

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS



“Evaluación del desempeño de Concreto Hidráulico de alta resistencia, elaborado con Cementos CPC-40 de diferentes marcas comerciales”.

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

TESISTA:

P.I.C. JUAN JESÚS MACIEL MENDOZA

DIRIGIDO POR:

M.A. WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA

COASESOR

DR. ANDRÉS A. TORRES ACOSTA

DICIEMBRE 2011



UNIVERSIDAD MICHUACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



DEDICADA A:

“Evaluación del desempeño de Concreto Hidráulico de alta resistencia, elaborado con Cementos CPC 40 de diferentes marcas comerciales”.

JUAN JESUS MACIEL MENDOZA



ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 2. ANTECEDENTES.....	2
CAPITULO 3. JUSTIFICACIÓN.....	7
CAPITULO 4. ELEMENTOS QUE COMPONEN UN CONCRETO HIDRÁULICO.....	8
❖ 4.1. Composición química del cemento Portland.....	9
❖ 4.2. Ceniza Volante, Escoria, Humo de Sílice y Puzolanas Naturales.....	13
❖ 4.3. Agua de mezcla para concreto.....	15
❖ 4.3.1. Carbonato alcalino y bicarbonato.....	16
❖ 4.3.2. Cloruro.....	16
❖ 4.3.3. Sulfato.....	18
❖ 4.4. Agregados para el concreto.....	18
❖ 4.5. Aditivos para concreto.....	21
CAPITULO 5. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND.....	24
❖ 5.1. Proceso de fabricación húmedo.....	24
❖ 5.2. Proceso de fabricación en seco.....	27
❖ 5.3. Tipos de concreto.....	32
❖ 5.4. Cementos en México.....	33
CAPITULO 6. PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS AGREGADOS PÉTREOS, CEMENTOS Y AGUA.....	36
❖ 6.1. Pruebas en arenas.....	36
❖ 6.1.1. Cuarteo en arena.....	36
❖ 6.1.2. Humedad superficial y humedad de absorción en arenas.....	38
❖ 6.1.3. Densidad de la arena.....	40
❖ 6.1.4. Determinación del peso volumétrico seco y suelto de una arena (PVSS).....	42
❖ 6.1.5. Determinación del peso volumétrico seco y varillado de una arena (PVSV).....	44
❖ 6.1.6. Análisis granulométrico de una arena.....	46
“Evaluación del desempeño de Concreto Hidráulico de alta resistencia, elaborado con Cementos CPC 40 de diferentes marcas comerciales”.	



❖ 6.1.7. Prueba de colorimetría de una arena.....	50
❖ 6.1.8. Material que pasa por la malla N° 200 de una arena.....	51
❖ 6.2. Pruebas en gravas.....	53
❖ 6.2.1. Cuarteo en gravas.....	53
❖ 6.2.2. Humedad de absorción en gravas.....	54
❖ 6.2.3. Densidad en gravas.....	55
❖ 6.2.4. Determinación del peso volumétrico seco y suelto en gravas (PVSS)...	57
❖ 6.2.5. Determinación del peso volumétrico seco y varillado en gravas (PVSV).....	58
❖ 6.2.6. Análisis granulométrico en gravas.....	60
❖ 6.3. Pruebas en cementos.....	63
❖ 6.3.1. Consistencia Normal del cemento.....	63
❖ 6.3.2. Tiempo de fraguado del cemento.....	65
CAPITULO 7. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS.....	67
❖ 7.1. Diseño del concreto por el método de las curvas de Abrams.....	67
❖ 7.2. Colado de cilindros y vigas.....	75
❖ 7.3. Prueba de compresión y flexión en los especímenes.....	77
❖ 7.3.1. Determinación de la resistencia a compresión en cilindros de concreto.....	77
❖ 7.3.2. Determinación de la resistencia a flexión en vigas.....	89
CAPITULO 8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	
CAPITULO 9. BIBLIOGRAFÍA	



ÍNDICE DE TABLAS

- TABLA 1.- NORMAS DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA EMPLEO EN MORTEROS Y CONCRETO. Página 15.
 - TABLA 2.- COMPONENTES DE LOS CEMENTOS. Página 32.
 - TABLA 3.- ESPECIFICACIONES DE LOS CEMENTOS CON CARACTERISTICAS ESPECIALES. Página 33.
 - TABLA 4.- ESPECIFICACIONES FÍSICAS. Página 33.
 - TABLA 5.- ABSORCIÓN PROMEDIO. Página 39.
 - TABLA 6.- DENSIDAD PROMEDIO. Página 41.
 - TABLA 7.- PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO (PVSS). Página 43.
 - TABLA 8.- PESO VOLUMETRICO SECO Y VARILLADO (PVSV).Página 45
 - TABLA 9.-RESULTADOS DEL ANALISIS GANULOMETRICO. Página 47.
 - TABLA 10.- ESPECIFICACIONES DE GRANULOMETRIA. Página 48.
 - TABLA 11.- MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA N° 200. Página 52.
 - TABLA 12.- HUMEDAD DE ABSORCION EN GRAVAS. Página 54.
 - TABLA 13.- DENSIDAD EN GRAVAS. Página 56.
 - TABLA 14.- PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO (PVSS). Página 57.
 - TABLA 15.- PESO VOLUMETRICO SECO Y VARILLADO. Página 59.
 - TABLA 16.- ANALISIS GRANULOMETRICO EN GRAVAS. Página 60.
 - TABLA 17.- FRAGUADO INICIAL Y FINAL EN CEMENTOS. Página 65.
 - TABLA 18.- DATOS DE LOS MATERIALES ANALIZADOS. Página 66.
 - TABLA 19.- CANTIDADES POR M3. Página 70.
- “Evaluación del desempeño de Concreto Hidráulico de alta resistencia, elaborado con Cementos CPC 40 de diferentes marcas comerciales”.



- TABLA 20.- MATERIAL NECESARIO PARA ELABORAR UN SACO DE CEMENTO. Página 70.
- Tabla 21. Materiales necesarios para 35 cilindros con cemento Apasco CPC 40. Página 72.
- Tabla 22. Materiales necesarios para 35 cilindros con cemento Cruz Azul CPC 40. Página 72.
- Tabla 23. Materiales necesarios para 35 cilindros con cemento Moctezuma CPC 40. Página 72.
- Tabla 24. Materiales necesarios para 10 vigas con cemento Apasco CPC 40. Página 73.
- Tabla 25. Materiales necesarios para 10 vigas con cemento Cruz Azul CPC 40. Página 73.
- Tabla 26. Materiales necesarios para 10 vigas con cemento Moctezuma CPC 40. Página 73.
- Tabla 27. Revenimientos obtenidos con los diferentes tipos de cemento en cilindros. Página 75.
- Tabla 28. Revenimientos obtenidos con los diferentes tipos de cemento en vigas. Página 75.
- Tabla 29. Resistencias a los tres días de edad. Página 79.
- Tabla 30. Resistencias a los siete días de edad. Página 80.
- Tabla 31. Resistencias a los catorce días de edad. Página 82.
- Tabla 32. Resistencias a los veintiún días de edad. Página 83.

“Evaluación del desempeño de Concreto Hidráulico de alta resistencia, elaborado con Cementos CPC 40 de diferentes marcas comerciales”.

JUAN JESUS MACIEL MENDOZA



- Tabla 33. Resistencias a los veintiocho días de edad. Página 85.
- Tabla 34. Resistencias promedio de las marcas comerciales de cemento.
Página 88.



ÍNDICE DE FIGURAS

- ❖ Fig. 4.1.- Página 9
- ❖ Fig. 4.2.- Página 10
- ❖ Fig. 4.3.- Página 13
- ❖ Fig. 4.4.- Página 18
- ❖ Fig. 4.5.- Página 18
- ❖ Fig. 4.6.- Página 21
- ❖ Fig. 6.1.- Página 35
- ❖ Fig. 6.1.1.- Página 36
- ❖ Fig. 6.1.2.- Página 39
- ❖ Fig. 6.1.3.- Página 42
- ❖ Fig. 6.1.4.- Página 44
- ❖ Fig. 6.1.5.- Página 46
- ❖ Fig. 6.1.6.- Página 50
- ❖ Fig. 6.1.7.- Página 52
- ❖ Fig. 7.1.- Página 67
- ❖ Fig. 7.2.- Página 67
- ❖ Fig. 7.3.- Página 68
- ❖ Fig. 7.4.- Página 74
- ❖ Fig. 7.5.- Página 74
- ❖ Fig. 7.6.- Página 75
- ❖ Fig. 7.7.- Página 75
- ❖ Fig. 7.8.- Página 76
- ❖ Fig. 7.9.- Página 77
- ❖ Fig. 7.10.- Página 77
- ❖ Fig. 7.11.- Página 78
- ❖ Fig. 7.12.- Página 89



1.- INTRODUCCIÓN

La enorme importancia del cemento en nuestros días queda constatada por el hecho de ser el material que más se produce en el mundo. El crecimiento en el consumo de cemento está directamente relacionado con el aumento de la población mundial y con el desarrollo de los países (obras de ingeniería civil, infraestructuras, etc.). Es por ello que este trabajo de investigación está enfocado a todas aquellas personas relacionadas con la construcción ya que se debe de tener en cuenta que para construir cualquier obra civil se debe de contar con el mejor cemento, para así garantizar la calidad y la resistencia de todos los elementos que requieran del uso del cemento. Hoy en día se cuenta con una gran variedad de marcas de cemento en el mercado esto tiene como resultado que se complique la elección.

Esta tesis presenta una comparación entre las diferentes marcas comerciales de Cemento Pórtland CPC 40, realizando pruebas de compresión simple en cilindros de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, y pruebas a la flexión en vigas de 15cm de ancho por 15 cm de alto por 60 cm de largo. Para lograr un buen diseño de concreto hidráulico se realizaron estudios previos a los materiales para así lograr tener las mismas condiciones en cada uno de los cementos y no favorecer en algún sentido a uno de ellos.

El Cemento Pórtland Compuesto (CPC 40) permite elaborar concretos de resistencia alta, este tipo de cemento se recomienda para prefabricados y elementos estructurales que requieran alta resistencia, los concretos que se



producen con este tipo de cemento son mas trabajables, lo que facilita su colocación y compactación al mismo tiempo que aumenta su durabilidad. El CPC 40 se recomienda utilizar en cualquier tipo de obra como por ejemplo: cimentaciones, losas, columnas, trabes, zapatas, viguetas, edificios, pisos, pavimentos, carreteras, postes, etc. Es por ello que se eligió este tipo de cemento para su estudio.

Se presentan las pruebas realizadas tanto a los agregados como al cemento ya que son los principales componentes de un concreto hidráulico para finalmente una vez mezclados estos materiales determinar que cemento reúne mejores condiciones para la elaborar concreto hidráulico de alta resistencia.

Poco se reflexiona sobre los procesos que hay detrás de la construcción de un inmueble o una obra de infraestructura. La mayoría observa cómo, al paso de las semanas, un espacio desierto se convierte en una telaraña de ladrillos, varillas, acero y concreto, pero pocos recapacitan en la labor de los laboratorios que deben verificar la calidad de cada uno de los productos utilizados. El laboratorio es la principal fuente de información que se debe considerar al momento de tomar decisiones en el ámbito de la construcción, por tal motivo se pretende que esta investigación se tome en consideración al realizar una obra de infraestructura en nuestro país.



2. ANTECEDENTES

La palabra concreto a menudo se utiliza para describir muchos materiales usados en la industria de la construcción. El concreto es una mezcla de cemento, agregado (fino y grueso) y agua. El cemento es una mezcla de conchas, piedra caliza, arcilla, sílice, mármol, esquistos, arena, bauxita y mineral de hierro componentes que son molidos, mezclados, fundidos y triturados hasta hacerlos polvo. El cemento actúa como agente de adherencia en el concreto cuando se le mezcla con agua. El agregado es un material duro, granular, como la grava que se mezcla con el cemento para proporcionar estructura y resistencia al concreto. El concreto se entrega en el sitio de la construcción en estado flexible. El concreto puede moldearse en cualquier forma, es económico, es fácil de laborar y de usar. El concreto es a prueba de fuego y es hermético.

Los antiguos romanos fueron los primeros en usar una forma de concreto en el año 27 a.c. una ceniza volcánica conocida como puzolana fue mezclada con cal apagada y arena. La mezcla se endureció y también se endureció bajo el agua. Para aplicaciones en la construcción, se añadió el agregado grueso. El agregado grueso se colocó en el fondo de un molde y se puso concreto fresco en la parte superior, resultando de esto una mezcla inconsistente. La mezcla permaneció inconsistente aunque se le revolvió vigorosamente después de su colocación.



La tecnología del concreto siguió evolucionando durante la edad media. A principios del siglo XVI, los españoles introdujeron un tipo de concreto (tabby), que consistía en cal, arena y agregado de grava, conchas o piedras, mezclado con agua. La mezcla se colocaba entre cimbras de madera, se le compactaba y se le dejaba curar, una técnica muy similar a la que se utiliza hoy en día. Edificios completos fueron construidos con concreto empleando este procedimiento.

En el siglo XIX, ocurrieron importantes desarrollos en la tecnología del concreto. En 1824 Joshep Aspin, un constructor inglés recibió una patente sobre cemento hidráulico. Él lo llamó cemento Pórtland porque después de endurecerse se asemejaba a la piedra caliza natural de la isla de Pórtland, cerca de la costa de Inglaterra. La mezcla era resistente a la fuerza de compresión, pero se fracturaba fácilmente bajo esfuerzos de flexión y de tensión. La mezcla no era atractiva, pero se usó ampliamente debido a que era económico y fácil de trabajar. En 1845, el primer cemento moderno Pórtland fue producido en Inglaterra, compuesto de cal, materiales de arcilla o de esquistos. Los materiales eran calentados hasta que formaban cenizas conocidas como Clínker. Los clínkers eran después molidos en polvo fino para dar lugar al cemento Pórtland. A mediados del siglo XIX, se hicieron intentos para reforzar el concreto empotrándole varillas de hierro para resistir los esfuerzos de doblado y de tensión. Esta técnica fue desarrollada por Joshep Monier y Framcois Hennibique a finales del siglo XIX. El uso de varillas de hierro como refuerzo para el concreto tuvo éxito y se convirtió en una práctica muy común.



El desarrollo del concreto también continuó en los Estados Unidos. En 1818, Canvasswhite, un ingeniero norteamericano, descubrió en Nueva York una piedra que podía usarse para hacer concreto hidráulico con muy poco procesamiento. Este contenido fue producido en grandes cantidades especialmente para la construcción del canal Erie. Esta fue la primera gran demanda de cemento en los Estados Unidos. En Seguin, Texas, se construyeron 90 edificios con una mezcla de concreto. El departamento de guerra se impresionó con las ventajas de los muros de concreto, y empezó a construir puestos militares utilizando concreto.

En 1860, S. T. Fowler obtuvo una patente para un muro de concreto reforzado. A partir de los años 60 del siglo XIX se construyó una casa en Portchester, Nueva York, usando concreto reforzado con varilla de hierro en todos los elementos estructurales. El uso del concreto en los Estados Unidos tuvo aceptación creciente después de 1990, debido principalmente a la invención del horno horizontal rotatorio el cual producía un cemento que era más confiable y uniforme.

En 1898, existían 91 formas diferentes para elaborar cemento Pórtland. El Instituto Americano del Concreto (ACI International) se constituyó en 1905 para desarrollar un medio estandarizado para hacer concreto durable, utilizable y seguro. La Asociación de Cemento Pórtland (PCA) por sus siglas en inglés fue fundada en 1916 por Robert Lesley, un fabricante americano de cemento. En



1917 la oficina de normas de los Estados Unidos y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) por sus siglas en inglés, estandarizaron la fórmula para el Cemento Pórtland.

En el decenio de 1920 las mejoras en el concreto facilitaron el diseño del templo Baha'í en Wilnet, Illinois y el edificio de la cascada de agua de Frank Lloyd Wright cerca de Nill Run, Pennsylvania. En 1928 Eugene Freyssinet produjo exitosamente concreto presforzado. En el concreto presforzado se colocan cables de acero en tensión (tendones) y se vierte concreto a su alrededor. Después del curado del concreto, los tendones proporcionan resistencia permanente a la tensión. Durante el mismo periodo, Freyssinet también produjo con éxito concreto postensado. En el concreto postensado se colocan vacíos en el concreto (canales) durante la colocación. Después del curado del concreto, a lo largo de los canales se pasaban tendones que eran tensados y anclados de manera permanente.

En la actualidad, solo en los Estados Unidos, aproximadamente 15 millones de toneladas de cemento Pórtland se usan para aplicaciones residenciales; garajes, pisos de sótano, muros, banquetas y cimentaciones son aplicaciones comunes residenciales del concreto. Vialidades, edificios y puentes son aplicaciones comunes comerciales del concreto [1].



3. JUSTIFICACIÓN

La presente tesis se ha realizado con la intención de contribuir al constructor o ingeniero civil al momento de elegir un Cemento Pórtland Compuesto, para llevar a cabo una construcción o cualquier obra de infraestructura con la mejor calidad posible. En la actualidad en el mercado se encuentran diversas marcas comerciales de Cemento Portland Compuesto y las pruebas de laboratorio son de gran importancia porque es la única fuente de información confiable acerca del comportamiento de todos los materiales para la construcción; en la presente tesis los componentes principales de un concreto se analizaron detalladamente para así poder confiar en los resultados expuestos y con esto poder determinar cual marca comercial de cemento es la mejor.

Es importante mencionar que la curva granulométrica en gravas no se idealizo ya que en obra solo se trata de cumplir con lo especificado en las normas y esta grava estudiada cumple con dichas normas ya que esta dentro de la curva granulométrica y cuenta con un tamaño máximo de agregado adecuado.

El agregado pétreo para la elaboración del concreto hidráulico se tomo como actualmente sale del banco es decir en condiciones ambientales, se trato de no alterar dichas condiciones ya que si se alteraban el concreto podría reaccionar de distinta manera tanto positiva como negativamente, y este es un punto muy importante que se debe de tener en cuenta ya que las condiciones ambientales son imprescindibles para la elaboración de un concreto hidráulico.



4. ELEMENTOS QUE COMPONEN UN CONCRETO HIDRÁULICO

En general, el concreto puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (cemento Pórtland hidráulico), un material de relleno (agregados o áridos), agua y aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión.

El principal componente del concreto es el cemento Pórtland el cual ocupa entre el 7% y el 15% del volumen de la mezcla y tiene propiedades de adherencia y cohesión que proveen buena resistencia a la compresión. El cemento Pórtland es producido por el hombre y proviene de la calcinación de rocas calizas y arcilla. El segundo componente, los agregados, ocupan entre el 59% y el 76% del volumen de la mezcla. Son esencialmente materiales inertes, naturales o artificiales, de forma granular, que por conveniencia han sido separados en fracciones finas (arenas) y fracciones gruesas (gravas). En general, provienen de las rocas naturales pero también existen agregados artificiales. El tercer componente, el agua, ocupa entre el 14% y el 18% del volumen de la mezcla e hidrata al cemento Pórtland por medio de complejas reacciones químicas.

Adicionalmente, el concreto también contiene alguna cantidad de aire atrapado (usualmente entre 1% y 3% del volumen de la mezcla), y puede contener aire incluido intencionalmente (entre 1% y 7% del volumen de la mezcla)



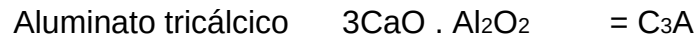
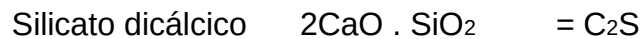
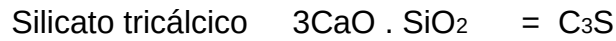
lo cual se logra con el uso de aditivos o con cementos que tengan agentes inclusores de aire. Finalmente con alguna frecuencia se añaden aditivos a la mezcla con el objetivo de modificar una o más propiedades del concreto tales como acelerar, retardar, mejorar la trabajabilidad, reducir la cantidad de agua, incrementar resistencia o alterar otras propiedades [2].

4.1. Composición química del cemento Pórtland

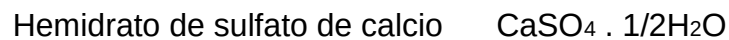
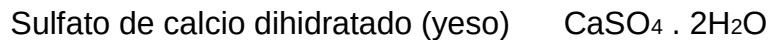
Las materias primas utilizadas en la fabricación del cemento Pórtland consisten principalmente en Cal, Sílice, Alúmina y Óxido de hierro. Estos compuestos interactúan en el horno para formar una serie de productos más complejos, hasta alcanzar un estado de equilibrio químico, con la excepción de un pequeño residuo de cal no combinada, que no ha tenido suficiente tiempo para reaccionar [3].

En la fabricación del Clínter de cemento Pórtland, durante la calcinación, el Calcio se combina con otros componentes de la mezcla cruda para formar cuatro compuestos principales que corresponden al 90% de la masa del cemento [2].

Se usa el término “fase” preferiblemente al término “compuesto” para describirse los componentes del Clínter. A continuación se muestran los cuatro compuestos principales en el cemento Pórtland, sus formulas químicas aproximadas y abreviaturas.



Fórmulas de Sulfato de calcio y sus fórmulas químicas:



El yeso, sulfato de calcio dihidratado, es la fuente de sulfato más empleada en el cemento. El C_3S y el C_2S en el Clínter se conocen como Alita y Belita, respectivamente. La Alita constituye del 50% al 70% del Clínter, mientras que la Belita es responsable por sólo 15% al 30%. Los compuestos de aluminato constituyen aproximadamente del 5% al 10% del Clínter y los compuestos de ferrita del 5% al 15% (Fig. 4.1) [4].



Además de los compuestos principales, existen algunos compuestos menores tales como MgO , Ti_2 , Mn_2 , O_3 , K_2O y Na_2O , que generalmente no sobrepasan de un ligero porcentaje del peso del cemento. Dos de los compuestos menores revisten interés: los óxidos de sodio y potasio, K_2O y Na_2O , conocidos como álcalis (aunque en el cemento existen también otros álcalis). Se ha encontrado que reaccionan con algunos agregados y que los productos de esa reacción ocasionan una desintegración del concreto, además de afectar la rapidez con que el concreto adquiere resistencia [3].

En presencia de agua, estos compuestos se hidratan para formar nuevos compuestos, los cuales son la infraestructura de la pasta de cemento endurecida en el concreto (Fig. 4.2).



Los silicatos de calcio C_3S y C_2S , se hidratan para formar los compuestos de hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado. El cemento Pórtland hidratado



contiene del 15% al 25% de hidróxido de calcio y aproximadamente 50% de silicato de calcio hidratado en masa. La resistencia y otras propiedades del cemento hidratado se deben principalmente al silicato de calcio hidratado. El C_3A reacciona con el agua y el hidróxido de calcio para formar aluminato tetracálcico hidratado. El C_4AF , Sulfato (yeso, anhidrita u otra fuente de sulfato) y el agua se combinan para formar Etringita (trisulfoaluminato de calcio hidratado), monosulfato de calcio y otros compuestos afines.

El porcentaje aproximado de cada compuesto se puede calcular a través del análisis químico de los óxidos del cemento anhidro (cálculos de Bogue). Debido a las imprecisiones de los cálculos de Bogue, se pueden determinar los porcentajes de los compuestos de manera más precisa a través de las técnicas de difracción de rayos X [2].

El conocimiento actual de la química indica que los compuestos principales del cemento tienen las siguientes propiedades:

- ✓ **Silicato Tricálcico, C_3S** , se hidrata y se endurece rápidamente y es responsable en gran parte del inicio del fraguado y de la resistencia temprana. En general, la resistencia temprana del concreto de cemento Pórtland es mayor cuando el porcentaje de C_3S aumenta.
- ✓ **Silicato Dicálcico, C_2S** , se hidrata y se endurece lentamente y contribuye grandemente para el aumento de resistencia en edades más allá de una semana.



- ✓ **Aluminato Tricálcico, C_3A** , libera una gran cantidad de calor durante los primeros días de hidratación y endurecimiento. También contribuye un poco para el desarrollo de las resistencias tempranas. Los cementos con bajos porcentajes de C_3A resisten mejor a suelos y aguas con sulfatos.
- ✓ **Ferroaluminato Tetracálcico, C_4AF** , es el producto resultante del uso de las materia primas de hierro y aluminio para la reducción de la temperatura de Clínterización o cocción durante la fabricación del cemento. Este compuesto contribuye muy poco para la resistencia, la mayoría de los efectos de color para la producción del cemento gris se deben al C_4AF y sus hidratos.
- ✓ **Sulfato de Calcio**, como anhidrita (sulfato de calcio anhidro), yeso (sulfato de calcio dihidratado) o hemidrato, se adiciona al cemento durante la molienda final, ofreciendo sulfato para la reacción con el C_3A y la formación de Etringita (trisulfoaluminato de calcio). Esto controla la hidratación del C_3A . Sin sulfato de calcio, el fraguado del cemento sería rápido. Además del control del fraguado y del desarrollo de resistencia, el sulfato de calcio también ayuda a controlar la contracción por secado y puede influenciar la resistencia hasta los 28 días.

4.2. Ceniza Volante, Escoria, Humo de Sílice y Puzolanas Naturales

La ceniza volante, la escoria granulada de alto horno, el humo de sílice y las puzolanas naturales, tales como esquistos calcinados, arcilla calcinada o metacaolinita son materiales que, cuando son usados conjuntamente con el

cemento Pórtland o el cemento adicionado contribuyen para la mejoría de las propiedades del concreto endurecido, debido a sus propiedades hidráulicas o puzolánicas o ambas (Fig. 4.3). La puzolana es un material silíceo o silícico aluminoso que, cuando está en forma de polvo fino y en presencia de humedad reacciona químicamente con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento Pórtland para formar silicato de calcio hidratado y otros compuestos cementantes. Las puzolanas y las escorias se clasifican como material cementante suplementario o aditivo mineral.



Fig. 4.3 Materiales cementantes suplementarios. De la izquierda para la derecha, ceniza volante, metacaolinita (arcilla calcinada), humo de sílice, ceniza volante, escoria y esquisto.

Los materiales cementantes suplementarios se usan para mejorar una propiedad particular del concreto, tal como resistencia a la reactividad álcali-agregado. La cantidad óptima de adición se debe establecer a través de pruebas para determinar:



1. Si el material realmente mejora la propiedad
2. La correcta cantidad

Una sobredosis o una dosis insuficiente pueden ser perjudiciales o los efectos deseados no se logran. Los materiales cementantes suplementarios también reaccionan de manera diversa con los diferentes tipos de cementos.

4.3. Agua de mezcla para el concreto

Toda agua natural que sea potable o no presente fuerte sabor u olor se le puede usar como agua de mezcla para la preparación del concreto, sin embargo también se pueden usar algunas aguas que no se consideran potables [2].

La tabla 1 presenta las normas que tratan específicamente de la calidad del agua para el empleo en morteros y concretos. El exceso de impurezas en el agua de mezcla no solo puede afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, si no también puede causar eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Por lo tanto, se pueden marcar ciertos límites opcionales para cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla o se pueden realizar ensayos adecuados para la determinación del efecto de las impurezas ya que algunas impurezas pueden tener efecto sobre la resistencia, el fraguado, afectar la durabilidad y otras propiedades del concreto [2].



PAIS	NORMA	NOMBRE DE LA NORMA
Argentina	IRAM 1601	Agua para morteros y hormigones de cemento Pórtland
Chile	NCh 1498.Of1982	Hormigón – Agua de amasado – Requisitos
Colombia	NTC 3459	Concretos. Agua para la elaboración del concreto
Ecuador	1 855-1:01 1 855-2:02	Hormigón premezclado: requisitos Hormigón preparado en obra: requisitos
Estados Unidos	ASTM C 94	Standard specification for ready mixed concrete
Perú	N\$TP 339.088-1982	Agua para morteros y hormigones de cementos Pórtland: requisitos
México	NMX-C-122-82	Agua para concreto
Venezuela	CONVENIN 2385:2000	Concreto y mortero. Agua de mezcla. requisitos

Tabla 1.- Normas de la calidad del agua para empleo en morteros y concretos

4.3.1. Carbonato alcalino y bicarbonato

Los carbonatos y los bicarbonatos de sodio y potasio tienen diferentes efectos sobre el tiempo de fraguado en diferentes cementos. El carbonato de sodio puede causar fraguado rápido, el bicarbonato de sodio puede tanto acelerar como retardar el fraguado. Cuando se encuentran en grandes concentraciones pueden reducir la resistencia del concreto. También se debe considerar la posibilidad de la ocurrencia de reacciones álcali-agregado fuertes.

4.3.2. Cloruro

El efecto adverso de los iones de cloruro sobre la corrosión de la armadura (refuerzo) es la principal razón de preocupación respecto al contenido de cloruros en el agua usada para la preparación del concreto.



Los cloruros se introducen en el concreto con los ingredientes de la mezcla –aditivos, agregados, materiales cementantes y agua de mezcla- o a través de la exposición de sales anticongelantes, agua de mar o aire cargado de sales en ambientes marinos. Es difícil el establecimiento de límites aceptables del contenido de cloruros para cualquiera de los ingredientes, tal como el agua, pues hay muchas fuentes de iones de cloruro en el concreto. Un límite aceptable depende principalmente del tipo de estructura y del medio al cual este expuesta durante su vida útil.

Una alta concentración de sólidos disueltos en el agua natural se debe al alto contenido de cloruros de sodio o sulfato de calcio. Ambos se pueden tolerar en grandes cantidades. Una determinada cantidad de cloruro de sodio mantiene seco al concreto y mantiene un nivel bajo de corrosión. El agua empleada en el concreto pretensado o el concreto que vaya a tener elementos de aluminio embebidos no debe de tener cantidades nocivas de iones de cloruro. La contribución de cloruros de los otros ingredientes también se debe considerar, debe evitarse el uso de aditivos a base de cloruro de calcio en el concreto armado.

El código de construcción ACI 318 limita el contenido de iones solubles en agua en el concreto armado en los siguientes porcentajes en peso del cemento.

Concreto pretensado..... 0.06%

Concreto reforzado expuesto a cloruros durante su vida útil..... 0.15%



Concreto reforzado mantenido seco y protegido de humedad..... 1.00%

Otras construcciones en concreto reforzado..... 0.30%

El ACI 318 no limita la cantidad de cloruros en el concreto simple, o sea concreto que no tiene acero, para más información de los límites y ensayos se puede encontrar en el ACI 222, Corrosión de Metales en Concreto. El contenido de cloruros. El contenido de cloruros solubles en ácido y cloruros solubles en agua se puede determinar en NTP 339.076.

4.3. Sulfato

La preocupación al respecto del alto contenido de sulfato en el agua usada para la preparación del concreto se debe a las reacciones expansivas potenciales y al deterioro por el ataque de sulfatos, principalmente en áreas donde el concreto será expuesto a suelos o aguas con alto contenido de sulfatos.

4.4. Agregados para concreto

La importancia del uso, del tipo y de la calidad de los agregados no se puede subestimar. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 59% al 76% del volumen de concreto e influye fuertemente en las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto. Los agregados finos (Fig. 4.4). Generalmente consisten en arena natural o piedra triturada con la mayoría de sus partículas menores a 5mm. Los agregados gruesos (Fig. 4.5). Consisten en una o en la combinación de gravas y piedras trituradas con partículas predominantemente mayores a 5mm y

generalmente entre 9.5mm y 37.5mm (3/8" y 1 1/2"). Algunos depósitos naturales de agregado, llamados grava de mina consisten en grava y arena que se pueden usar inmediatamente en el concreto después de un procesamiento mínimo. La grava y arena naturales normalmente se excavan o se dragan de la mina, del río, del lago o del lecho marino. La piedra triturada se produce triturando la roca de la cantera, roca redondeada, guijarros o gravas grandes. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se usa como agregados finos y grueso.



Fig. 4.4 Primer plano de agregado fino (arena).



Fig. 4.5 Agregado grueso. Grava redondeada (Izquierda) y piedra triturada (Derecha).

Los agregados frecuentemente se lavan y se gradúan en la mina o en la planta. Se puede esperar alguna variación en el tipo, calidad, limpieza, granulometría, contenido de humedad y otras propiedades.

Los agregados naturales para concreto son una mezcla de roca y minerales. Mineral es una sustancia sólida natural con una estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de límites estrechos. Las rocas, que se clasifican según su origen en ígneas, sedimentarias o



metamórficas, generalmente se componen de varios minerales. Por ejemplo, el granito contiene cuarzo, feldespato, mica y otros pocos minerales; la mayoría de las calizas consiste en calcita, dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. El intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla.

El concreto reciclado o el concreto de desperdicio triturado es una fuente viable de agregados y una realidad económica especialmente donde los buenos agregados son escasos. Se pueden utilizar equipos convencionales de trituración de piedras y se han desarrollado nuevos equipos para reducir el ruido y el polvo.

Los agregados deben cumplir con algunas normas para que su uso en ingeniería se optimice: deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcillas u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregados disgregados o capaces de rajarse son indeseables. Se deben evitar agregados que contienen cantidades apreciables de esquisto u otras rocas esquistosas, de materiales blandos y porosos. Se deben evitar, en especial, algunos tipos de cherts, pues tienen poca resistencia al intemperismo y causan defectos superficiales tales como las erupciones [4].

Las características físicas y químicas básicas del agregado, en general, no pueden alterarse por el procesamiento, aunque las cantidades de ciertas



partículas dañinas pueden reducirse. Las características del agregado que pueden controlarse incluyen granulometría, contenido de agua, limpieza, remoción de partículas anormalmente ligeras y, en algún grado, la forma de las partículas. Los factores económicos determinan por lo regular el grado en que puede ser dirigido el procesamiento para producir el mejor arreglo entre las propiedades deseables del agregado y la economía.

La medida en que deben aplicarse al agregado los criterios de exactitud en las especificaciones depende de cuan crítico sea el uso final al que pretenda servir el concreto. Para el concreto comercial ordinario, rara vez es necesario especificar la más alta calidad o el más rígido control. Por otro lado, si se espera que el concreto mantenga altos esfuerzos o que sirva en un medio severo, entonces se recomienda de manera especial mantener la alta calidad y un control cuidadoso [5].

4.5 Aditivos para Concreto

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento Pórtland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado (Fig. 4.6). Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, como sigue.

- 1.- Aditivos incorporadores de aire (Inclusores de aire)
- 2.- Aditivos reductores de agua
- 3.- Plastificantes (Fluidificantes)
- 4.- Aditivos aceleradores (Acelerantes)

“Evaluación del desempeño de Concreto Hidráulico de alta resistencia, elaborado con Cementos CPC 40 de diferentes marcas comerciales”.

JUAN JESUS MACIEL MENDOZA

5.- Aditivos retardadores (Retardantes)

6.- Aditivos de control de la hidratación

7- Inhibidores de corrosión

8.- Reductores de retracción

9.- Inhibidores de reacción álcali-agregado

10- Aditivos colorantes

11.- Aditivos diversos, tales como aditivos para mejorar la trabajabilidad (manejabilidad, para mejorar la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizante, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espuma y auxiliar de bombeo.

El concreto debe ser trabajable, fácilmente acabado, fuerte, durable, y resistente al desgaste. Estas calidades se pueden obtener fácil y económicamente con la selección de los materiales adecuados, preferiblemente al de aditivos.

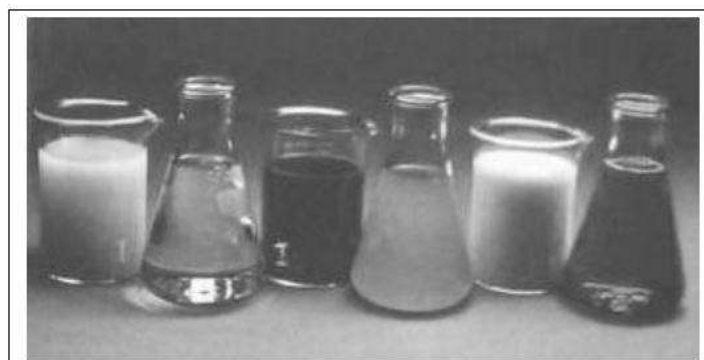


Fig. 4.6 Aditivos líquidos, de la izquierda hacia la derecha: aditivo antideslave, reductor de retracción, reductor de agua, agente espumante, inhibidor de corrosión e incorporador de agua.



Las razones principales para el uso de aditivos son:

- 1.- Reducción del costo de la construcción de concreto.
- 2.- Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras.
- 3.- Manutención de la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso.
- 4.- Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado.

A pesar de estas consideraciones, se debe observar que ningún aditivo de cualquier tipo o de cualquier cantidad se le puede considerar como un sustituto de las buenas prácticas de construcción. La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca y cantidad del material cementante, contenido de agua, forma, granulometría y proporción de los agregados, tipo de mezclado y temperatura del concreto [4].



5. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CEMENTO PÓRTLAND

El cemento Pórtland está compuesto principalmente de materiales calcáreos tales como Caliza, y por Alúmina y Sílice, que se encuentra como Arcilla o Pizarra. También se utiliza la Marga, que es una mezcla de materiales calcáreos y arcillosos. La materia prima para la fabricación del cemento Pórtland se encuentra en casi todos los países, y las fábricas de cemento operan en todo el mundo.

El proceso de fabricación del cemento consiste en moler finamente la materia prima, mezclarla minuciosamente en ciertas proporciones y calcinarla en un horno rotatorio de gran dimensión a una temperatura de aproximadamente $1,450^{\circ}\text{C}$, donde el material se sintetiza y se funde parcialmente, formando bolas conocidas como Clínker. El Clínker se enfría y se tritura hasta obtener un polvo fino, después se adiciona un poco de yeso, y el producto resultante es el cemento Pórtland comercial que tanto se usa en todo el mundo.

La mezcla y la trituración de las materias primas pueden efectuarse tanto en condiciones húmedas como secas; de aquí provienen los nombres de proceso "húmedo" o "seco". En la actualidad, el método de fabricación depende también de la dureza de la materia prima empleada y de su contenido de humedad.

5.1. Proceso de Fabricación Húmedo

En proceso húmedo cuando se emplea marga, se tritura finamente y se dispersa en agua en un molino de lavado, el cual es un pozo circular con brazos



revolvedores radiales con rastrillos, que rompen los aglomerados de materias sólidas. La arcilla también se tritura y se mezcla con agua, generalmente en un molino de lavado semejante al anterior. En seguida se bombean las dos mezclas, de forma tal que se mezclan en proporciones determinadas y pasan a través de una serie de cribas. La lechada que resulta de este proceso fluye a estanques de almacenamiento.

Si se emplea caliza, ésta debe barrenarse, triturarse -generalmente en dos trituradoras-, una más pequeña que la otra, y luego depositarse en un molino de bolas, con la arcilla dispersa en agua. Allí se continúa el molido de la caliza (hasta lograr la finura de harina), y la lechada resultante se bombea a estanques de almacenamiento. De aquí en adelante, el proceso es el mismo, sin tomar en cuenta la naturaleza original de las materias primas.

La lechada es un líquido de consistencia cremosa, con un contenido de agua entre 35 y 50 por ciento, y sólo una pequeña fracción del material, alrededor de dos por ciento, es mayor que la abertura que pasa el tamiz No. 170. Generalmente hay varios tanques de almacenamiento en los que se guarda la lechada, la sedimentación de los sólidos suspendidos se impide mediante agitación mecánica o por burbujeo de aire comprimido. El contenido de cal de la lechada lo determina la proporción de materiales calcáreos y arcillosos originales.

Para obtener la composición química requerida, puede efectuarse un ajuste final mezclando lechadas de diferentes tanques de almacenamiento, para



lo que se utiliza a veces un sistema complicado de tanques de mezclado. Ocasionalmente, por ejemplo en la planta más nórdica del mundo, en Noruega, la materia prima es una roca de composición tal que solo se tritura y no requiere ninguna combinación.

Finalmente, la lechada con el contenido de cal deseado pasa a un horno rotatorio. Se trata de un cilindro de acero de gran tamaño, recubierto de material refractario, con diámetro interior hasta de 8 m y una longitud que a veces alcanza 230 m, el cual gira lentamente alrededor de su eje, levemente inclinado hacia la horizontal. La lechada se deposita en el extremo superior del horno, mientras se añade carbón pulverizado mediante la inyección de aire en el extremo inferior, donde la temperatura alcanza de 1,450 a 1,500 °C. El carbón, que no debe tener un contenido demasiado alto de ceniza, merece especial mención, puesto que se consumen habitualmente 220 kg de carbón para fabricar una tonelada de cemento. Es importante tener esto en cuenta al considerar el precio del cemento. Petróleo (en orden de 125 litros por tonelada de cemento) o gas natural también se emplearon, pero desde los años ochenta casi todas las fábricas que quemaban petróleo se han convertido al carbón, que es con mucho el combustible más común utilizado en la mayoría de los países.

Cuando la lechada desciende dentro del horno, encuentra progresivamente mayores temperaturas. Primero se elimina el agua y se libera el CO₂: posteriormente, el material seco sufre una serie de reacciones químicas hasta que, finalmente, en la parte más caliente del horno, de 20 a 30 por ciento



del material su vuelve líquido y la cal, la sílice y la alúmina vuelven a combinarse. Después, la masa se funde en bolas de diámetros que varían entre 3 y 25 mm, conocidas como Clínker. El Clínker cae dentro de enfriadores de diferentes tipos que a menudo favorecen un intercambio de calor con el aire que luego se utiliza para la combustión del carbón pulverizado. El horno tiene que operar continuamente con el objeto de asegurar un régimen constante, y con ello la uniformidad del Clínker, y también para reducir el deterioro del forro refractario. Se deberá observar que la temperatura de la llama alcance 1,650 °C. Un horno de grandes dimensiones en una planta de proceso húmedo produce 3,600 toneladas de Clínker al día. A causa de que la fabricación de cemento por el proceso húmedo es intensiva en el consumo de energía, ya no se construyen nuevas fábricas de proceso húmedo.

5.2. Proceso de Fabricación Seco

En los procesos seco y semiseco, las materias primas se trituran y se adicionan en las proporciones correctas en un molino de mezclado, donde se secan y se reduce su tamaño a un polvo fino. El polvo seco, llamado grano molido crudo, se bombea al silo de mezclado y se hace un ajuste final en las proporciones de los materiales requeridos para la manufactura del cemento. Para obtener una mezcla íntima y uniforme, se mezcla el grano crudo, generalmente mediante aire comprimido, induciendo un movimiento ascendente del polvo y reduciendo su densidad aparente. El aire se bombea por turnos sobre cada cuadrante del silo y esto permite al material aparentemente más pesado de los



cuadrantes no aireados, moverse lateralmente hacia el cuadrante aireado. De este modo, el material aireado tiende a comportarse como un líquido y, si se airean a su vez todos los cuadrantes durante un periodo completo que dura alrededor de una hora, se obtiene una mezcla uniforme. En algunas plantas de cemento se emplean sistemas de mezclado continuo.

En el proceso semiseco, el grano molido crudo y mezclado se pasa por un tamiz y se deposita en una cuba giratoria llamada granulador. Simultáneamente, se agrega agua en una cantidad correspondiente a 12 por ciento del peso del grano molido adicionado. De esta forma, se obtiene pastillas duras de alrededor de 15 mm de diámetro interior. Esto es conveniente puesto que si se introdujera directamente el polvo frío en el homo, se impediría el flujo de aire y el intercambio de calor necesario para las reacciones químicas de la formación de Clínker del cemento.

Las pastillas se hornean en una rejilla de precalentamiento mediante gases calientes del homo, hasta endurecer. En seguida, las pastillas se meten al horno y las operaciones posteriores son las mismas que en el proceso de fabricación en húmedo. Sin embargo, como el contenido de humedad de las pastillas es sólo de 12 por ciento, comparado con 40 por ciento de la lechada empleada en el proceso húmedo, el horno utilizado en el proceso semiseco tiene dimensiones considerablemente menores.



La cantidad de calor requerida es mucho más baja, puesto que hay que eliminar alrededor de sólo 12 por ciento de humedad, aunque ya se ha utilizado previamente calor adicional para eliminar la humedad original de las materias primas (generalmente de 6 al 10 por ciento). El proceso es, por lo tanto, bastante económico, pero sólo si las materias primas están relativamente secas. En tal caso, el consumo, total de carbón puede ser tan pequeño como 100 kg por tonelada de cemento.

En el proceso por vía seca, el grano crudo, el cual tiene un contenido de humedad de cerca de 0.2 por ciento, se hace pasar a través de un precalentador, generalmente de tipo de suspensión. Aquí se calienta a cerca de 800 °C antes de introducirlo al horno. El tamaño del horno puede ser mucho menor que el que se emplea en el proceso por vía húmeda, debido a que prácticamente no tiene que eliminarse la humedad del grano crudo y a que éste ya ha sido precalentado. La mayor parte del grano crudo puede pasarse a través de un calcinador fluidizado (que usa una fuente de calor separada) introducido entre el precalentador y el horno. El precalentamiento utiliza el gas caliente que sale del horno. A causa de que ese gas contiene una proporción importante de álcalis volátiles y cloruros, una parte del gas puede necesitar ser purgado hacia afuera para asegurar que el contenido de álcalis del cemento no sea demasiado alto. La mayor parte del grano crudo se puede pasar a través de un calcinador fluidizado (que usa una fuente de calor separada) introducido entre el precalentador y el horno.



La temperatura en el calcinador fluidizado es de alrededor de 820 °C. Esta temperatura es estable, de modo que la calcinación es uniforme y la eficiencia del intercambio de calor es alta.

Una parte del grano crudo se introduce en el horno de la manera usual pero, sobre todo, el efecto del calcinador fluidizado es aumentar la descarbonatación del grano antes de entrar en el horno y así aumentar en forma importante la rapidez de producción del horno. La que es probablemente la fábrica de proceso seco más grande del mundo produce 10,000 toneladas de Clínker al día y utiliza un horno de 6.2 m de diámetro y 105 m de largo.

Se debe recalcar que todos los procesos requieren una mezcla íntima de las materias primas porque una parte de las reacciones dentro del horno ocurren por difusión en materiales sólidos, y es esencial una distribución uniforme de materiales para asegurar un producto uniforme.

En la salida del horno, independientemente del tipo de proceso, el Clínker se enfría, usándose el calor para precalentar el aire de combustión. El Clínker frío, que es característicamente negro, centellante y duro, se muele con yeso con el objeto de impedir el fraguado relámpago del cemento. La molienda se hace en un molino de bolas compuesto de varios compartimientos con bolas progresivamente más pequeñas, precedido esto algunas veces por el paso a través de una prensa de rodillo. En casi todas las fábricas, se emplea un sistema de molienda de circuito cerrado; el cemento que descarga el molino se pasa a través de un



separador, siendo removidas las partículas finas para el silo de almacenaje con una corriente de aire, mientras que las partículas gruesas se pasan una vez más a través del molino. La molienda del circuito cerrado evita la producción de una cantidad grande de material excesivamente fino o de una cantidad pequeña de material demasiado grueso; las fallas muchas veces se encuentran en la molienda de circuito abierto. Se utilizan cantidades pequeñas de ayudas para molienda tales como el glicol de propileno. El rendimiento de un molino de bolas se puede mejorar con la molienda previa del Clínker en una trituradora de impacto horizontal.

Una vez que el cemento se haya molido satisfactoriamente, cuando tenga tanto como 1.1×10^{12} partículas por kg, estará listo para el transporte a granel. Excepto cuando los materiales crudos necesitan el empleo del proceso húmedo, el proceso seco se utiliza hoy día para reducir al mínimo la energía requerida por la combustión. Comúnmente, el proceso de combustión representa de 40 a 60 por ciento del costo de producción, mientras que la extracción de las materias primas para la fabricación del cemento representa 10 por ciento del costo total del mismo.

En áreas donde solo se requiere una pequeña producción de cemento o donde el capital es limitado, puede emplearse un horno vertical tipo Gottlieb. Éste arroja nódulos de grano crudo y polvo fino de carbón combinados y produce Clínker aglomerado, el cual se tritura posteriormente. Un solo horno, de 10 m de alto, produce hasta 300 toneladas de cemento al día.



5.3. Tipos de Concreto

Con base en su peso unitario, el concreto se puede clasificar en tres grandes categorías. El concreto que contiene arena natural y grava o agregados de roca triturada, que pesa aproximadamente $2,400 \text{ kg/m}^3$, es conocido como **concreto de peso normal** y es el concreto más comúnmente utilizado para propósitos estructurales.

Para aplicaciones en donde se desea una relación más alta de resistencia contra peso; es posible reducir el peso unitario del concreto usando ciertos agregados naturales o piropcesados que tienen una densidad de masa más baja. El término **concreto ligero** se utiliza para un concreto que pesa menos de $1,800 \text{ kg/m}^3$.

Por otra parte, el concreto pesado, que se utiliza por ejemplo para escudos contra radiación, es un concreto producido con agregados de alta densidad y pesa en general más de $3,200 \text{ kg/m}^3$.

La clasificación por resistencia del concreto, que prevalece en Europa y en muchos otros países, es en tres categorías generales:

1.- Concreto de baja resistencia: menos de 20 MPa (204 kg/cm^2) de resistencia a la compresión.

2.- Concreto de resistencia moderada: de 20 a 40 MPa ($204 \text{ a } 408 \text{ kg/cm}^2$) de resistencia a la compresión.



3.- Concreto de alta resistencia: más de 40 MPa (408 kg/cm²) de resistencia a la compresión.

El concreto de resistencia moderada es un concreto ordinario o normal, que se utiliza en la mayor parte de los trabajos estructurales. El concreto de alta resistencia se utiliza para aplicaciones especiales [6].

5.4. Cementos en México

Los cementos mexicanos se especifican según la norma NMX-C-414-ONNCCE. De acuerdo con esta norma, hay seis tipos básicos de cementos.

Tipo	Denominación	Componentes (% en masa)					
		Principales					Minoritarios
		Clínker Pórtland + yeso	Escoria granulada de alto horno	Materiales Puzolánicos	Humo de sílice	Caliza	
CPO	Cemento Pórtland Ordinario	95-100	-	-	-	-	0-5
CPP	Cemento Pórtland Puzolánico	50-94	-	6-50	-	-	0-5
CPEG	Cemento Pórtland con Escoria Granulada de Alto Horno	40-94	6-60	-	-	-	0-5
CPC	Cemento Pórtland Compuesto	50-94	6-35	6-35	1-10	6-35	0-5
CPS	Cemento Pórtland con Humo de Sílice	90-99	-	-	1-10	-	0-5
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	20-39	61-80	-	-	-	0-5

Tabla 2.- Componentes de los cementos [7]



Además, estos cementos pueden presentar características especiales, tales como las que se muestran en la siguiente tabla:

Nomenclatura	Característica especial	Expansión por ataque de sulfatos	Expansión por la reacción álcali-agregado	Calor de hidratación (Max.) (Kcal/kg)	Blancura (Min %)
		1 año	14 días 56 días	7 días 28 días	
RS	Resistente a los Sulfatos	0.10	-	-	-
BRA	Baja Reactividad Álcali-Agregado	-	0.020 0.060	-	-
BCH	Bajo Calor de Hidratación	-	-	80 70	-
B	Blanco	-	-	-	70

Tabla 3.- Especificaciones de los cementos con características especiales [7].

Los cementos aún se dividen en clases de resistencia como se muestra en la siguiente tabla: Tabla 4.- Especificaciones físicas [7].

Clase Resistente	Resistencia a Compresión (MPa)			Resistencia a Compresión (Kg/Cm2)			Tiempo de Fraguado (Min)	
	3 Días Mínimo	28 Días Mínimo	Máximo	3 Días Mínimo	28 Días Mínimo	Máximo	Inicial Mín.	Final Máx.
20	-	20	40	-	204	408	45	600
30	-	30	50	-	306	510	45	600
30R	20	30	50	-	306	510	45	600
40	-	40	-	-	408	-	45	600
40R	30	40	-	306	408	-	45	600

Los cementos se designan por uno de los 6 tipos de cementos, seguido por la clase de resistencia y por la característica especial. Por ejemplo, un



cemento Pórtland Compuesto de clase resistente 40, resistente a los sulfatos y bajo calor de hidratación, se designaría como CPC 40 RS/BCH [4].

Nota: Para la tesis se utilizó cemento Pórtland CPC 40 de diferentes marcas comerciales.



6. PRUEBAS DE LABORATORIO A LOS AGREGADOS PÉTREOS, CEMENTOS Y AGUA.

6.1 Pruebas en arenas

El material pétreo proviene de los bancos "La Calcomeca" (Arena Blanca de Mina) y "Copris" (Grava Triturada).



Fig. 6.1 Almacén de Arena Calcomeca y Almacén de Grava Copris.

6.1.1. Cuarteo en arena

Objetivo: Obtener una muestra representativa y del tamaño adecuado, para la prueba de qué se trate, de la muestra obtenida en el campo.

EQUIPO:

- Charolas grandes de lámina.
- Cucharones.
- Palas.
- Balanza o báscula.



PROCEDIMIENTO:

Existen 3 procedimientos usuales para efectuar el cuarteo de las muestras, el **método utilizado** fue por medio del **procedimiento por cuarteo con palas**.

1.- Se vacía la muestra de material en uno de los extremos de la charola grande.

2.- Se cambia el material al extremo opuesto, este cambio deberá hacerse por medio del paleado, tratando de revolver todo el material, además se procura apilar el material en forma cónica. Este procedimiento se repite tres veces.

3.- Una vez terminado el paso anterior el material apilado en forma cónica se aplanar la parte superior por medio de la cara posterior de la pala y después se divide el material trazando dos líneas perpendiculares sobre la superficie horizontal aplanada del material, eliminando las dos porciones opuestas, el material sobrante nos servirá para realizar las pruebas correspondientes. Si se desea disminuir el tamaño de la muestra se repite el procedimiento anterior señalado.



Fig. 6.1.1 Cuarteo en Arena



6.1.2. Humedad superficial y humedad de absorción en arenas

Objetivo: Determinar la capacidad máxima de absorción que tiene una arena expresada en porcentaje.

EQUIPO:

- Una muestra representativa de aproximadamente 2 kg.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Una parrilla eléctrica.
- Charolas metálicas.
- Un cono metálico.
- Un pizón.
- Una espátula.

PROCEDIMIENTO:

1.- La muestra de 2 Kg. se pone a saturar durante 24 horas, como mínimo.

2.- Al término de este tiempo se seca superficialmente, la arena por medio del molde troncocónico como se describe a continuación:

- ✓ Se coloca la arena en la charola y se coloca en la parrilla eléctrica para realizar la eliminación de agua que tiene en exceso, esto es, hacer el secado de la arena en forma superficial.
- ✓ Para saber cuando la arena está seca superficialmente se coloca el molde troncocónico dentro de la charola con el diámetro mayor



hacia abajo, se llena el molde con la arena en tres capas distribuyendo 25 golpes dados con el pizón, dando 12 a la primera, 8 a la segunda y 5 a la tercera. Inmediatamente se retira el cono y si la arena trata de disgregarse quiere decir, que ya esta seca superficialmente y si la arena mantiene la forma de cono, significa que todavía tiene agua en exceso, por lo tanto hay que seguir secando el material hasta que se obtenga el secado superficial. Conforme vaya perdiendo la humedad la muestra hay que realizar más continuamente el procedimiento con el cono para evitar que se seque en exceso.

3.- Cuando la arena está seca superficialmente hay que pesar una muestra de 300 gramos, registrando este peso como peso saturado y superficialmente seco (Ph).

4.- La muestra de 300 gramos, se coloca en una charola para secarla hasta peso constante, o sea, hasta eliminar completamente el agua.

5.- Para saber cuando el material esta seco se coloca el cristal sobre el material, si lo empaña el cristal hay que seguir secando el material para secarlo completamente.

Cálculos:

$$\% \text{ HUMEDAD DE ABSORCIÓN} = \frac{P_h - P_s}{P_s} * (100)$$

Donde:

Ph= Peso saturado y superficialmente seco (gramos).

Ps= Peso seco del material (gramos).



Fig. 6.1.2. Una vez determinada la humedad superficial con el cono, se toma una muestra representativa para determinar su absorción.

Resultados:

HUMEDAD DE ABSORCION.			
DATOS	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Peso húmedo (Ph)	g	300	300
Peso seco (Ps)	g	287.5	288.1
Agua absorbida (Ph - Ps)	g	12.5	11.9
Absorción $((Ph - Ps)/Ps)*100$		4.348	4.131
PROMEDIO		4.239	

Tabla 5. Humedad de Absorción promedio.

6.1.3. Densidad de la arena

Objetivo: Esta prueba tiene como finalidad obtener el volumen de las partículas de arena, es decir, el volumen efectivo excluyendo los vacíos que se forman entre las partículas de arena cuando se acomodan una sobre la otra.



EQUIPO:

- Muestra representativa de arena.
- Probeta graduada.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Franela.
- Charola.

PROCEDIMIENTO:

1.- Se pone a saturar la arena en una charola durante 24 horas al término de este tiempo se seca superficialmente utilizando el procedimiento descrito en la prueba de humedad de absorción con el molde tronco cónico.

2.- En la probeta se coloca un volumen de agua conocido, registrándolo como volumen inicial V_i en cm^3 .

3.- Enseguida se pesa una muestra de arena superficialmente seca anotando este valor como peso de la arena (P_a) que aproximadamente sea entre 200 y 300 gramos.

4.- Posteriormente se coloca la arena dentro de la probeta, procurando que no salpique agua porque esto nos ocasionaría un error en la prueba, agitando un poco la probeta para expulsar el aire atrapado, esta operación va a provocar un aumento del volumen de agua y vamos a registrar este valor como volumen final.



Cálculos:

$$\text{DENSIDAD DE LA ARENA (DA)} = \frac{Pa}{Vf - Vi}$$

Donde:

Pa= Peso de la arena saturada y superficialmente seca (gramos).

Vf-Vi= Volumen colocado dentro de la probeta (cm³).

Resultados.

DENSIDAD			
DATOS	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Volumen inicial (Vi)	ml	500	500
Volumen final (Vf)	ml	600	610
Peso de la arena (Pa)	g	216.2	238.5
Densidad	g/cm ³	2.162	2.168
PROMEDIO		2.165	

Tabla 6. Densidad promedio.

6.1.4. Determinación del peso volumétrico seco y suelto de una arena (PVSS)

Objetivo: Determinar el peso por unidad de volumen de una arena cuando el acomodo de sus partículas es en forma libre o natural.

EQUIPO:

- Una muestra de arena completamente seca.
- Un recipiente de peso y volumen conocido.
- Una varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro.
- Una balanza o báscula.

PROCEDIMIENTO:

Se vacía arena dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, llenado completamente el recipiente hasta colmarlo formando un cono.

Enseguida se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo.



Fig. 6.1.3. Después de llenar el molde se enrasa para así poder determinar el PVSS

Al peso obtenido anteriormente se le resta el peso del recipiente para obtener el peso de la arena.

Cálculos:

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

Donde:

P.V.S.S. = Peso volumétrico seco y suelto (g/ cm³).

P= Peso de la arena (g).

V= Volumen del recipiente (cm³)



Resultados:

PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (PVSS)			
DATOS	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Peso bruto	g	15000	14900
Peso de la tara	g	2930	2930
Peso neto	g	12070	11970
Volumen de la tara	cm ³	10600	10600
Peso volumétrico seco suelto	grs/cm ³	1.139	1.129
PROMEDIO		1.134	

Tabla 7. Peso Volumétrico Seco Suelto.

6.1.5. Determinación del peso volumétrico seco y varillado de una arena (PVSV)

Objetivo: Determinar el peso por unidad de volumen de una arena cuando el material tiene una determinada compactación.

EQUIPO:

- Una muestra de arena completamente seca.
- Un recipiente de peso y volumen conocido.
- Una varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro.
- Una balanza o báscula.

PROCEDIMIENTO:

Se procede a llenar el recipiente con arena a volteo dejándola caer a una altura aproximadamente de 5 centímetros, el llenado del recipiente debe de hacerse en tres capas dando a cada capa de arena 25 golpes con la varilla punta de bala distribuyéndolos en toda la superficie del material.

Debe cuidarse que la varilla no penetre en la capa anterior al dar los golpes. Se enrasa el recipiente con la varilla punta de bala y se limpian todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores.



Fig. 6.1.4. Determinación del Peso Volumétrico Seco Varillado

Después de haber realizado los pasos anteriores se pesa el recipiente con el material y se le resta el peso del recipiente para así obtener el peso neto del material.

Cálculos:

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

Donde:

P.V.S.S. = Peso volumétrico seco y suelto (g/ cm³).

P= Peso de la arena (g).

V= Volumen del recipiente (cm³)



Resultados:

PESO VOLUMÉTRICO SECO VARILLADO (PVSV)			
DATOS	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Peso bruto	g	15000	14900
Peso de la tara	g	2930	2930
Peso neto	g	12070	11970
Volumen de la tara	cm ³	10600	10600
Peso volumétrico seco varilla.	grs./cm ³	1.139	1.129
PROMEDIO		1.134	

Tabla 8. Peso Volumétrico Seco Varillado.

6.1.6. Análisis granulométrico de una arena

Objetivo: Pasar por una serie de mallas o tamices la muestra representativa de arena, para conocer la distribución de los diámetros de las partículas y el módulo de finura.

EQUIPO:

- Un juego de mallas con abertura rectangular o circular del N° 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola con su respectiva tapa.
- Una balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Charolas, espátulas y parrilla eléctrica.
- Cepillos de cerdas y alambre.

PROCEDIMIENTO:

1.- Se toma una muestra representativa de arena de aproximadamente 600 gramos.



2.- Se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura de no mayor de 110 °C.

3.- Cuando el material este seco y frío, se toman 500 gramos, pesados al décimo de gramo.

4.- Se colocan las mallas en orden decreciente (4, 8, 16, 30, 50, 100, 200 y charola), se coloca la muestra de 500 gramos y se tapa.

5.- Se agita el juego de mallas durante un tiempo de 10 minutos como mínimo, el agitado puede ser a mano o mecánicamente (Raf-Tap).

6.- En una superficie horizontal y limpia se colocan siete hojas de papel y sobre ellas se coloca el material retenido en cada una de las mallas, para lo cual se invertirá la malla con todo cuidado limpiando con cepillo de alambre las mallas 4, 8, 16 y 30 para desalojar el material que se encuentra entre los espacios de la malla, las mallas 50 y 100 se limpiarán con cepillos de cerdas.

7.- Se procede a pesar cada uno de los materiales retenidos en las mallas hasta el décimo de gramo anotando los pesos en el registro correspondiente.

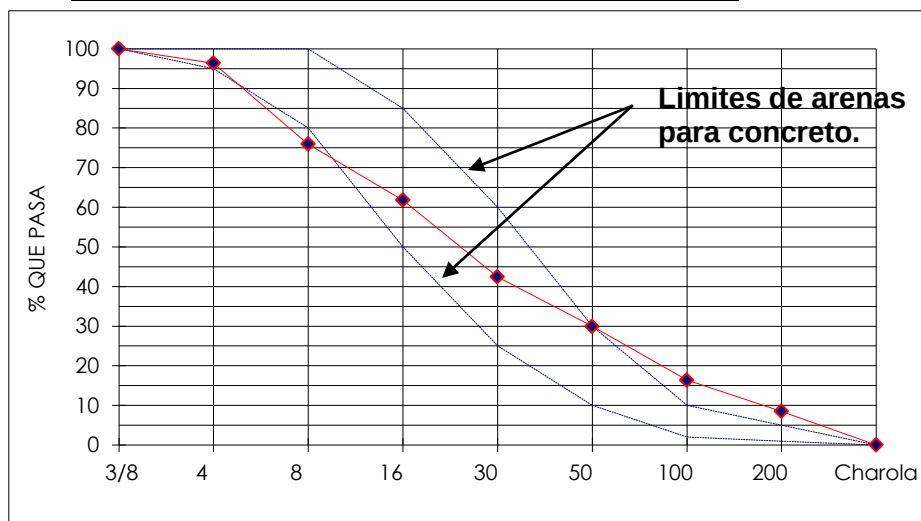


Fig. 6.1.5. Material retenido en cada una de las mallas.



RESULTADOS: Tabla 9. Resultados del análisis granulométrico.

No malla (1)	Retenido (g) (2)	% Ret. (3)	% Acum. (4)	% Pasa (5)
3/8	0.0	0.0	0.0	100.0
4	18.2	3.6	3.6	96.4
8	102.2	20.4	24.1	75.9
16	70.6	14.1	38.2	61.8
30	97.0	19.4	57.6	42.4
50	62.3	12.5	70.1	29.9
100	67.8	13.6	83.6	16.38
200	39.5	7.9	91.5	8.48
Charola	42.4	8.5	100.0	0.00
Suma	500.0	100		
Módulo de finura (esp. de 2.3 a 3.1)			2.77	



1.- Se anotan los pesos retenidos en las respectivas mallas en la columna dos

2.- El % retenido de la columna tres se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{retenido malla} = (\text{peso retenido} / \text{suma del peso retenido}) * 100$$

3.- El porcentaje acumulativo se calcula a partir de los datos de la columna tres



$\% \text{acumulativo malla} = \% \text{retenido en malla} + \% \text{acumulativo malla anterior}$

4.- El porcentaje que pasa se calcula de la siguiente manera:

$\% \text{ que pasa la malla} = 100 - \% \text{ acumulativo malla}$

5.- Módulo de finura

M.F.= Suma del porciento acumulativo de todas las mallas sin incluir charola/100

RECOMENDACIONES Y ESPECIFICACIONES.

Para fin de calidad se recomienda que el módulo de finura este entre 2.5 y 3.0, puede quedar entre 2.3 y 3.1.

Tabla 10.Especificaciones de granulometría según Bureau Of Reclamation ASTM.

MALLA	%QUE PASA
3/8	100
4	95 – 100
8	80 – 100
16	50 – 85
30	25 – 60
50	10 – 30
100	2 – 10
200	1 – 5
Charola	0 – 0

El porciento referido de dos mallas sucesivas no debe de ser mayor a 45 %



6.1.7. Prueba de colorimetría de una arena

Objetivo: Determinar el contenido de materia orgánica en una arena, en forma comparativa, utilizando una solución de color normal.

EQUIPO:

- Dos botellas iguales de vidrio incoloro de 250 a 350 cm³ con marcas a cada 25 cm³ (frasco de biberón).
- Charolas, parrilla de secado, espátulas, balanza, vasos de precipitado.
- Material para las soluciones y vidrio de color normal.
- Solución de sosa cáustica 30 gramos por litro de solución normal en agua destilada.
- Después de 24 horas se compararán los colores.

PROCEDIMIENTO:

- 1.- Se toma una muestra representativa de arena de 500 gramos aproximadamente.
- 2.- Se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor a 110 °C.
- 3.- Se coloca la arena seca y fría en una botella (frasco de biberón) hasta 133 cm³ adicionándole solución de sosa cáustica hasta los 206 cm³.
- 4.- Se tapa la botella y se agita fuertemente dos minutos como mínimo posteriormente se dejará reposar 24 horas.

5.- Al cabo de este tiempo se comparará el color del líquido de la botella con el vidrio de color normal.

RESULTADOS:

Al comparar el resultado de la imagen con la tabla colorimétrica da un dos el cual es aceptable. Ya que el color límite es el numero tres de la tabla



Fig. 6.1.6. Comparación con la tabla colorimétrica.

6.1.8. Material que pasa por la malla N° 200 de una arena

Objetivo: Determinar la cantidad de materia fina que contiene una arena, cribándola por la malla N° 200.

EQUIPO:

- Malla N° 200 y 16.
- Charola de dimensiones adecuadas para contener el material con agua.
- Espátula y parrilla eléctrica.
- Una balanza o báscula con aproximación al décimo de gramo.



PROCEDIMIENTO:

- 1.- Se toma una muestra representativa de 600 gramos, se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor de 110 °C.
- 2.- La muestra seca se coloca en el recipiente y se pesa, previamente se pesará el recipiente vacío.
- 3.- Al material en el recipiente se le agrega agua hasta cubrir la muestra.
- 4.- Agítase enérgicamente la muestra con agua y viértase inmediatamente sobre el juego de mallas (la N° 16 arriba y la N° 200 abajo).
- 5.- Una vez puesto el material en el juego de mallas se le sigue agregando agua y agitando hasta que el agua salga completamente clara.
- 6.- Se regresa el material retenido en las mallas por medio del lavado.
- 7.- Se seca el material hasta peso constante, se deja enfriar y se pesa.

Cálculos:

$$A = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

A= Porcentaje de material que pasa la malla N° 200.

Pi= Peso seco inicial (gr).

Pf= Peso seco después de lavar (gr).

RESULTADOS:

MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA N°200			
DATOS	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Peso inicial (Pi)	grs	600	600
Peso final (Pf)	grs	543.5	546.3
% Arena (%A)	%	9.417	8.950
PROMEDIO		9.183	

Tabla 11. Material que pasa por la malla n°200

6.2. Pruebas en gravas

6.2.1. Cuarteo en gravas

Objetivo: Obtener una muestra representativa y del tamaño adecuado, para la prueba de que se trate, de la muestra obtenida en el campo.

EQUIPO:

- Charolas grandes de lámina.
- Cucharones.
- Palas.

PROCEDIMIENTO:

Existen 3 procedimientos usuales para efectuar el cuarteo de las muestras, el método utilizado fue por medio del procedimiento por cuarteo con palas igual que el realizado en arenas.



Fig. 6.1.7. Cuarteo en gravas.



6.2.2. Humedad de absorción en gravas

Objetivo: Determinar la capacidad máxima de absorción de una grava expresándola en porcentaje respecto a su peso seco.

EQUIPO:

- Muestra de grava de aproximadamente un kilogramo.
- Franela, espátula, vidrio.
- Charolas metálicas y parrilla eléctrica.
- Mallas 3/4 y 3/8.
- Una balanza o báscula con aproximación al décimo de gramo.

PROCEDIMIENTO:

1.- De la muestra que se trae de campo se criba a través de las mallas 3/4 y 3/8 y del material que pasa las mallas 3/4 y se retiene en 3/8 se pone a saturar en una charola una muestra de 0.5 a 1.0 kilogramo durante 24 horas.

2.- Enseguida con una franela se seca la muestra superficialmente de la grava de aproximadamente 300 gramos anotando este valor como (Ph) peso saturado y superficialmente seco.

3.- Se procede a colocar este material en una charola para secarlo en la parrilla eléctrica, para saber cuándo se ha eliminado completamente la humedad se coloca el vidrio sobre el material y si no empaña o se forman gotas de agua se retira, se deja enfriar un poco y se procede a pesarlo registrando este peso como (Ps) peso seco del material.



Cálculos:

$$\%H. \text{ ABSORCIÓN} = \frac{Ph-Ps}{Ps} * 100$$

Donde:

Ph= Peso saturado y superficialmente seco de la grava (g).

Ps= Peso seco de la grava (g).

RESULTADOS:

HUMEDAD DE ABSORCION.			
DATOS	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Peso húmedo (Ph)	g	310	332.9
Peso seco (Ps)	g	302.2	323.7
Agua absorbida (Ph - Ps)	g	7.8	9.2
Absorción ((Ph - Ps)/Ps)*100		2.581	2.842
PROMEDIO		2.712	

Tabla 12.Humedad de absorción.

6.2.3. Densidad en gravas

Objetivo: Determinar el volumen absoluto de las partículas de grava en peso por unidad de volumen.

EQUIPO:

- Muestra representativa de grava.
- Probeta graduada.
- Picnómetro.
- Franela y charola.



PROCEDIMIENTO:

1.- Se toma una muestra de grava saturada y superficialmente seca de 300 gramos, para obtenerlo se deja saturando la grava retenida en la malla 3/8 y que pasa la 3/4 durante 24 horas, secándola superficialmente con una franela, este peso se registra como el peso de la muestra (P).

2.- Se llena el picnómetro hasta el nivel del orificio con agua, se coloca en una superficie plana y se procede a colocar la muestra de grava dentro, recibiendo el agua desalojada con una probeta graduada. Cuando se haya terminado de colocar la grava dentro del picnómetro esperamos a que escurra el agua desalojada y tendremos en la probeta el volumen del agua que corresponde al volumen (V) de las partículas de grava.

Cálculos:

$$D = \frac{P}{V}$$

Donde:

D= Densidad en gr/cm³.

P= Peso de la grava (gr).

V= Volumen de la grava (cm³).



RESULTADOS:

DENSIDAD			
DATOS	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Peso húmedo (Ph)	g	307.5	340.3
Volumen desalojado (V)	cm ³	116	142
Densidad relativa aparente		2.651	2.396
PROMEDIO		2.524	

Tabla 13.Densidad en gravas.

6.2.4. Determinación del peso volumétrico seco y suelto en gravas (PVSS)

Objetivo: Determinar el peso por unidad de volumen de la grava cuando el acomodo de sus partículas es en forma libre o natural.

EQUIPO:

- Una muestra de grava completamente seca de aproximadamente 15 kg. Un recipiente de peso y volumen conocido, aproximadamente 10 lts.
- Cucharón, pala y rastrillo.
- Una balanza o báscula.

PROCEDIMIENTO:

1.- Se vacía grava dentro del recipiente dejándose caer a una altura medida a partir de la arista superior del recipiente de aproximadamente 5 centímetros, llenado completamente el recipiente hasta colmarlo formando un cono.



2.- Enseguida se enrasa el recipiente con la varilla y se limpia el recipiente de las partículas adheridas en las paredes exteriores procediendo a pesarlo.

3.- Al peso obtenido anteriormente se le resta el peso del recipiente para obtener el peso de la grava.

Cálculos:

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

Donde:

P.V.S.S.= Peso volumétrico seco y suelto (g/cm³).

P= Peso de la grava (g).

V= Volumen del recipiente (cm³).

RESULTADOS:

PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO (PVSS)			
DATOS	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Peso bruto	g	17700	17700
Peso de la tara	g	2930	2930
Peso neto	g	14770	14770
Volumen de la tara	cm ³ .	10600	10600
Peso volumétrico seco suelto	grs/cm ³	1.393	1.393
PROMEDIO		1.393	

Tabla 14.Peso Volumétrico Seco Suelto.

6.2.5. Determinación del peso volumétrico seco y varillado en gravas (PVSV)

Objetivo: Determinar el peso por unidad de volumen de una grava cuando el material tiene una determinada compactación.



EQUIPO:

- Una muestra de grava completamente seca de aproximadamente 15 kg.
- Un recipiente de peso y volumen conocido, aproximadamente 10 lts.
- Cucharón, pala y rastrillo.
- Una balanza o báscula.

PROCEDIMIENTO:

1.- Se procede a llenar el recipiente con grava a volteo dejándola caer a una altura aproximadamente de 5 centímetros, el llenado del recipiente debe de hacerse en tres capas dando a cada capa de grava 25 golpes con la varilla punta de bala distribuyéndolos en toda la superficie del material.

2.- Debe cuidarse que la varilla no penetre en la capa anterior al dar los golpes. Se enrasa el recipiente con la varilla punta de bala y se limpian todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores.

3.- Después de haber realizado los pasos anteriores se pesa el recipiente con el material y se le resta el peso del recipiente para así obtener el peso neto del material.

Cálculos:

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



Donde:

P.V.S.V.= Peso volumétrico seco y varillado (g/cm^3).

P= Peso de la grava (g).

V= Volumen del recipiente (cm^3).

Resultados:

PESO VOLUMETRICO SECO VARILLADO (PVSU)			
DATOS	UNIDAD	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Peso bruto	g	18900	19000
Peso de la tara	g	2930	2930
Peso neto	g	15970	16070
Volumen de la tara	cm^3	10600	10600
Peso volumétrico seco varilla.	grs/cm^3	1.507	1.516
PROMEDIO		1.511	

Tabla 15. Peso Volumétrico Seco y Varillado.

6.2.6. Análisis granulométrico en gravas

Objetivo: Obtener la distribución de los tamaños de las partículas de la grava así, como el tamaño máximo (T.M.) de la grava, valor que se utiliza para el cálculo del proporcionamiento.

EQUIPO:

- Muestra de grava en estado suelto.
- Juego de mallas: 1", 3/4", 1/2", 3/8", y N°4.
- Juego de charolas para recibir el material
- Báscula
- Recipiente de 10 l.



PROCEDIMIENTO:

1.- Se seca previamente la muestra de grava, enseguida se llena el recipiente de 10 l. Previamente destarado, la grava que se utilizo para llenar el recipiente se pesa y este peso se registra como peso de la muestra a realizarse el cribado o granulometría.

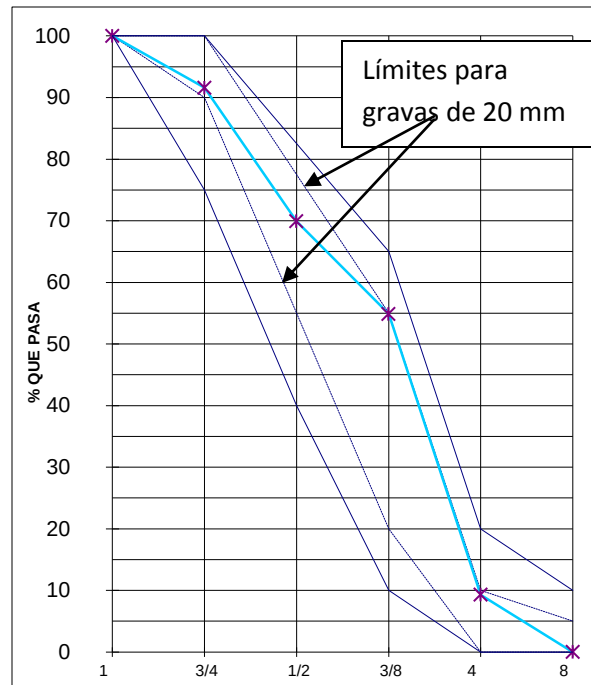
2.- Enseguida se pasa la grava a través de las mallas colocándolas de la mayor a la menor, agitándolas con la mano para que las partículas de menor tamaño pasen a la malla siguiente, cuando se haya terminado con la muestra de grava se elabora una tabla como a continuación se indica, registrando los pesos retenidos en cada una de las mallas correspondientes.

REGISTRO:

Tabla 16. Analisis granulométrico en gravas.

1	2	3	4	5
N° malla	Retenido (g)	% Retenido	% Acumulado	% pasa
1"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	950.00	8.41	8.41	91.59
1/2"	2450.00	21.68	30.09	69.91
3/8"	1700.00	15.04	45.13	54.87
No.4	5150.00	45.58	90.71	9.29
PASA N4	1050.00	9.29	100.00	0.00
Total	11300			

Tamaño Máximo=	3/4"
-------------------	------



- ✓ Al realizar la suma de los pesos parciales retenidos debe de ser igual al peso inicial, teniendo una tolerancia de +/- 1% del peso de la muestra.

El porcentaje retenido se calcula con:

- ✓ $\% \text{retenido} = (\text{peso retenido en la malla} / \text{peso de la muestra}) \times 100$

El porcentaje acumulativo se calcula de la siguiente manera:

- ✓ $\% \text{acumulativo en malla} = \% \text{acum I-I} + \% \text{retenido malla}$

El porcentaje de la malla que pasa:

- ✓ $\% \text{ que pasa} = 100 - \% \text{acumulativo de la malla.}$

El tamaño máximo de la grava se obtiene observando la columna de los % retenidos y el tamaño máximo será el tamaño de la malla que retenga el 5% o más del peso de la muestra.



6.3. Pruebas en cementos

6.3.1. Consistencia Normal del cemento

Objetivo: Obtener la cantidad de agua necesaria para combinarla con un determinado peso de cemento para que sirva como referencia para efectuar las pruebas de sanidad del cemento, resistencia a la tensión y determinación de los tiempos de fraguado.

EQUIPO:

- Muestra representativa de cemento. Agua destilada o limpia.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Aparato de Vicatt.
- Cristal liso.

CONSISTENCIA NORMAL:

Es la cantidad de agua necesaria para que la aguja de 1 cm de diámetro del aparato de Vicatt, penetre dentro de la pasta de cemento elaborada con dicha agua, 10 mm $\pm$ 1mm bajo la superficie libre, durante 30 segundos después de haber iniciado la prueba.

PROCEDIMIENTO:

1.- Se pesan 500 g de cemento y se vierten sobre una mesa con superficie lisa e impermeable y se forma una especie de cráter con el cemento ayudados con una pequeña espátula.



2.- se fija una cantidad de agua expresada en porciento. Respecto al peso del cemento seco, se mide en la probeta graduada y se vierte en el centro del cráter (echando a andar un cronómetro al caer el agua sobre el cemento).

3.- Con la espátula se lleva el material de las orillas del cráter hacia el centro hasta lograr que todo el cemento se humedezca. (Esto debe de hacerse en un máximo de 30 segundos).

4.- En otro ciclo de 30 segundos consecuentes a los anteriores se deja reposar la mezcla para que la humedad se homogenice.

5.- Se hace el amasado de la pasta en un tiempo global de 1.5 minutos contados a partir de los anteriores.

a).- En los primeros 30 s. Se mezcla perfectamente la masa con las manos, golpeando la mezcla, con la parte pesada de las manos hasta lograr una pasta uniforme y homogénea.

b).- En otros 30 s se forma una esfera con la pasta y se pasa de una palma a otra a una distancia de aproximadamente de 15 cm, este ciclo de pasar de una mano a otra se debe de repetir 6 veces terminado lo anterior.

c).- En los últimos 30 s de los 1.5 min, descansamos la bola en la palma de la mano, se introducirá a presión por la boca mayor del anillo cónico del aparato de Vicatt, el cual se sostendrá con la otra mano llenando completamente el anillo con pasta (la otra boca se descansará sobre un cristal).



El exceso de esta que permanezca en la boca grande se removerá con un movimiento simple de la palma de la mano. A continuación se colocará el anillo descansando en su base mayor, sobre una placa de vidrio y se enrasa la boca superior con una espátula, debe tenerse cuidado de comprimir la pasta.

6.- Determinación de la consistencia. La pasta confinada en el anillo que descansa sobre una placa, debe de centrarse debajo de la barra, cuyo extremo que forma un embolo se pondrán en contacto con la superficie de la pasta y se apretará el tornillo sujetador después se colocará el indicador móvil en la marca cero en la parte superior de la escala o se hará una lectura inicial.

6.3.2. Tiempo de fraguado del cemento

Objetivo: Determinar el tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico mediante las agujas de Gillmore.

EQUIPO:

- Aparato de Gillmore.
- Balanza.
- Probetas graduadas.

PREPARACIÓN DE LA PASTA DE CEMENTO:

Siguiendo el procedimiento descrito en la preparación de mezcla para la consistencia normal mezcle 500 gramos del cemento con el agua necesaria para su consistencia normal.



MOLDEADO DEL ESPÉCIMEN:

Con la pasta de cemento preparada y sobre una placa de vidrio cuadrada, plana y limpia de aproximadamente 4" por lado, hágase una pastilla de poco más o menos 7.5 cm de diámetro y 1.3 cm de espesor en la parte central, disminuyendo hacia los bordes. Para moldearla aplánese primero la pasta de cemento sobre el vidrio y forme después moviendo la cuchara desde los bordes hacia el centro, aplanando a continuación la parte central superior, se coloca la pastilla en el cuarto húmedo y se deja ahí, salvo cuando vaya efectuarse determinaciones del tiempo de fraguado.

DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE FRAGUADO:

Al determinar el tiempo de fraguado manténgase las agujas en posición vertical y póngase en contacto ligeramente con la superficie de la pastilla, considere que el cemento ha alcanzado su fraguado inicial cuando soporte a las agujas de Giilmore inicial (la menos pesada), sin que marque huellas apreciables. Se considera que el cemento ha alcanzado su fraguado final cuando soporte la aguja de Giilmore final (la más pesada), sin que marque huella apreciable.



7. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

A continuación se presenta la experimentación llevada a cabo para realizar cilindros y vigas de concreto hidráulico utilizando Cemento Pórtland CPC 40, de tres diferentes marcas comerciales (Holcim-Apasco, Cruz Azul y Moctezuma), para posteriormente probar los especímenes a compresión simple y flexión en diferentes edades de acuerdo a la norma NMX-C-083-2002-ONNCCE para los cilindros y la norma NMX-C-191-2004-ONNCCE para vigas.

7.1.- Diseño de la Mezcla por el Método de las Curvas de Abrams

Con el siguiente ejemplo se ilustra el procedimiento para calcular las cantidades de materiales para la mezcla:

1.- Primero se realiza el estudio de los materiales.

MATERIAL	P.V.S.S	P.V.S.V.	DENSIDAD	ABSORCION	M.F.	T.Max
Arena	1134	1271	2.17	4.239	2.77	
Grava	1393	1511	2.52	2.7115		$\frac{3}{4}$ "
Cemento	1490		3.10			

La tabla depende de los datos obtenidos en el lab. (No siempre son los mismos) solo los marcados

Tabla 18. Datos de los materiales estudiados.

Datos de proyecto: $F'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$

Revenimiento = 10.0 cm

2.- Se determina mediante el nomograma N°. 1, la relación (agua/cemento) en peso entrando con el F'_c de proyecto.

Rel. A/C peso = 0.41

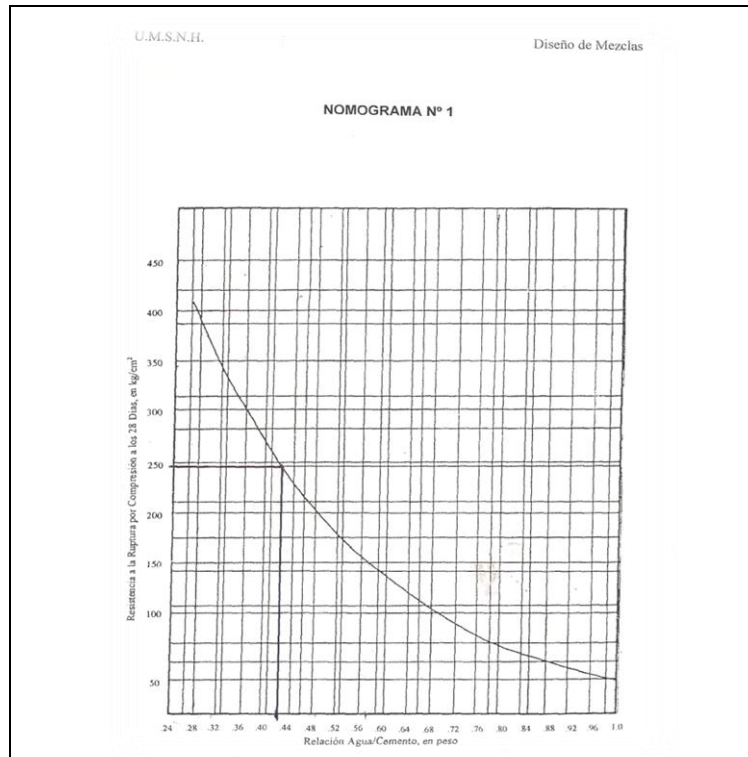


Fig. 7.1. Nomograma n°1 para determinar la relación Agua/Cemento

3.- Se determina mediante el nomograma N°. 2, la relación (grava/arena) en peso entrando con el modulo de finura y el tamaño máximo de la grava.

Rel. G/A peso = 1.38

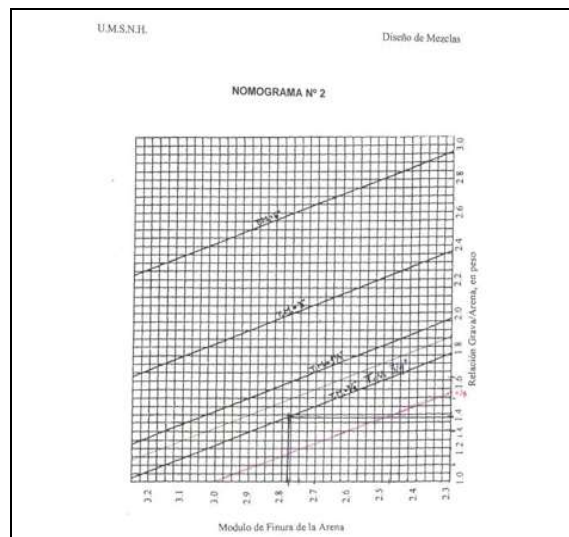


Fig. 7.2. Nomograma n°2 para determinar la relación Grava/Arena



4.- Determinación mediante el nomograma N°. 3 el contenido de agua por metro cúbico (m³) de concreto, entrando con la relación grava arena en peso obtenida y tamaño máximo de la grava.

Agua Lts/m³ = 187

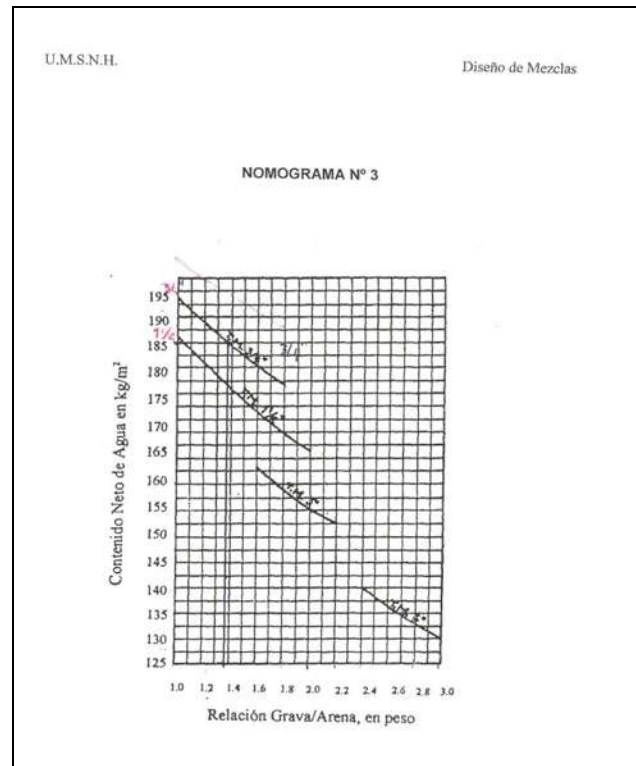


Fig. 7.3. Nomograma n°3 para determinar el contenido neto de agua por m3

5.- Determinación de las relaciones A/C y G/A en volumen, utilizando para esto, las densidades de los materiales.

$$Rel. \frac{A}{C} (volumen) = \frac{Rel. \frac{A}{C} \text{ peso} * \text{densidad cemento}}{\text{densidad del agua}} = \frac{0.41 * 3.1}{1.0} = 1.271$$

$$Rel. \frac{G}{A} (volumen) = \frac{Rel. \frac{G}{A} \text{ peso} * \text{densidad Arena}}{\text{densidad de la Grava}} = \frac{1.380 * 2.17}{2.52} = 1.184$$



6.- Determinación del contenido neto de cemento por m³ de concreto en peso.

$$\text{Cemento en peso} = \frac{\text{litros de agua}}{\text{relacion}_{\frac{A}{C}} \text{ en peso}} = \frac{187}{0.41} = 456.098 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cemento(volumen)} = \frac{\text{Cemento en peso}}{\text{densidad del cemento}} = \frac{456.098}{3.1} = 147.128$$

7.- Se determina el volumen de la lechada de cemento.

L.C. = Agua + Cemento en volumen.

$$\text{L.C.} = 187 + 147.128 = 334.128 \text{ lts/m}^3.$$

8.- Determinación del volumen de agregados.

Volumen de agregados = 1000 - Lechada de cemento.

$$\text{Vol. de agregados} = 1000 - 334.128 = 665.872 \text{ lts/m}^3.$$

9.- Determinación del volumen de cada uno (G y a)

$$\text{Volumen de agregados} = G + a = 665.872 \text{ lts/m}^3$$

- Relación G/a volumen = 1.184
- Despejando G
- G = 1.184a sustituyendo en Vol. de agregados

$$\text{Vol. de agregados} = 1.184a + a = \underline{2.184a} = 665.872 \text{ lts/m}^3$$

$$\text{Vol. Arena} = \frac{665.872}{2.184} = 304.900 \text{ lts/m}^3$$



Arena en peso = Arena en volumen x Densidad arena = 304.900 x 2.17
= 660.108 kg/m³.

Grava en volumen = Vol. Agreg. - Vol. Arena = 665.872 – 304.900 =
360.972 lts/m³.

Grava en peso = Grava en volumen x Densidad grava = 360.972 x 2.52
= 910.949 kg/m³.

CANTIDADES POR m ³		
Materiales	Volumen (l/m ³)	Peso (kg/m ³)
Cemento	147.128	456.098
Arena	304.900	660.108
Grava	360.972	910.949
Agua	187	187.000
Total	1000.000	2214.154

Tabla 19. Cantidades por m3.

Materiales necesarios para un saco de cemento.

	2	1	3	4	5	6
MATERIAL	PESO/SACO (kg)	REL.EN PESO	VOL/SACO (l)	REL. VOL.	VOL. ABS.(l)	PESO TOTAL (kg/m ³)
Cemento	1 * 50	456.10 / 456.10	(50 / 1490)*1000	33.56 / 33.56	50 / 3.10	456.098
Arena	1.45 * 50	660.11 / 456.10	(72.36 / 1134)*1000	63.82 / 33.56	72.36 / 2.17	660.108
Grava	2 * 50	910.95 / 456.10	(99.86 / 1393)*1000	71.67 / 33.56	99.86 / 2.52	910.949
Agua	0.41 * 50	187 / 456.10	(20.50 / 1000)*1000		20.50 / 1	187.000

	2	1	3	4	5	6
MATERIAL	PESO/SACO (kg)	REL.EN PESO	VOL/SACO (l)	REL. VOL.	VOL. ABS.(l)	PESO TOTAL (kg/m ³)
Cemento	50.00	1.00	33.56	1.00	16.13	456.10
Arena	72.36	1.45	63.82	1.90	33.42	660.11
Grava	99.86	2.00	71.67	2.14	39.57	910.95
Agua	20.50	0.41	20.50		20.50	187.00
Sumas	242.728		189.550		109.626	2214.154

Tabla 20. Materiales necesarios para un saco de cemento.



Columna No. 1.- Se determina al dividir las porciones de los materiales en peso de la tabla 18 entre el peso del cemento.

Columna No. 2.- Se determina al multiplicar las cantidades de la columna No. 1 por 50 kg que es el peso de un saco de cemento.

Columna No. 3.- Se determina dividiendo el peso de los materiales de la Columna No. 2 entre el peso volumétrico seco suelto correspondiente y multiplicado por 1000.

Columna No. 4.- Se determina dividiendo los volúmenes de la columna No. 3 entre 33.56 litros que es el volumen del cemento, correspondiente a un saco de cemento de 50 kg.

Columna No. 5.- Se determina dividiendo las cantidades de los materiales indicados en la Columna No. 2 entre su densidad correspondiente.

Para determinar las cantidades de los materiales únicamente se multiplica la columna seis por el volumen total de los cilindros, en este caso se colaron 35 cilindros de cada tipo de cemento comercial; y se hace la corrección por absorción de los materiales pétreos.

A continuación se muestran las tablas de las cantidades de material utilizado para cada tipo de cemento, así como su corrección por absorción.



Cantidades para 35 cilindros de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura.

APASCO CPC 40		
MATERIALES	CANTIDADES Kg	CANTIDADES CORREGIDAS Kg
CEMENTO	27.583	27.583
ARENA	39.921	38.228
GRAVA	55.090	53.597
AGUA	11.309	14.495
TOTAL	133.903	133.903

Tabla 21. Materiales necesarios para 35 cilindros con cemento Apasco CPC 40.

CRUZ AZUL CPC 40		
MATERIALES	CANTIDADES Kg	CANTIDADES CORREGIDAS Kg
CEMENTO	27.583	27.583
ARENA	39.921	38.228
GRAVA	55.090	53.597
AGUA	11.309	14.495
TOTAL	133.903	133.903

Tabla 22. Materiales necesarios para 35 cilindros con cemento Cruz Azul CPC 40.

MOCTEZUMA CPC 40		
MATERIALES	CANTIDADES Kg	CANTIDADES CORREGIDAS Kg
CEMENTO	27.583	27.583
ARENA	39.921	38.228
GRAVA	55.090	53.597
AGUA	11.309	14.495
TOTAL	133.903	133.903

Tabla 23. Materiales necesarios para 35 cilindros con cemento Moctezuma CPC 40.



Cantidades para 10 vigas de 15 cm x 15cm x 60cm.

APASCO CPC 40		
MATERIALES	CANTIDADES Kg	CANTIDADES CORREGIDAS Kg
CEMENTO	67.730	67.730
ARENA	98.026	93.871
GRAVA	135.276	131.608
AGUA	27.770	35.593
TOTAL	328.802	328.802

Tabla 24. Materiales necesarios para 10 vigas con cemento Apasco CPC 40.

CRUZ AZUL CPC 40		
MATERIALES	CANTIDADES Kg	CANTIDADES CORREGIDAS Kg
CEMENTO	67.730	67.730
ARENA	98.026	93.871
GRAVA	135.276	131.608
AGUA	27.770	35.593
TOTAL	328.802	328.802

Tabla 25. Materiales necesarios para 10 vigas con cemento Cruz Azul CPC 40.

MOCTEZUMA CPC 40		
MATERIALES	CANTIDADES Kg	CANTIDADES CORREGIDAS Kg
CEMENTO	67.730	67.730
ARENA	98.026	93.871
GRAVA	135.276	131.608
AGUA	27.770	35.593
TOTAL	328.802	328.802

Tabla 26. Materiales necesarios para 10 vigas con cemento Moctezuma CPC 40.

7.2. Colado de cilindros y vigas

Se realizaron 35 cilindros y 10 vigas por marca de cemento Pórtland, para probar posteriormente a los 3, 7, 14 y 28 días. Las dimensiones de los especímenes y el proceso de fabricación es el siguiente.

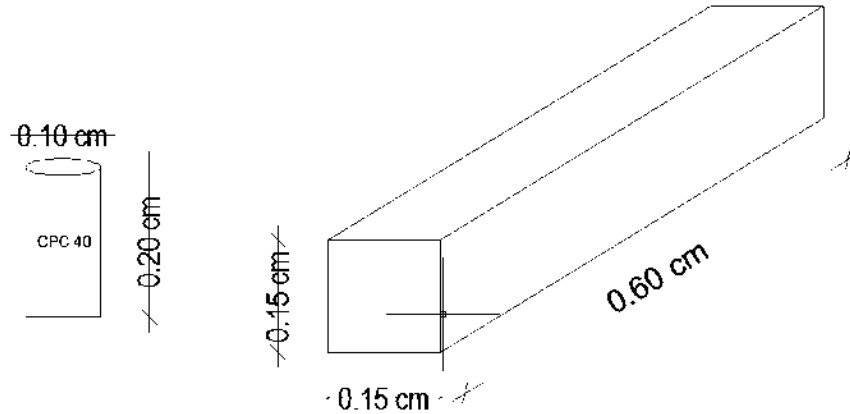


Fig. 7.4. Dimensiones de los especímenes.



Fig. 7.5. Concreto hidráulico elaborado en olla revolvedora.

Una vez elaborado el concreto hidráulico se procedía a realizar la prueba de revenimiento.



Fig. 7.6. Revenimiento obtenido con el cemento Moctezuma

REVENIMIENTOS EN CILINDROS	
CEMENTO	REVENIMIENTO (cm)
APASCO	16
CRUZ AZUL	12
MOCTEZUMA	9.5

Tabla 27. Revenimientos obtenidos con los diferentes tipos de cemento en cilindros.

REVENIMIENTOS EN VIGAS	
CEMENTO	REVENIMIENTO (cm)
APASCO	16.5
CRUZ AZUL	12
MOCTEZUMA	10

Tabla 28. Revenimientos obtenidos con los diferentes tipos de cemento en vigas.



Fig. 7.7. Una vez colados se descimbraban después de 24 horas.



Fig. 7.8. Curado de cilindros y vigas.

7.3. Prueba de compresión y flexión en los especímenes

7.3.1. Determinación de la resistencia a compresión en cilindros de concreto

CILINDROS DE CONCRETO

La norma NMX-C-083-ONNCCE, establece los métodos de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto. Antes del ensaye, las bases de los especímenes o caras de aplicación de carga no se deben apartar de la perpendicular al eje y no se permiten irregularidades respecto de un plano, en caso contrario deben ser cabeceados de acuerdo a lo indicado en la norma NMX-C-109-ONNCCE.

Se limpian las superficies de las placas superior e inferior y las cabezas del espécimen de prueba, se coloca este último sobre la placa inferior alineando su eje cuidadosamente con el centro de la placa de carga con asiento esférico; mientras la placa superior se baja hacia el espécimen asegurándose que se tenga un contacto suave y uniforme.



Se debe aplicar la carga con una velocidad uniforme y continua sin producir impacto, ni pérdida de carga. La velocidad de carga debe estar dentro del intervalo de $84 \text{ kgf/cm}^2/\text{min}$ a $210 \text{ kgf/cm}^2/\text{min}$. Se aplica la carga hasta que aparezca la falla de ruptura.

Se calcula la resistencia a la compresión del espécimen, dividiendo la carga máxima soportada durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal determinada con el diámetro medio [9].



Fig. 7.9. Se registraba la carga para cada uno de los especímenes y se controlaba la velocidad de carga.



Fig. 7.10. La placa con la que se aplica la carga es de cara esférica como indica la norma.



Fig. 7.11. Apreciación de la falla en el cemento más no en el agregado.



A continuación se muestra un resumen de las resistencias de los cilindros de concreto hidráulico elaborados por cada marca comercial de cemento.

RESISTENCIA A LOS TRES DIAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCCE (31%)					
N° MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		6600	84.03	33.61	SI CUMPLE
2		8000	101.86	40.74	SI CUMPLE
3		8300	105.68	42.27	SI CUMPLE
4		8800	112.04	44.82	SI CUMPLE
5		9100	115.86	46.35	SI CUMPLE
	Promedio=	8160	103.90	41.56	

N° MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		14100	179.53	71.81	SI CUMPLE
2		16400	208.81	83.52	SI CUMPLE
3		16550	210.72	84.29	SI CUMPLE
4		16950	215.81	86.33	SI CUMPLE
5		17350	220.91	88.36	SI CUMPLE
	Promedio=	16270	207.16	82.86	

N° MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		12450	158.52	63.41	SI CUMPLE
2		14800	188.44	75.38	SI CUMPLE
3		15200	193.53	77.41	SI CUMPLE
4		16450	209.45	83.78	SI CUMPLE
5		17200	219.00	87.60	SI CUMPLE
	Promedio=	15220	193.79	77.51	

Tabla 29. Resistencias a los tres días de edad.

Nota: Todos los cilindros probados a tres días cumplen con lo indicado en la norma; los cementos Cruz Azul y Moctezuma exceden con mucho el % de resistencia.

“Evaluación del desempeño de Concreto Hidráulico de alta resistencia, elaborado con Cementos CPC 40 de diferentes marcas comerciales”.

JUAN JESUS MACIEL MENDOZA

RESISTENCIA A LOS SIETE DIAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCCE (65%)

Nº MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		12950	164.88	65.95	SI CUMPLE
2		13100	166.79	66.72	SI CUMPLE
3		13800	175.71	70.28	SI CUMPLE
4		14400	183.35	73.34	SI CUMPLE
5		15000	190.99	76.39	SI CUMPLE
	Promedio=	13850	176.34	70.54	

Nº MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		22750	289.66	115.86	SI CUMPLE
2		23650	301.12	120.45	SI CUMPLE
3		24700	314.49	125.80	SI CUMPLE
4		24800	315.76	126.31	SI CUMPLE
5		24800	315.76	126.31	SI CUMPLE
	Promedio=	24140	307.36	122.94	

Nº MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		23350	297.30	118.92	SI CUMPLE
2		23500	299.21	119.68	SI CUMPLE
3		23800	303.03	121.21	SI CUMPLE
4		23800	303.03	121.21	SI CUMPLE
5		25900	329.77	131.91	SI CUMPLE
	Promedio=	24070	306.47	122.59	

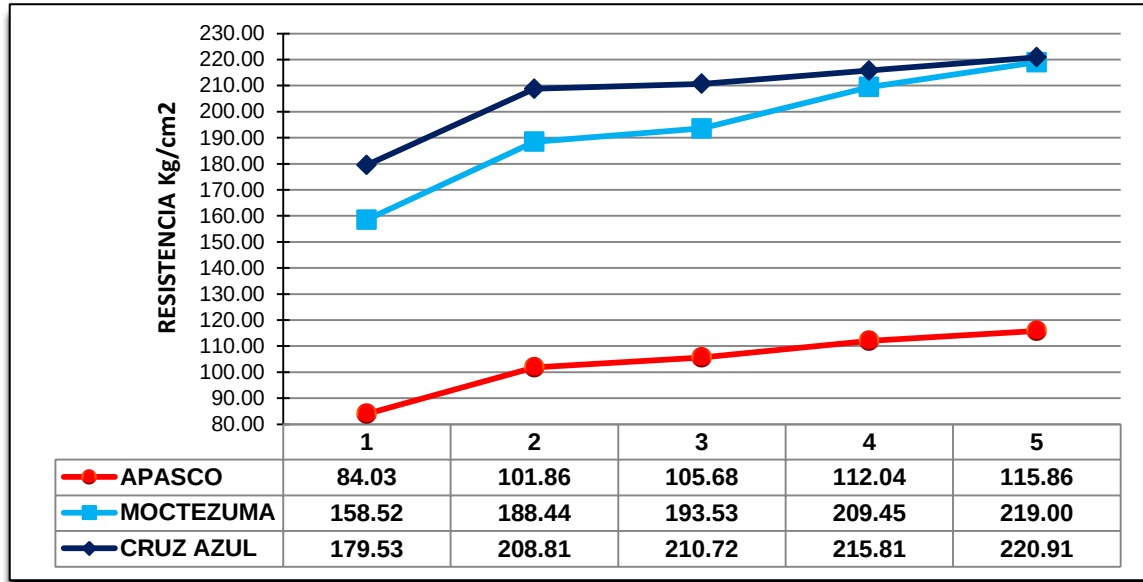
Tabla 30. Resistencias a los siete días de edad.

Nota: Todos los cilindros probados a siete días cumplen con lo indicado en la norma; los cementos Cruz Azul y Moctezuma exceden con mucho el % de resistencia.

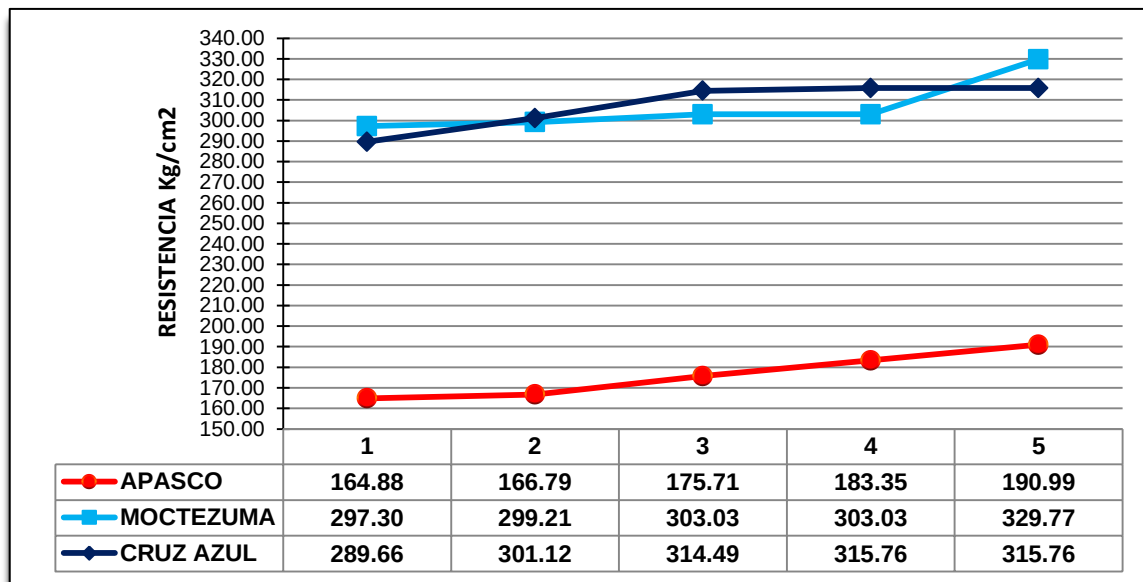


Gráficas que representan las frecuencias de las resistencias a tres y siete días:

FRECUENCIA A 3 DIAS



FRECUENCIA A 7 DIAS



RESISTENCIA A LOS CATORCE DIAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCCE (80%)

Nº MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		18125	230.77	92.31	SI CUMPLE
2		18500	235.55	94.22	SI CUMPLE
3		18750	238.73	95.49	SI CUMPLE
4		19875	253.06	101.22	SI CUMPLE
5		21125	268.97	107.59	SI CUMPLE
	Promedio=	19275	245.42	98.17	

Nº MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		26500	337.41	134.96	SI CUMPLE
2		27000	343.77	137.51	SI CUMPLE
3		27500	350.14	140.06	SI CUMPLE
4		27625	351.73	140.69	SI CUMPLE
5		28000	356.51	142.60	SI CUMPLE
	Promedio=	27325	347.91	139.16	

Nº MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		26125	332.63	133.05	SI CUMPLE
2		27375	348.55	139.42	SI CUMPLE
3		27500	350.14	140.06	SI CUMPLE
4		27750	353.32	141.33	SI CUMPLE
5		28125	358.10	143.24	SI CUMPLE
	Promedio=	27375	348.55	139.42	

Tabla 31. Resistencias a los catorce días de edad.

Nota: Todos los cilindros probados a catorce días cumplen con lo indicado en la norma; los cementos Cruz Azul y Moctezuma exceden con mucho el % de resistencia.

RESISTENCIA A LOS VEINTIUN DÍAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCCE (90%)

N° MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		21000	267.38	106.95	SI CUMPLE
2		21375	272.15	108.86	SI CUMPLE
3		21500	273.75	109.50	SI CUMPLE
4		21750	276.93	110.77	SI CUMPLE
5		21875	278.52	111.41	SI CUMPLE
	Promedio=	21500	273.75	109.50	

N° MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm²)	RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		28250	359.69	143.88	SI CUMPLE
2		28500	362.87	145.15	SI CUMPLE
3		30125	383.56	153.43	SI CUMPLE
4		30500	388.34	155.33	SI CUMPLE
5		30500	388.34	155.33	SI CUMPLE
	Promedio=	29575	376.56	150.62	

Nº MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm²)	RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		29125	370.83	148.33	SI CUMPLE
2		29250	372.42	148.97	SI CUMPLE
3		29375	374.01	149.61	SI CUMPLE
4		29500	375.60	150.24	SI CUMPLE
5		30250	385.15	154.06	SI CUMPLE
	Promedio=	29500	375.60	150.24	

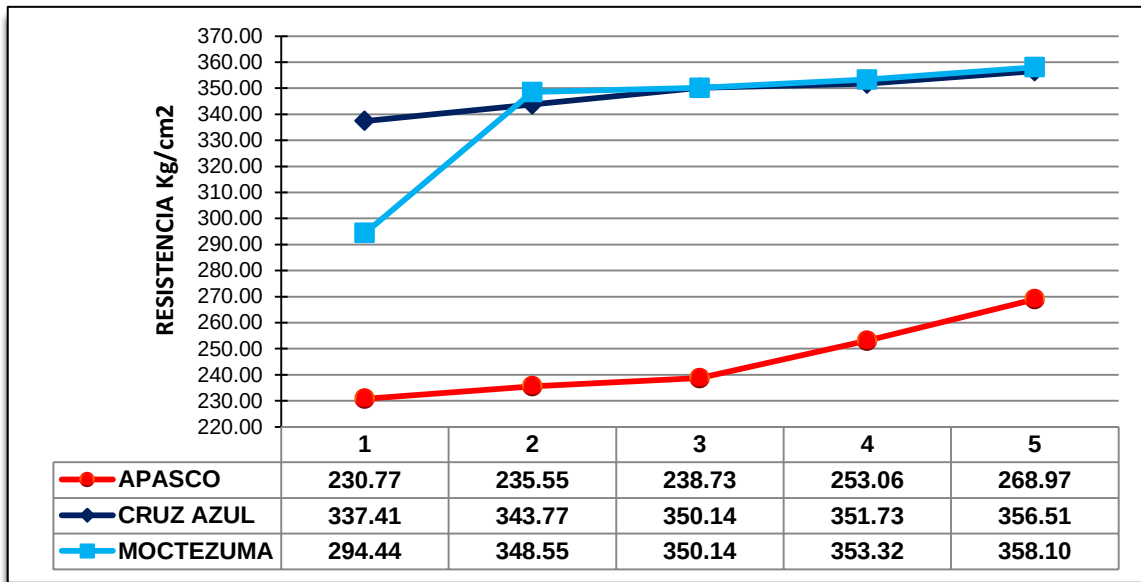
Tabla 32. Resistencias a los veintiún días de edad.

Nota: Todos los cilindros probados a veintiuno días cumplen con lo indicado en la norma; los cementos Cruz Azul y Moctezuma exceden con mucho el % de resistencia.

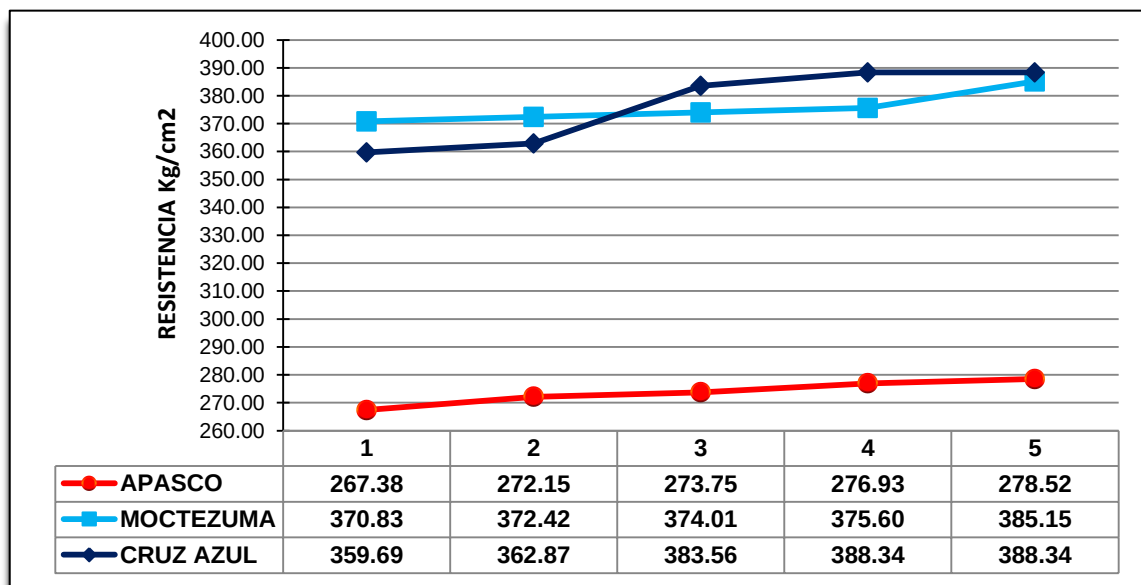


Gráficas que representan las frecuencias de las resistencias a catorce y veintiún días.

FRECUENCIA A CATORCE DIAS



FRECUENCIA A VEINTIUN DIAS



**RESISTENCIA A LOS VEINTIOCHO DÍAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-083-ONNCCE
(100%)**

N° MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	%RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		22000	280.11	112.04	SI CUMPLE
2		22500	286.48	114.59	SI CUMPLE
3		22750	289.66	115.86	SI CUMPLE
4		23750	302.39	120.96	SI CUMPLE
5		24875	316.72	126.69	SI CUMPLE
	Promedio=	23175	295.07	118.03	

N° MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	%RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		30750	391.52	156.61	SI CUMPLE
2		31500	401.07	160.43	SI CUMPLE
3		31750	404.25	161.70	SI CUMPLE
4		32500	413.80	165.52	SI CUMPLE
5		33500	426.53	170.61	SI CUMPLE
	Promedio=	32000	407.44	162.97	

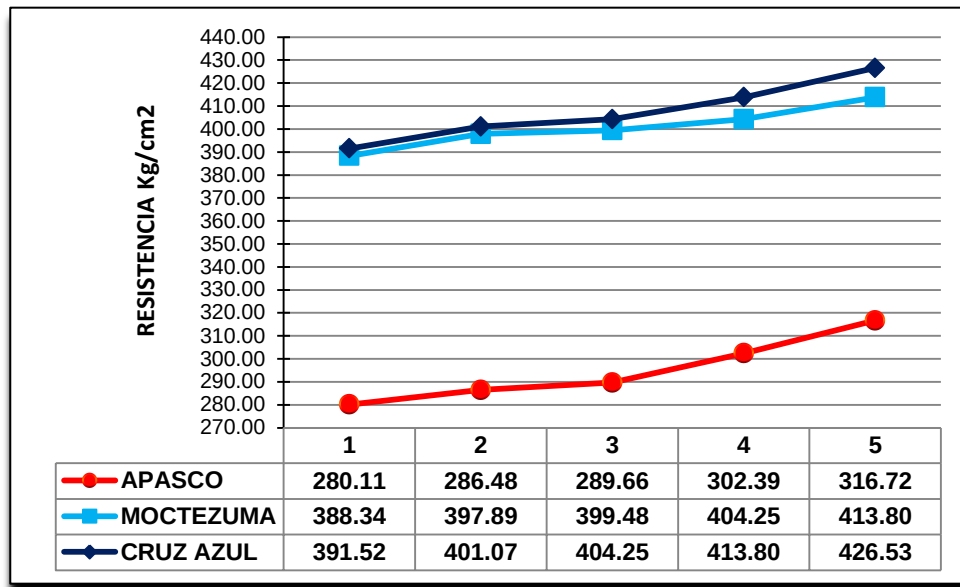
N° MUESTRA	CPC 40	CARGA (kg)	RESISTENCIA (kg/cm ²)	%RESISTENCIA (%)	OBSERVACIONES
1		30500	388.34	155.33	SI CUMPLE
2		31250	397.89	159.15	SI CUMPLE
3		31375	399.48	159.79	SI CUMPLE
4		31750	404.25	161.70	SI CUMPLE
5		32500	413.80	165.52	SI CUMPLE
	Promedio=	31475	400.75	160.30	

Tabla 33. Resistencias a los veintiocho días de edad.

Nota: Todos los cilindros probados a veintiocho días cumplen con lo indicado en la norma; todos los cementos exceden el % de resistencia.

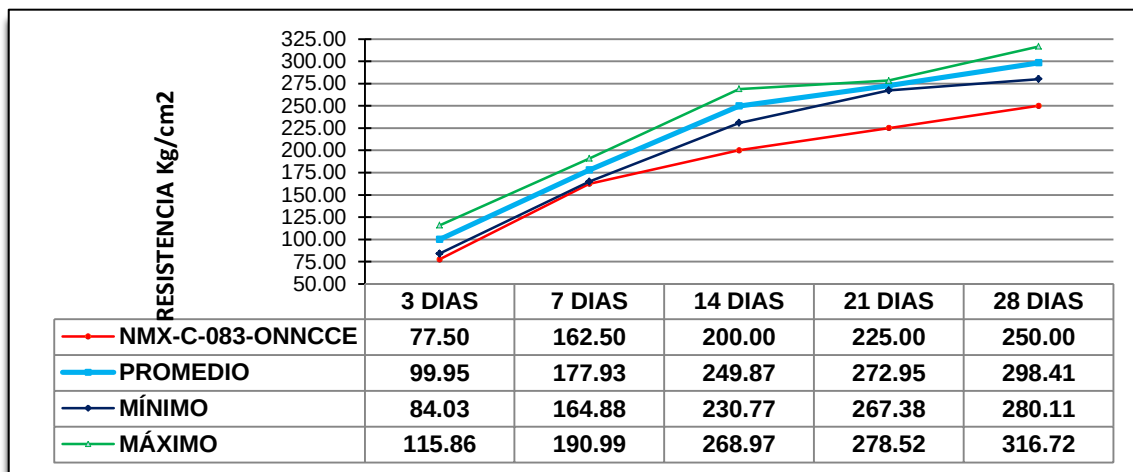


FRECUENCIA A VEINTIOCHO DIAS



A continuación se representa gráficamente la resistencia de cada marca: ilustrando en cada una de ellas los límites máximos, mínimos y promedios de la resistencia por cada día de prueba y comparado con la resistencia según la norma NMX-C-083-ONNCCE.

RESISTENCIA CEMENTO APASCO CPC 40.

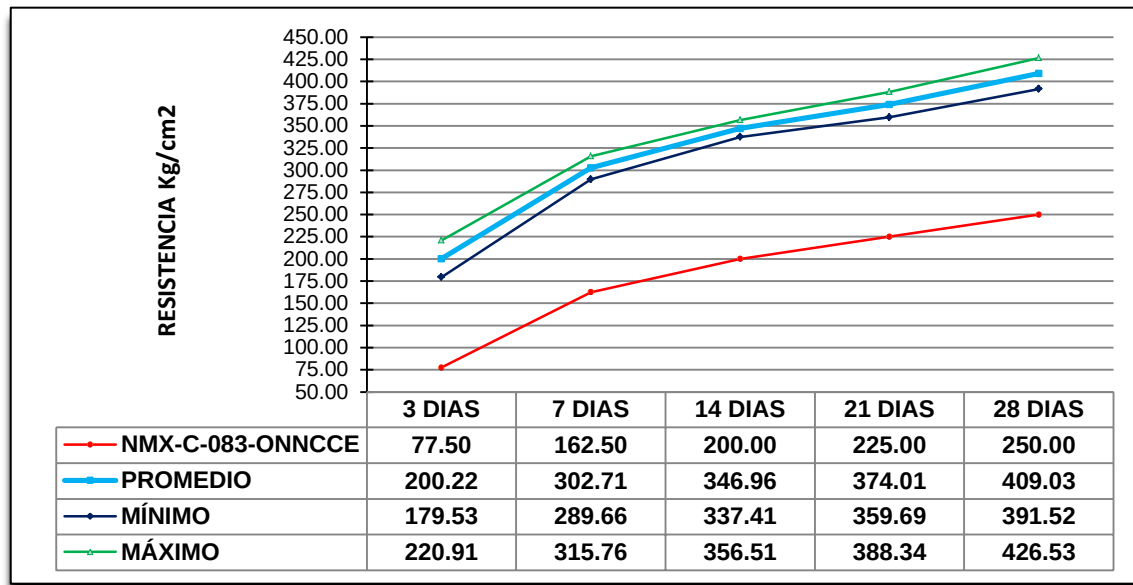


“Evaluación del desempeño de Concreto Hidráulico de alta resistencia, elaborado con Cementos CPC 40 de diferentes marcas comerciales”.

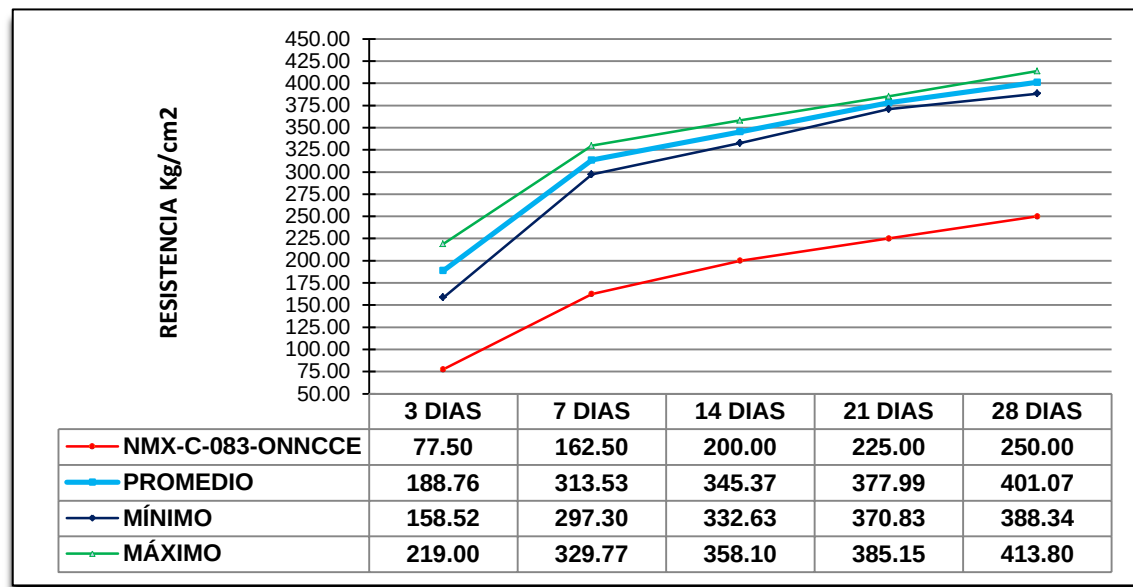
JUAN JESUS MACIEL MENDOZA



RESISTENCIA CEMENTO CRUZ AZUL CPC 40.

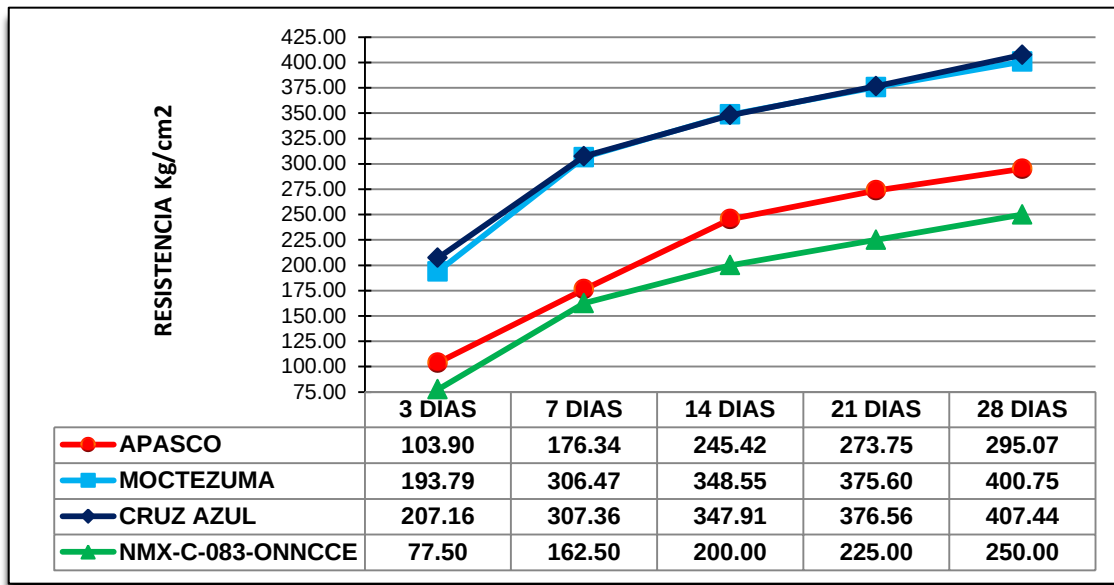


RESISTENCIA CEMENTO MOCTEZUMA CPC 40.





RESISTENCIA PROMEDIO DE LAS MARCAS DE CEMENTO.



Resumen final de promedios.

RESISTENCIA PROMEDIO					
CEMENTO	3 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	21 DIAS	28 DIAS
APASCO	103.90	176.34	245.42	273.75	295.07
MOCTEZUMA	193.79	306.47	348.55	375.60	400.75
CRUZ AZUL	207.16	307.36	347.91	376.56	407.44
NMX-C-083	77.50	162.50	200.00	225.00	250.00

Tabla 34. Resistencias promedio de las marcas comerciales de cemento.

7.3.2. Determinación de la resistencia a flexión en vigas

La norma NMX-C-091-ONNCCE, establece el método de prueba para la determinación de la resistencia a la tensión del concreto, usando una viga simple de concreto con carga en los tercios del claro.

Se debe voltear el espécimen sobre un lado con respecto a la posición del moldeado, se centra en los bloques de apoyo y estos a su vez deben estar

centrados respecto a la fuerza aplicada; los bloques de aplicación de carga se ponen en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios entre los apoyos. Se debe tener contacto total, entre la aplicación de la carga y los bloques de apoyo con la superficie del espécimen.

La carga se debe aplicar a una velocidad uniforme, tal que el aumento de esfuerzo de las fibras extremas no exceda de 980 kPa/min (10 kgf/cm² por min), permitiéndose velocidades mayores antes del 50% de la carga estimada de ruptura.

La fractura de las vigas se presenta en el tercio medio del claro (Fig. 7.12.) por lo que el módulo de ruptura se calcula de la siguiente manera:

$$R = \frac{P * L}{b * d^2}$$

R= Es el modulo de ruptura en kPa (kgf/cm²).

P= Es la carga máxima aplicada en N (kgf).

L= Es la distancia entre apoyos, en cm.

b= Es el ancho promedio del espécimen, en cm.

d= Es al peralte promedio del espécimen, en cm.



Fig. 7.12. Ruptura en el tercio medio del claro presente en todas las vigas



RESISTENCIA A LOS SIETE DIAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-091-ONNCCE (65%)

Nº MUESTRA	CPC 40	P (Kg)	L cm	b cm	d cm	MR (Kg/cm2)	OBSERVACIONES
1		3050	40.00	15.00	15.00	36.15	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
2		3300	40.00	15.00	15.00	39.11	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
3		3500	40.00	15.00	15.00	41.48	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
4		3550	40.00	15.00	15.00	42.07	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
5		3650	40.00	15.00	15.00	43.26	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
	Promedio=	3410	40.00	15.00	15.00	40.41	

Nº MUESTRA	CPC 40	P (Kg)	L cm	b cm	d cm	MR (Kg/cm2)	OBSERVACIONES
1		2900	40.00	15.00	15.00	34.37	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
2		2925	40.00	15.00	15.00	34.67	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
3		3100	40.00	15.00	15.00	36.74	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
4		3300	40.00	15.00	15.00	39.11	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
5		3500	40.00	15.00	15.00	41.48	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
	Promedio=	3145	40.00	15.00	15.00	37.27	

Nº MUESTRA	CPC 40	P (Kg)	L cm	b cm	d cm	MR (Kg/cm2)	OBSERVACIONES
1		3200	40.00	15.00	15.00	37.93	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
2		3225	40.00	15.00	15.00	38.22	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
3		3400	40.00	15.00	15.00	40.30	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
4		3725	40.00	15.00	15.00	44.15	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
5		3800	40.00	15.00	15.00	45.04	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
	Promedio=	3470	40.00	15.00	15.00	41.13	



**RESISTENCIA A LOS VEINTIOCHO DIAS SEGÚN LA NORMA NMX-C-091-ONNCCE
(100%)**

Nº MUESTRA	CPC 40	P (Kg)	L cm	b cm	d cm	MR (Kg/cm2)	OBSERVACIONES
1		3750	40.00	15.00	15.00	44.44	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
2		3850	40.00	15.00	15.00	45.63	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
3		3900	40.00	15.00	15.00	46.22	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
4		4025	40.00	15.00	15.00	47.70	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
5		4200	40.00	15.00	15.00	49.78	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
	Promedio=	3945	40.00	15.00	15.00	46.76	

Nº MUESTRA	CPC 40	P (Kg)	L cm	b cm	d cm	MR (Kg/cm2)	OBSERVACIONES
1		3600	40.00	15.00	15.00	42.67	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
2		3625	40.00	15.00	15.00	42.96	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
3		3750	40.00	15.00	15.00	44.44	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
4		3800	40.00	15.00	15.00	45.04	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
5		4125	40.00	15.00	15.00	48.89	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
	Promedio=	3780	40.00	15.00	15.00	44.80	

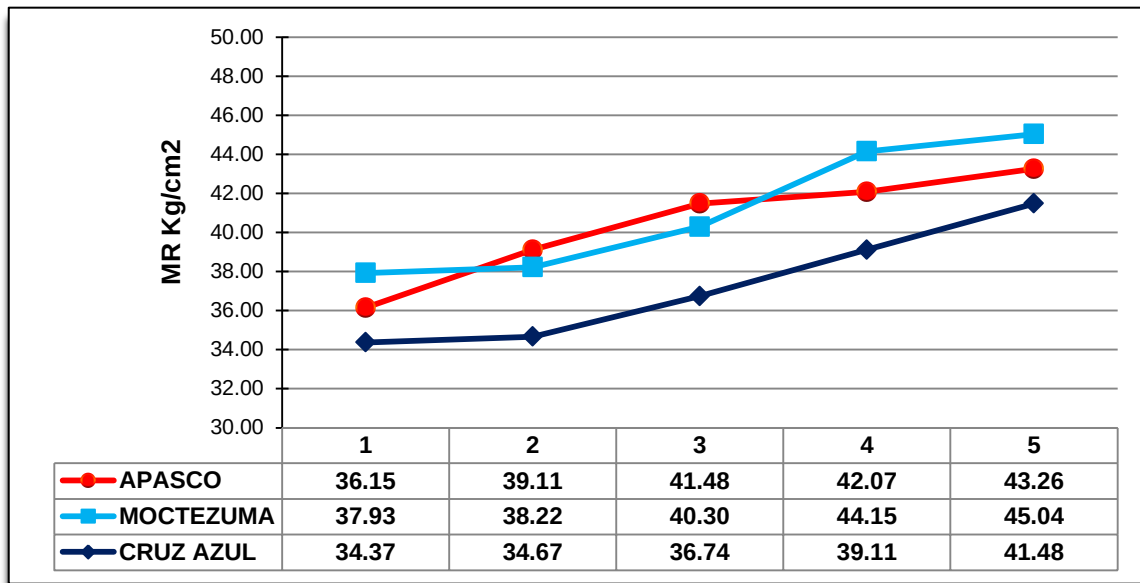
N° MUESTRA	CPC 40	P (Kg)	L cm	b cm	d cm	MR (Kg/cm2)	OBSERVACIONES
1		3925	40.00	15.00	15.00	46.52	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
2		3975	40.00	15.00	15.00	47.11	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
3		4150	40.00	15.00	15.00	49.19	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
4		4200	40.00	15.00	15.00	49.78	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
5		4300	40.00	15.00	15.00	50.96	METODO DE CARGA APLICADA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.
	Promedio=	4110	40.00	15.00	15.00	48.71	

“Evaluación del desempeño de Concreto Hidráulico de alta resistencia, elaborado con Cementos CPC 40 de diferentes marcas comerciales”.

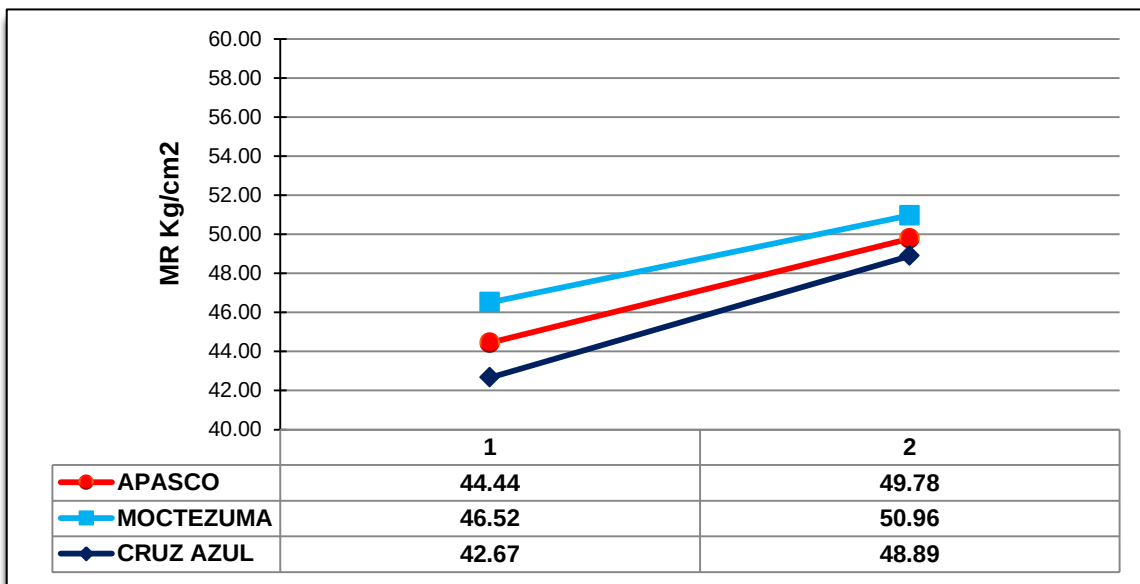
JUAN JESUS MACIEL MENDOZA



FRECUENCIA A 7 DIAS.



FRECUENCIA A 28 DIAS.



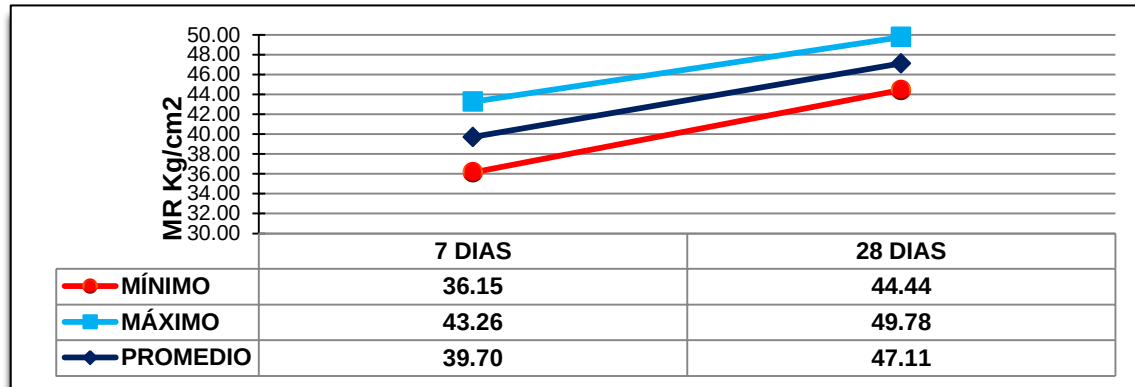
“Evaluación del desempeño de Concreto Hidráulico de alta resistencia, elaborado con Cementos CPC 40 de diferentes marcas comerciales”.

JUAN JESUS MACIEL MENDOZA

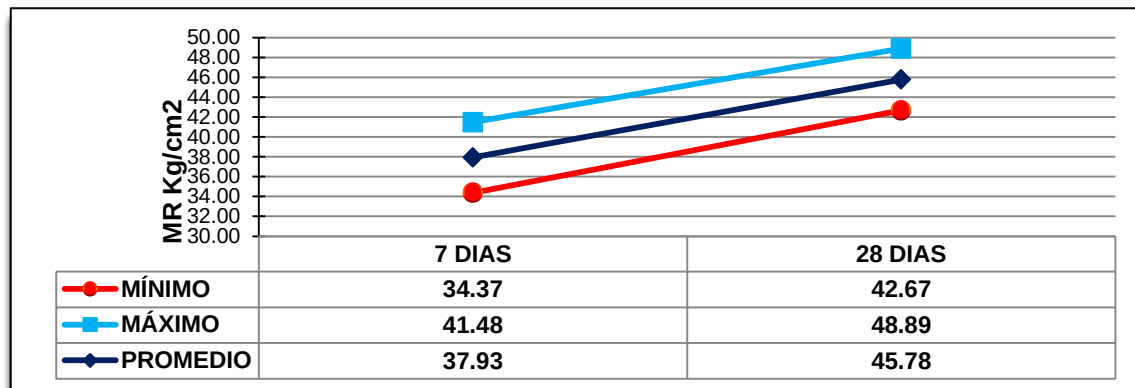


A continuación se representa gráficamente la resistencia de cada marca: ilustrando en cada una de ellas los límites máximos, mínimos y promedios de la resistencia por cada día de prueba.

RESISTENCIA CEMENTO APASCO.

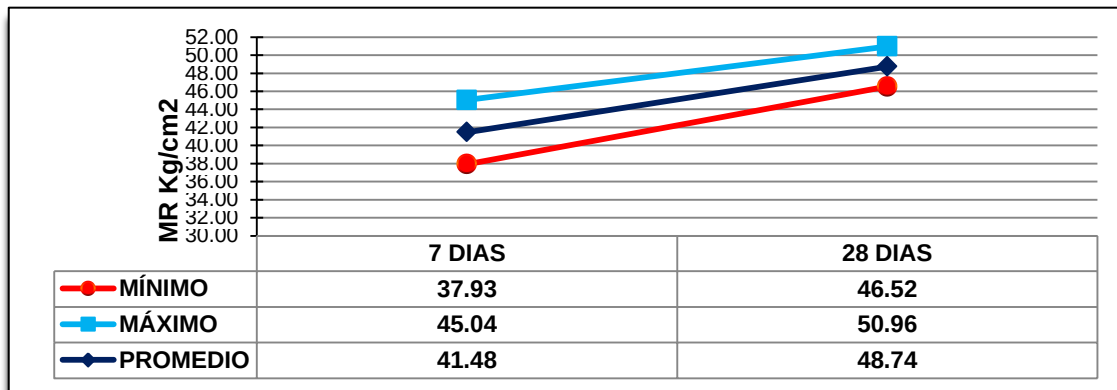


RESISTENCIA CEMENTO CRUZ AZUL.





RESISTENCIA CEMENTO CRUZ AZUL.





8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES



9. BIBLIOGRAFÍA

Fahl, T. P. (2006). *CONCRETO: Herramientas, materiales y prácticas de construcción*. IMCYC. [1].

Guzmán, D. S. (2006). *Concreto y Morteros: Manejo y colocación en obra*. Instituto del Concreto. [2].

Adam M. Neville. (1999). *Tecnología del Concreto*. IMCYC. [3].

H.Kosmatka, S. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Portland Cement Association. [4].

ACI, C. 2. (2001). *Guía para el uso de agregados*. IMCYC. [5].

Monteiro, P. K. (1998). *Concreto Estructura, propiedades y materiales*, IMCYC. [6].

NMX-C-414-2006-ONNCCE. Industria de la construcción - cementos hidráulicos -especificaciones y métodos de prueba. [7].

Luis M. Navarro Sánchez, W. M. (2007). *ANÁLISIS DE MATERIALES*, UMSNH.[8].

NMX-C-083-2002-ONNCCE. (2002). *Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto. "Método de prueba"*[9].

NMX-C-191-ONNCCE-2004. (2004). *Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro*. [10].