40 cm largo, Dos Huecos)	
Peso por pieza.....	12.2 Kg
Número de piezas por metro cuadrado.....	12.5 pza
Peso por metro cuadrado colocado.....	165.0 Kg
Resistencia a la compresión.....	40 Kg/cm ²
Resistencia a la compresión por pieza.....	23.4 Ton
Mortero para colocación	0.015 m ³ /pza

BLOCK DE 8"

(20cm ancho X 20cm peralte X 40 cm largo, Dos Huecos)	
Peso por pieza.....	16.2 Kg
Número de piezas por metro cuadrado.....	12.5 pza
Peso por metro cuadrado colocado.....	240.0 Kg
Resistencia a la compresión.....	42 Kg/cm ²
Resistencia a la compresión por pieza.....	33.6 Ton
Mortero para colocación	0.020 m ³ /pza

En la tabla siguiente observamos las medidas y peso de block comercial, que predomina en el mercado de nuestro país.

Tabla XVI.2 Block Comercial

ANCHO DE MURO (cm)	MEDIDAS (cm)			No. DE HUECOS	PESO (Kg)
	ANCHO	PERALTE	LARGO		
30	30	20	40	2	21.0
	30	20	40	1	11.0
25	25	20	40	2	18.0
	25	20	20	1	10.0
20	20	20	40	3	17.0
	20	20	40	3	16.0
	20	20	30	2	11.0
	20	20	20	1	8.0
	20	20	15	1	6.0
	20	20	10	1	5.0
	20	20	10	1	5.0
15	15	20	40	3	13.0
	15	20	40	2	12.0
	15	20	30	1	8.5
	15	20	20	1	6.5
	15	20	8	-	3.3
10	10	20	40	3	10.5
	10	20	20	2	5.0
	10	20	10	1	3.0

Como se ha mencionado el tabique o tabicón es similar a el block en su constitución, pero en su forma varía, debido a que generalmente no tiene huecos, sus dimensiones son menores y no existe tanta variedad de tamaños, comúnmente se emplea en casas habitación. Sus características son las siguientes:

TABICON LIVIANO Dimensiones 10 X 12 X 24 cm Peso 4.2 Kg/Pza

TABICON PESADO Dimensiones 10 X 12 X 24 cm Peso 7.0 Kg/Pza

CERAMICAS PROCEDENTES DE ARCILLAS

Dentro de las piedras artificiales que se emplean en la industria de la construcción, los productos cerámicos ocupan un lugar importante, sobre todo por los volúmenes de material que se producen.

Para obtenerlos es necesaria la cocción de arcillas naturales como son las micáceas y caoliníticas, a las cuales se añaden frecuentemente otras sustancias: desengrasantes (arena cuarzosa, cuarcita, bauxita, alumina, etc.) y fundentes (serrín, alquitrán, grafito, etc.) además de colorantes.

Cualquier producto cerámico requiere de un proceso de fabricación, en el cual se tienen varias etapas: extracción de la arcilla, amasado, moldeo, secado, cocción y en el caso de productos especiales vidriado y esmaltado.

Entre los materiales cerámicos se pueden encontrar infinidad de formas, tamaños y usos, dependiendo del fabricante será su denominación. Pero los mas comunes y generalmente empleados son los ladrillos, tabiques, bloques, fachaletas, celosías, pisos y techos.

Ladrillos, tabiques y bloques

Por tradición en nuestro país se le llamaba ladrillo a las piezas de barro recocido macizas de 2 X 14 X 28 cm. y tabiques a los de 7 X 14 X 28 cm. Pero en la actualidad se encuentran ladrillos de otras muchas dimensiones y hasta con huecos, al igual que tabiques y bloques de cerámica de arcilla recocida. Por sus características podemos clasificarlos como sigue.

Tabiques y ladrillos de barro común. Son los que se obtienen por medio de un proceso rudimentario de fabricación, en los cuales no se tiene una cocción uniforme y da lugar a diferencia en las piezas, generalmente son macizos, presentan de un 15 a un 20% de absorción y resistencia a la compresión entre 20 y 100 Kg/cm²; entre ellos tenemos tres tipos:

- A) Tiernos.- Son el resultado de mezclas con exceso de arena o con falta de cocción, suelen ser de color anaranjado.
- B) Recochos.- Son generalmente de color amoratado y algo deformes, se obtienen cuando la cocción es excesiva.
- C) Recocidos.- Su cocción, su textura y color rojo son uniformes, no presentan deformidades generalizadas.

Tabiques y ladrillos de barro comprimido. Se fabrican mecánicamente mediante prensas; Son de colores firmes y de gran resistencia mecánica. Ayudan a abatir los costos de conservación en las edificaciones con uso aparente y los muros en los cuales se utilizan presentan características aislantes, térmicas y acústicas. Entre este grupo se tienen tres tipos:

- A) Hueco vertical.- Presenta una resistencia a la compresión que llega a ser de hasta 150 Kg/cm². Sus perforaciones permiten alojar en su interior castillos armados, ductos de instalaciones eléctricas, hidráulicas, de gas, etc.
- B) Hueco horizontal.- Es aquel cuya resistencia puede ser hasta de 70 Kg/cm². Los huecos horizontales pueden ser en el sentido longitudinal o en el transversal. Su ventaja es la de tener un volumen igual al del macizo, pero proporciona mas ligereza al muro.
- C) Perforado.- Se denomina así a la pieza que contiene perforaciones o taladros en sentido vertical, en un volumen superior al 10%, tiene las mismas ventajas que los huecos, pero sus resistencias son mayores y el numero de perforaciones es también mucho mayor.
- D) Macizo.- Este tabique llega a alcanzar una resistencia de 170 Kg/cm² a la compresión. Es de forma completamente regular, duro y homogéneo. Se puede cortar con facilidad y al hacerlo se observa una superficie ligeramente porosa y sin vetas.

Ladrillos y Tabiques Refractarios. Se producen con una cocción a 850°C de arcilla pura y refractaria, preparada con arcilla desengrasada, con cemento de alfarero o arena muy fina. Su principal finalidad es la de resistir la acción del fuego, se utilizan en chimeneas, calderas, hornos, etc. Aunque soportan bien las altas temperaturas, tienen un coeficiente muy alto de desgaste por lo que no son recomendables en pisos o escaleras.

En las tablas XVI.3 y XVI.4 se muestran algunas especificaciones obtenidas de los principales fabricantes de estos materiales, como se observa se tiene una gran diversidad, dentro de la cual se puede escoger el idóneo para una obra determinada.

Tabla XVI.3 Especificaciones de Ladrillos de cerámica

CARACTERISTICAS	DENOMINACION			
	TOCHO SOLIDO	TOCHO RETICULAR	CONTRA-TISTA	MEXICANO
Tamaño nominal (cm)	6X10X20	6X10X20	6X12X24	7X14X28
Peso unitario (Kg)	1.75	1.35	1.90	2.40
Piezas por m ²	71	71	56	40
Peso por m ² (Kg)	123	90	106	101
Junta recomendable	10 mm	10 mm	13 mm	15 mm
R Compresión kg/cm ²	210	150	150	150
Grado de calidad	A	B	B	B
Mortero/millar (m ³)	0.36	0.26	0.42	0.45
Tipo de mortero	1:½:4½	1:1/4:3	1:1/4:3	1:1/4:3

Tabla XVI.4 Especificaciones de Tabique y Block de Cerámica

DENOMI- NACION	DIMENSIO- NES (cm)	PESO		PIEZAS POR M2	R.COMPRISION (Kg/cm2)
		(Kg/pza)	(Kg/m2)		
Tabique hueco vertical	6X10X20	1.2	68	150	81.6
Block hueco vertical	10X10X20	2.0	43	140	86.0
Tabique hueco vertical	6X12X24	1.6	60	150	96.0
Block hueco vertical	12X12X24	3.2	30	150	96.0
Block hueco horizon- tal	10X12X24	2.8	30	55	84.0
Fachale- ta	1.5X6X20	0.4	68	80	27.2
Fachale- ta	1.5X6X24	0.5	60	80	30.0
Fachale- ta	1.8X10X20	0.6	43	80	25.8
Fachale- ta	1.8X12X24	1.0	30	80	30.0

Tejas de Cerámica

Uno de los materiales cerámicos que mas se ha utilizado en nuestro país, para cubiertas de casas o edificios son las tejas. El ambiente colonial que proyecta, así como su facilidad de colocación, son sus principales cualidades.

Este tipo especial de producto, es de alta resistencia, impermeable y ligero. Reciben su denominación de la gran variedad de formas que se producen, por ejemplo tenemos las arábigas, misión, flamencas, planas, etc. Las intersecciones que quedan en la unión de dos tejas, se deben cubrir para evitar infiltraciones, para este fin se usan las piezas llamadas cumbreiras.

A continuación se muestra una tabla con las especificaciones de fábrica de algunas tejas comerciales.

Tabla XVI.5 Especificaciones de Tejas

DENOMINACION	DIMENSIONES (cm)	PESO		PIEZAS POR M2	R.COMPRESION (Kg/cm2)
		(Kg/pza)	(Kg/m2)		
Teja Tajin	1.5X15X30	1.2	45.6	36	120
Teja Tajin	1.5X15X38	1.6	46.4	29	120
Teja Palenque	1.5X24X38	2.8	42.0	15	120
Teja Mission	1.5X20X50	2.4	36.0	15	120
Teja Tulum	2X10X20	0.6	80.0	60	80
Teja Tulum	2X12X24	1.0	150.0	40	80

Celosías

Son piezas decorativas elaboradas con arcillas refractarias y esquitosa, que se obtienen por moldeo. Se utilizan en muros que no cumplen una función estructural, sino que embellecen el aspecto de fachadas, patios, muros interiores, etc.

Como ventajas tiene la de permitir la circulación de aire, ventilación y entrada de luz. Existe comercialmente una amplia variedad de diseños de celosías, a continuación se encuentran las especificaciones de algunas de las mas comunes.

Tabla XVI.6 Especificaciones de Celosías

DENOMINACION	DIMENSIONES (cm)	PESO		PIEZAS POR M2	R. COMPRESION (Kg/cm2)
		(Kg/pza)	(Kg/m2)		
Taxco	8X10X30	1.2	37.2	31	50
Durango	8X12X24	1.5	46.2	33	60
Mérida	8X10X20	1.1	50.6	46	58
Acapulco	8X12X24	1.6	52.8	33	58
Morelia	8X14X19.5	1.2	56.4	47	60

Materiales de Recubrimiento

La necesidad de preservar y embellecer pisos y muros, origina que los fabricantes elaboren una cantidad asombrosa de productos cerámicos, con la finalidad de cubrir dicha necesidad. No se les conoce por nombre genéricos, sino por la denominación que cada productor les da, de esta manera tenemos por ejemplo, vitricotta, mayolica, baldosa, fachaleta, etc.

A continuación se muestran algunas especificaciones del fabricante de recubrimiento para pisos.

Tabla XVI.7 Especificaciones de Acabados para pisos

DENOMINACION	DIMENSIONES (cm)	PESO		PIEZAS POR M2	R.COMPRESION (Kg/cm2)
		(Kg/pza)	(Kg/m2)		
Baldosa	2X12X24	1.0	34.0	34	80
Baldosa	2X12X12	0.5	34.0	68	80
Baldosa	2X10X20	0.6	30.0	50	80
Baldosa	2X10X10	0.3	30.0	100	80
Baldosa	2X15X30	1.8	37.8	21	80
Baldosa	2X15X15	0.9	37.8	42	80
Baldosa	1.5X6X20	0.4	27.2	68	80
Baldosa	5X6X24	0.5	30.0	60	80
B. Curva	6X10X24	1.1	4.4	4/NL	80

CAPITULO XVII

PRUEBAS A TABIQUES Y BLOQUES

PRUEBA Nº 30: ABSORCION EN TABIQUES

PRUEBA Nº 31: COMPRESION EN BLOQUES

CAPITULO XVII PRUEBAS A TABIQUES Y BLOQUES

PRUEBA Nº 30: ABSORCION EN TABIQUES

MARCO TEORICO

Los tabiques son materiales de construcción de forma prismática rectangular, sólidos o con huecos, que se fabrican con cemento y agregados apropiados, tales como arena, grava, piedra triturada, piedra pómez, tezontle, arcillas expandidas, etc.

Generalmente se emplean como elementos estructurales, arquitectónicos o de relleno. Los tipos de tabiques para diversos usos, se detallan a continuación:

A) Tabiques huecos de baja absorción.

Se utilizan en interiores y exteriores sin necesidad de recubrimiento en ningún caso. Y pueden también emplearse en muros de relleno o carga.

B) Tabiques huecos de absorción media.

Se utilizan para muros interiores y exteriores siempre que lleven un recubrimiento. Y se emplean también para muros de relleno o de carga.

C) Tabiques sólidos de baja absorción.

Se utilizan en muros de carga o de relleno, con un recubrimiento cuando sea en exteriores o sin necesidad de él cuando sea en interiores.

D) Tabiques sólidos de absorción media.

Se utilizan igualmente en muros de relleno o de carga, ya sea en interiores o exteriores, y en cualquier caso siempre deberán tener un recubrimiento protector.

E) Tabiques sólidos de alta absorción.

Definitivamente no son recomendables para exteriores, se utilizan en muros de relleno o de carga en interiores y con recubrimiento.

La determinación de las características físicas de este tipo de material, se realiza mediante pruebas de laboratorio, en las cuales tanto el constructor como el fabricante, deben apoyarse para cubrir las necesidades de la obra. Los índices recomendables de resistencia a compresión y absorción, para tabiques de concreto dentro de los tipos mencionados y con dimensiones en cm. entre: ancho 6 a 20, peralte hasta 15 y largo hasta 30; son los que se observan en la tabla XVII.1 mostrada a continuación.

Tabla XVII.1 Requisitos Físicos para Tabiques de Concreto

TIPO	RESISTENCIA MINIMA DE RUPTURA A COMPRESION SOBRE EL AREA BRUTA (Kg/cm ²)		ABSORCION MAXIMA EN 24 Hr DENTRO DE AGUA FRIA (Kg/m ³)
	PROMEDIO DE 5 PIEZAS	PIEZA INDIVIDUAL	
A	100	80	240
B	70	56	290
C	175	140	140
D	100	80	290
E	50	40	----

OBJETIVO

Obtener en el laboratorio el grado de absorción de un tabique de concreto para conocer la porosidad y así clasificarlo.

MATERIAL

- Cinco tabiques de ancho=6 a 20, peralte<30, largo<30 cm.
- Agua limpia en cantidad suficiente (destilada o de lluvia)

EQUIPO

- Balanza con capacidad de 2 Kg. y aproximación de 0.5 gr.
- Horno
- Termómetro
- Paño húmedo
- Cinco cubetas (una para cada espécimen)

DESARROLLO

- 1.- Se secan los especímenes en el horno a una temperatura de 110 a 115°C, hasta obtener peso constante.
- 2.- Se pesan los especímenes cuando estén fríos y se registran los datos.
- 3.- Se sumergen los especímenes secos, cada uno en una cubeta, con agua limpia, que se encuentre a una temperatura entre 15.5 y 30°C, durante un lapso de 24 horas.
- 4.- Se saca del agua el espécimen y se seca superficialmente, usando el paño húmedo. Se pesa antes de que transcurran cinco minutos de haberlo sacado del agua y se registra su peso.
- 5.- Se calcula la absorción de cada espécimen con la fórmula siguiente:

$$\text{PORCENTAJE DE ABSORCION} = \frac{100 (P_2 - P_1)}{P_1}$$

Donde:

P_1 = Peso seco del espécimen [Kg]

P_2 = Peso saturado del espécimen después de una inmersión de 24 horas en agua. [Kg]

- 6.- El promedio de absorción de todos los especímenes, será la absorción del lote de material.

PRUEBA N^o 31: COMPRESION EN BLOQUES

MARCO TEORICO

Los bloques o blocks son de forma prismática rectangular, estos materiales de construcción pueden ser sólidos o con huecos, se fabrican con mezclas de cemento y agregados apropiados, los cuales pueden ser arena, grava, piedra pómez, tezontle, arcillas expandidas, piedra triturada, etc.

Por lo general se emplean como elementos estructurales, arquitectónicos o de relleno. Los tipos de bloques mas comunes y para diversos usos, son los siguientes:

1) Bloques huecos de baja absorción.

Se utilizan sin necesidad de recubrimiento en interiores y exteriores. Y pueden también emplearse en caso de muros de relleno o carga. Entre estos se cuenta con dos calidades.

2) Bloques huecos de absorción media.

Se utilizan para muros siempre que lleven un recubrimiento, tanto en interiores como en exteriores. Y se emplean también para muros de relleno o de carga.

3) Bloques huecos de alta absorción.

Se utilizan únicamente en muros interiores o de relleno y siempre deben llevar un recubrimiento protector.

4) Bloques sólidos de baja absorción.

Se utilizan en muros de carga o de relleno, con necesidad de un recubrimiento, ya sea que se encuentren en exteriores o en interiores.

5) Bloques sólidos de absorción media.

Se utilizan igualmente en muros de relleno o de carga, ya sea en interiores o exteriores, y en cualquier caso siempre deberán tener un recubrimiento protector.

6) Bloques sólidos de alta absorción.

Definitivamente no son recomendables para exteriores, se utilizan en muros de relleno o de carga en interiores y con recubrimiento.

Para determinar las características físicas de los bloques de concreto, se practican pruebas de laboratorio, con las que tanto fabricante como constructor, se aseguran de que dicho material cubre los requerimientos de la obra. Los tipos mencionados con medidas en cm. entre: ancho 6 a 30, peralte 10 a 30 y largo mayor a 30; deben cumplir con los índices de resistencia a compresión y absorción que se marcan en la tabla XVII.2 a continuación.

Tabla XVII.2 Requisitos Físicos para Bloques de Concreto

TIPO	RESISTENCIA MINIMA DE RUPTURA A COMPRESION SOBRE EL AREA BRUTA (Kg/cm ²)		ABSORCION MAXIMA EN 24 Hr DENTRO DE AGUA FRIA (Kg/m ³)
	PROMEDIO DE 5 PIEZAS	PIEZA INDIVIDUAL	
1(A)	70	56	220
1(B)	60	48	240
2	40	32	290
3	23	18	----
4	100	80	240
5	70	56	290
6	40	32	----

OBJETIVO

Obtener en el laboratorio la carga última que soporta un bloque, mediante una prueba de resistencia a compresión. Con la finalidad de clasificarlo y verificar si cumple con especificaciones.

MATERIAL

- Cinco bloques con medidas entre: ancho 6 a 30, peralte 10 a 30 y largo mayor a 30 cm. Y con sus extremos lo mas planos y paralelos que sea posible.
- Mortero de azufre, yeso o cemento para cabeceo
- Pasta de cemento portland (en caso necesario)

EQUIPO

- Máquina Universal para prueba de compresión
- Molde para cabeceo del bloque

DESARROLLO

- 1.- Se revisan los especímenes con la finalidad de encontrar depresiones o irregularidades, ya que los tabiques deben ser con sus caras y extremos aproximadamente planos y paralelos. Si son demasiado irregulares deben sustituirse por otros.
- 2.- Se rellenan las depresiones que se encuentren en los especímenes, con la pasta de cemento portland y se dejan fraguar por lo menos durante 24 horas.
- 3.- Pasado este lapso se recubren los especímenes en sus dos caras opuestas mayores con el mortero para cabeceo. Una vez cabeceados los bloques, deberán transcurrir por lo menos 16 horas antes de ser probados.
- 4.- Se prueban los especímenes apoyándolos en sus caras mayores y la carga se debe aplicar en la dirección del espesor del tabique y a una velocidad uniforme de 1.3 Kg/min. La carga máxima se registra para proceder a calcular la resistencia.
- 5.- Para calcular la resistencia a compresión de cada espécimen se emplea la fórmula:

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

Donde: R = Resistencia a compresión en Kg/cm²
P = Carga Máxima indicada por la máquina en Kg
A = Promedio de las áreas de soporte superior e inferior del espécimen en cm²

- 6.- Por último se obtiene la resistencia a la compresión del lote de bloques con el promedio de resistencias individuales y se compara con los datos de la teoría.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Consideramos que el presente trabajo, representa una herramienta que puede ser de utilidad al alumno del área de Construcción, ya que en él se expresan conjuntados, dos elementos que pocas veces se encuentran en un solo archivo bibliográfico y que obligan a la utilización de varios libros para conocer teórica y prácticamente los aspectos generales de los materiales mas comunes utilizados en el mundo de la construcción.

Con frecuencia, al estar en el laboratorio, realizando una práctica sobre algún material o grupo de ellos, necesitamos de fórmulas, datos característicos, tablas, gráficas, etc. que no se tienen a la mano porque son ajenos a un manual de prácticas y sucede que se deben consultar en otros libros. Con este trabajo de tesis, pretendemos que el alumno tenga una guía para realizar sus pruebas, así como la teoría necesaria para complementarlas de una manera mas ágil.

No pretende ser un estudio avanzado sobre un tema específico, la finalidad es tener aspectos generales importantes para apoyar el conocimiento de ciertos materiales, que todos los que estamos en el medio, vamos a emplear en el desarrollo de nuestra práctica profesional; y que además se encuentre en un solo recurso bibliográfico, acorde a lo que se pretende en el presente académico de la ENEP Aragón, por supuesto en la carrera de Ingeniería Civil.

La mayoría de las prácticas que se encuentran en este trabajo, pueden llevarse a cabo perfectamente en las instalaciones de nuestra escuela, aunque existen otras que son también importantes para determinar o conocer algún tipo de material, pero desafortunadamente no se cuenta con el equipo suficiente en los laboratorios de construcción, por lo cual no se incluyeron en esta tesis.

Antes de utilizar esta tesis como consulta, es necesario comprender que todos los materiales tienen un comportamiento relativamente conocido y estudiado; cuyas variaciones van a depender de su origen, naturaleza, materia prima, condiciones naturales, fabricación, etc. Por lo que el resultado de una prueba puede estar afectado por una gran cantidad de variables, que en la medida en que sean controladas o registradas, aportan datos que nos conducirán a tomar decisiones acertadas.

De aquí, se desprende la necesidad de cuidar varios aspectos que en general se presentan en todas las pruebas de laboratorio y que a continuación se describen.

La selección del material de prueba, muestra o espécimen, es una actividad preponderante para que los resultados obtenidos sean representativos del conjunto total y se puedan generalizar al resto del material de donde se tomo la muestra; ya que aún cuando se realice perfectamente la prueba de laboratorio, si se hace una selección equivocada, los resultados serán erróneos. Es decir, que el material utilizado para realizar la prueba, debe reunir las mismas condiciones del material en estudio y en cualquier caso seleccionarse aleatoriamente.

De esta forma para una muestra de grava o arena, se debe utilizar el método del "cuarteo", el cual consiste en tomar una parte del material, grande comparada con la muestra, revolverla, vaciarla en una mesa o superficie horizontal, extenderla ligeramente formando un círculo, separar una cuarta parte y repetir la operación, hasta obtener la cantidad suficiente para la práctica. Este método, asegura una muestra homogénea y representativa, de no utilizarse, se corre el riesgo de tener una muestra sin todos los tamaños de las partículas.

Es recomendable observar las variaciones que se puedan tener, en color, textura, granulometría, etc. ya que un mismo banco de material puede tener variaciones en sus vetas o estar contaminado en algunos sectores, por lo que al detectar este tipo de fenómenos, deberán repetirse las pruebas, a fin de valorar la magnitud de los cambios.

En el caso de que el material se conforme por piezas, como tabiques, maderas, aceros, cilindros de concreto, etc. deben tomarse suficientes muestras para lograr representatividad del total, ya que mientras mas reducido sea el número de especímenes, existe mayor probabilidad de error. Asimismo, deberán tomarse las piezas aleatoriamente y de distintas partes del lote.

Otro aspecto que hay que tomar muy en cuenta, son las condiciones ambientales, bajo las cuales se va a realizar una prueba de laboratorio. La temperatura, la humedad, el viento, el polvo, la materia orgánica contenida, etc. pueden influir en los resultados de una manera determinante.

Por ejemplo, cuando se trabaja con una mezcla de concreto, en donde dosificamos cada uno de sus componentes, la temperatura ambiente, si es alta puede evaporar el agua, el viento puede agrietar la mezcla, la humedad puede influir en su tiempo de fraguado, etc. Las condiciones ambientales, por lo tanto, se deben registrar y tratar de controlar para que no afecten la prueba.

El equipo con el cual se trabaja en la realización de una prueba de laboratorio, es otro aspecto que debe cuidarse para que no incida en los resultados. Este equipo, ya sea de medición o de uso, debe encontrarse en condiciones óptimas, calibrado, limpio, legible, etc.; a fin de que al utilizarlo, los datos obtenidos sean fidedignos sin alteraciones debidas a su mal estado.

Por ejemplo una balanza o báscula, debe contar con una revisión periódica para que se obtengan pesos exactos, el mismo usuario puede verificarla antes de efectuar la prueba. Del mismo modo, un tamiz debe revisarse para que no tenga huecos o roturas, que puedan afectar una granulometría.

La calibración de la máquina universal de pruebas, es básica para las prácticas de compresión, tensión o cortante. La graduación de un matraz, probeta, termómetro o vernier es fundamental para obtener lecturas adecuadas. La limpieza de los recipientes, espátulas, cucharones, etc. es esencial para no contaminar el material que será probado.

En fin, todo el material con el que se cuente para la realización de una prueba, deberá ser revisado para asegurarse de que se encuentra en condiciones normales de trabajo y cuando no se tenga la certeza de la funcionalidad del equipo, será necesario consultar al académico de laboratorio, para que con su experiencia se tomen las medidas correctivas.

El procedimiento para desarrollar una práctica debe seguirse paso a paso, según se especifique y tomando en cuenta las recomendaciones, sin saltarse ninguno de ellos o dejarlo a medias, ya que esto es otro factor que influye en los resultados.

Cuando se tengan dudas en el procedimiento, en la utilización del equipo o en la determinación de continuar con el punto siguiente, es necesario apoyarse en el profesor de la materia o académico de laboratorio, para que se despejen dichas dudas y se logre la obtención de resultados satisfactorios.

Por ejemplo, si se necesita determinar la absorción de una grava, es elemental el conocer un estado saturado y superficialmente seco, así como un estado totalmente seco. Con la experiencia, esto es relativamente fácil, pero cuando se hace por primera vez, puede causar confusión y llevarnos a cometer errores.

Por último otro factor que se recomienda cuidar son los errores de apreciación. En este aspecto existen diversas formas que nos conducen al error.

Al medir visual o manualmente, se debe tener el cuidado de apreciar el dato correcto, ya que al observar de manera oblicua y no recta, o de otras maneras, se pueden tener diferentes lecturas.

El registro de datos es también motivo de error, deben hacerse en forma ordenada y progresiva, para evitar confusiones a la hora de interpretarlos. El vaciado de datos en tablas, en gráficas, etc. debe ser cuidadoso y de acuerdo a los formatos y escalas particulares de cada práctica, evitando omisiones y defasamientos que contribuyan a resultados incorrectos.

Asimismo, la aplicación apropiada de fórmulas y la utilización de unidades de medición congruentes, evitan los errores de cálculo, logrando que la prueba sea todo un éxito.

Además de todas estas recomendaciones generales, que intentan evitar resultados erróneos en las pruebas, existen otras que se particularizan, según sea la práctica a desarrollar, pero que se pueden considerar, si antes de la realización nos interesamos por consultar la teoría que nos orientará sobre el posible resultado que se busca, así como el conocimiento de los recursos con los que cuenta el Ingeniero civil para el desarrollo de su profesión.

INDICE DE TABLAS

	BIG.
CAPITULO II LAS ROCAS	
Tabla II.1	Minerales que forman las Rocas..... 8
Tabla II.2	Resistencia a la Compresión.....12
Tabla II.3	Resistencia a la Flexión.....12
Tabla II.4	Resistencia al Esfuerzo Cortante.....13
Tabla II.5	Tenacidad.....14
Tabla II.6	Resistencia al Desgaste.....14
Tabla II.7	Absorción.....16
Tabla II.8	Porosidad.....17
CAPITULO III PRUEBAS GENERALES A LAS ROCAS	
Tabla III.1	Capacidad del recipiente para Prueba de Peso volumétrico.....20
CAPITULO IV LOS AGREGADOS	
Tabla IV. 1	Clasificación de Agregados.....25
Tabla IV. 2	Densidades Aparentes de grupos de Rocas....28
Tabla IV. 3	Porcentaje de Vacíos para Agregados Gruesos.30
Tabla IV. 4	Porosidad de algunas Rocas.....31
Tabla IV. 5	Absorción y Contenido de Humedad de Agregados.....33
Tabla IV. 6	Tamices Usuales.....34
Tabla IV. 7	Clasificación de la Forma de los Agregados..36
Tabla IV. 8	Textura Superficial de los Agregados.....37
Tabla IV. 9	Efecto de las Propiedades del Agregado.....37
Tabla IV.10	Resistencia a la Compresión de Agregados para Concreto.....38
CAPITULO V PRUEBAS A LOS AGREGADOS	
Tabla V. 1	Peso de muestras para Prueba de Humedad....43
Tabla V. 2	Cribas para Granulometría de Grava.....45
Tabla V. 3	Análisis del Módulo de Finura de una Grava..46
Tabla V. 4	Peso Mínimo de la muestra según su Tamaño Predominante.....46
Tabla V. 5	Límites de Granulometría de Agregados.....47
Tabla V. 6	Cribas para Granulometría de Arena.....49

Tabla V. 7	Análisis del Módulo de Pinura de una Arena..50
Tabla V. 8	Límites de Granulometría para Arena Natural.60
Tabla V. 9	Límites de Granulometría para Arena Cribada o Lavada.....51
Tabla V.10	Límites de Granulometría de Agregados.....51

CAPITULO VI LOS CEMENTANTES

Tabla VI.1	Puzolanas Nacionales.....61
Tabla VI.2	Arcillas Cocidas del D.F.....62
Tabla VI.3	Clasificación de Cementos.....63
Tabla VI.4	Límites de Composición para Cemento Portland.65

CAPITULO VII PRUEBAS A LOS CEMENTANTES

Tabla VII.1	Resistencias Mecánicas del Yeso.....74
-------------	--

CAPITULO VIII EL CONCRETO

Tabla VIII.1	Composición Proporcional del concreto en volumen.....83
Tabla VIII.2	Relaciones A/C Máximas Permisibles para Concreto.....84
Tabla VIII.3	Componentes de 1 m ³ de concreto con T.M.A. de 19 mm.....85
Tabla VIII.4	Componentes de 1 m ³ de concreto con T.M.A. de 38 mm.....86
Tabla VIII.5	Resistencia a Compresión Estimada del Concreto para Diversas relaciones A/C.....87
Tabla VIII.6	Tamaño Máximo recomendado de Agregados.....88
Tabla VIII.7	Mezclas Típicas de Concreto.....88
Tabla VIII.8	Curvas de Abrams, Graf y Bolomey.....91

CAPITULO IX PRUEBAS AL CONCRETO FRESCO

Tabla IX.1	Revenimiento y Trabajabilidad de Concretos.111
Tabla IX.2	Calor de Hidratación.....121
Tabla IX.3	Curvas de Tiempo - Temperatura.....121

CAPITULO X

PRUEBAS AL CONCRETO ENDURECIDO

Tabla X.1	Tamaño de Espécimen para Prueba de Compresión.....	128
Tabla X.2	Efecto del Diámetro del Molde y T.M.A. en la Resistencia a Compresión de un Concreto..	128
Tabla X.3	Efecto de la Relación h/D en la Resistencia a Compresión.....	129
Tabla X.4	Relación entre Edad de un Concreto y su Resistencia a Compresión.....	130
Tabla X.5	Curado de un Concreto y su Resistencia.....	141
Tabla X.6	Curvas de King.....	142
Tabla X.7	Resistencia de Corazones como porcentaje de la Resistencia de un Cilindro Estándar.....	146

CAPITULO XI

PRUEBAS A CONCRETOS ESPECIALES

Tabla XI.1	Resistencia en función del Contenido de Cemento.....	160
Tabla XI.2	Resistencia con Diversos Cementos.....	160
Tabla XI.3	Desarrollo de Resistencia en función de A/C.....	161
Tabla XI.4	Relación de Resistencia y Temperatura de Curado.....	161
Tabla XI.5	Escurrecimiento Plástico en diferentes Relaciones A/C.....	162
Tabla XI.6	Escurrecimiento Plástico en diversas Cargas Aplicadas.....	162

CAPITULO XII

EL ACERO

Tabla XII.1	Clasificación del Acero por su Obtención...	166
Tabla XII.2	Clasificación de Aceros Norma ASTM.....	167
Tabla XII.3	Gráficas de Esfuerzo-Deformación para Aceros.....	167
Tabla XII.4	Mallas Electrosoldadas.....	171
Tabla XII.5	Alambrón para Refuerzo de Concreto.....	172
Tabla XII.6	Varilla Corrugada Comercial.....	172
Tabla XII.7	Angulos de Lados Iguales.....	173
Tabla XII.8	Soleras.....	173
Tabla XII.9	Pesos de Placa de Acero Nivelada.....	174
Tabla XII.10	Perfil Estructural Rectangular.....	174
Tabla XII.11	Vigas Tipo "I" de Perfil Estándar.....	175
Tabla XII.12	Canales de Perfil Estándar.....	175

CAPITULO XIII PRUEBAS AL ACERO ESTRUCTURAL

Tabla XIII.1	Diagrama Esfuerzo-Deformación del Acero....	178
Tabla XIII.2	Coefficientes de Dilatación.....	186

CAPITULO XIV LA MADERA

Tabla XIV.1	Densidades Aparentes de Diversas Maderas...	193
Tabla XIV.2	Clasificación de Maderas por su Dureza....	194
Tabla XIV.3	Módulos de Elasticidad de Diversas Maderas.	196
Tabla XIV.4	Resistencia Promedio para Maderas (1).....	197
Tabla XIV.5	Resistencia Promedio para Maderas (2).....	198

CAPITULO XV PRUEBAS A LAS MADERAS

CAPITULO XVI LADRILLOS Y CERAMICAS

Tabla XVI.1	Materiales Aglomerados.....	213
Tabla XVI.2	Block Comercial.....	215
Tabla XVI.3	Especificaciones de Ladrillos de Cerámica..	218
Tabla XVI.4	Especificaciones de Tabiques y Blocks de Cerámica.....	219
Tabla XVI.5	Especificaciones de Tejas.....	220
Tabla XVI.6	Especificaciones de Celosías.....	221
Tabla XVI.7	Especificaciones de Acabados para Pisos....	222

CAPITULO XVII PRUEBAS A TABIQUES Y BLOQUES

Tabla XVII.1	Requisitos Físicos para Tabiques de Concreto.....	225
Tabla XVII.2	Requisitos Físicos para Bloques de Concreto.....	228

BIBLIOGRAFIA

- I.- » GEOLOGIA PARA INGENIEROS «
Joseph M. Trefethen
Editorial CBCSA
- II.- » INTRODUCCION A LAS CIENCIAS DE LA TIERRA «
I. G. Gass
Editorial Reverté
- III.- » TECNICAS DE LABORATORIO PARA PRUEBAS DE
MATERIALES «
Carl A. Keyser
Editorial Limusa
- IV.- » MATERIALES DE CONSTRUCCION «
Felix Orus Asso
Editorial Dossat
- V.- » MANUAL DE INGENIERIA CIVIL «
TOMO I, II Y III
Frederick S. Merrit
Editorial Mc. Graw Hill
- VI.- » MATERIALES DE CONSTRUCCION «
Gerardo Mayor González
Editorial Mc. Graw Hill
- VII.- » TECNOLOGIA DEL CONCRETO «
TOMO I, II Y III
A. M. Neville
IMCYC, Editorial Limusa

VIII.- » CONCRETO «
Marco Aurelio Torres H.
Editorial Patria

IX.- » TRATADO DE CONSTRUCCION «
Antonio Miguel Saad
Editorial Continental

X.- » PRINCIPALES MATERIALES FABRICADOS Y
SU EMPLEO EN LA CONSTRUCCION «
Facultada de Ingenieria UNAM

XI.- » MATERIALES Y ELEMENTOS DE CONSTRUCCION «
Enciclopedia CEAC del Delineante