



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y GEODESICA



CONFIABILIDAD DE LOS METODOS ALTERNATIVOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO IN SITU

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA

HECTOR CASTILLO VARGAS



CIUDAD UNIVERSITARIA

2002

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZANDO
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/100/00

Señor
HECTOR CASTILLO VARGAS
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. HECTOR JAVIER GUZMAN OLGUIN**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"CONFIABILIDAD DE LOS METODOS ALTERNATIVOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO IN SITU"

- INTRODUCCION
- I. EL CONCRETO
- II. LA CALIDAD DEL CONCRETO
- III. METODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO IN SITU
- IV. PROGRAMA DE PRUEBAS
- V. CONCLUSIONES
- VI. BIBLIOGRAFIA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universidad 11 de septiembre de 2000.
EL DIRECTOR


~~M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO~~
GFB/GMP/mstg.

**A mi padre el señor FRANCISCO CASTILLO RODRIGUEZ
como muestra de agradecimiento y cariño.
GRACIAS PAPA por haberme apoyado siempre y por
seguirlo haciendo.**

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO.**

A LA FACULTAD DE INGENIERIA.

A mis profesores

**Un agradecimiento especial a todo el personal del
Laboratorio de Materiales de la Facultad de
Ingeniería de quien recibí apoyo en todo momento**

**Un agradecimiento a todos aquellos que
colaboraron de alguna manera en la realización de
este trabajo, y/o que me apoyaron a lo largo de la
carrera en especial a mi compañero y amigo
MARCO ANTONIO CERVANTES CARRERA**

CONFIABILIDAD DE LOS MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO IN SITU
INDICE.

Página

Introducción.....1

I.- EL CONCRETO.....6

- I.1 Importancia del concreto en la construcción.
- I.2 El problema de la variación de las propiedades del concreto.
- I.3 Antecedentes históricos.
- I.4 Componentes del concreto simple.
- I.5 Proceso de mezclado, transporte, colocación y curado
- I.6 Usos del concreto.

II.- LA CALIDAD DEL CONCRETO.....21

- II.1.- Importancia del control de calidad del concreto.
- II.2.- Propiedades físicas del concreto fresco y endurecido.
- II.3.- Propiedades físicas y químicas del concreto en estado endurecido.
- II.4.- Propiedades mecánicas del concreto endurecido.
- II.5.- Parámetros que determinan la calidad del concreto.
- II.6.- Normatividad y pruebas convencionales para verificar la calidad del concreto.
- II.6.1.- Pruebas de laboratorio.
- II.6.2.- Pruebas in situ.

III.- MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO IN SITU.....32

- III.1.- Pruebas semidestructivas.
- III.1.1.- Prueba de extracción: prueba de resistencia del concreto a compresión.
- III.2.- Pruebas no destructivas.
- III.2.1.- Prueba del rebote (Esclerometro): Prueba de resistencia del concreto a compresión.
- III.3.- Equipo, descripción, operación e interpretación de resultados.
- III.3.1. - Lok Test.
- III.3.2.- Esclerometro de péndulo.

IV.- PROGRAMA DE PRUEBAS.....46

- IV.1.- Modelo experimental para determinar la confiabilidad del esclerometro de péndulo y del Lok Test.
- IV.2 - Resumen de resultados

V.- CONCLUSIONES..... 53

V.1.- Confiabilidad del uso de los métodos alternativos en base a los resultados de los ensayos

V.2.- Ventajas y desventajas del uso de los métodos alternativos basándose en la facilidad de realizar la prueba

ANEXO A Fotografías del equipo para la prueba de extracción

ANEXO B Fotografías del esclerometro de péndulo.

ANEXO C Fotografías de los ensayos en laboratorio

BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCIÓN

El motivo de este trabajo surgió de la necesidad que se tiene en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería en calibrar los diversos aparatos que existen en este, para la determinación de la calidad de algunos materiales, así como de establecer la confiabilidad de sus resultados, algunos de estos dispositivos son los siguientes:

- Maquina de pruebas tensión-flexión - para determinar la resistencia a la tensión del cemento portland.
- Autoclave - para determinar la expansión volumétrica del cemento portland.
- **Lok test - para determinar la resistencia a compresión del concreto en obra**
- Compresometro.- para determinar la elasticidad de cilindros de concreto en pruebas de compresión
- Permeámetro.- Para determinar la permeabilidad en concretos endurecidos
- Corecase - para extracción de corazones de concreto en obra
- **Esclerometro de péndulo.- para determinar la resistencia a compresión del concreto en obra**
- Microcovermeter.- para determinar la cantidad y características de barras de acero en el elementos de concreto reforzado
- GLS.- para determinar la presencia de corrosión en barras de elementos de concreto reforzado.

Para la realización del presente trabajo hice la traducción de los manuales correspondientes a estos equipos (de ingles a español) poniendo mayor énfasis en los equipos **Lok Test** y **Esclerometro de péndulo** (ref. 8 y 9), ambos para determinar la resistencia a compresión del concreto en obra y dado que casi todas las propiedades del concreto dependen en mayor o menor medida de esta propiedad, nació la idea de realizar como tema de tesis la confiabilidad de resultados para estos dispositivos. Con el conocimiento del manejo y confiabilidad de resultados de estos aparatos el laboratorio de materiales brindara mas y mejor información en apoyo al área de estructuras, proporcionando bases para recomendar o no el uso de estos equipos bajo las limitaciones que se ajusten a la tarea específica que nos ocupe en la practica profesional.

La ingeniería civil es la profesión encargada de realizar obras de infraestructura seguras económicas y funcionales en beneficio de la sociedad, para ello se basa en sus etapas que son planeación, diseño, construcción operación y mantenimiento. La etapa de diseño aprovecha los datos de la de planeación para establecer las dimensiones de la obra, los procedimientos constructivos y los **materiales a utilizar**,

así como las propiedades que estos deben tener para cumplir con el objetivo del diseño.

Las propiedades que los materiales deben tener varían según el tipo de obra a realizar y vienen incluidas explícita o implícitamente en las especificaciones de construcción que se generan en la etapa de proyecto.

El cumplimiento de las especificaciones en general y en cuanto a las propiedades de los materiales en particular garantiza obras seguras, económicas y funcionales por que en la etapa de proyecto se escogen de entre varias alternativas las mas factibles técnica y económicamente.

Actualmente los materiales estructurales más utilizados para la construcción de obras son el acero y el concreto, en las especificaciones de cada proyecto se indican las propiedades que estos materiales deben tener, siendo las mas sobresalientes independientemente del proyecto de que se trate la resistencia a tensión para el acero y **la resistencia a compresión** para el concreto en estado endurecido, ya que estas son esenciales para el desarrollo de todos los términos y procedimientos de análisis y diseño de estructuras.

En el caso del concreto, dependiendo del proyecto de que se trate pueden interesar otras propiedades como la permeabilidad o la resistencia a los sulfatos por mencionar algunas pero se ha comprobado que casi todas son función de la resistencia a compresión (a mayor resistencia a compresión se incrementan favorablemente las otras propiedades), por la tanto se puede afirmar que **la calidad del concreto esta dada por su resistencia a compresión.**

Cuando se inicia la etapa de construcción el ingeniero supervisor y/o constructor tiene que asegurarse que los materiales que se estén utilizando cumplan con las especificaciones de proyecto; para el caso del acero también se verifica la mano de obra que genera el detalle de configuración del armado; ya que el proceso de fabricación se realiza bajo controles minuciosos de manufactura, el muestreo que se haga sobre este material no necesita ser tan amplio

Para el caso del concreto la verificación y cumplimiento de las especificaciones se realizan basados en normas que establecen los procedimientos que se deben de seguir para calificar adecuadamente a este.

Para lograr que el concreto resulte lo más homogéneo posible y con esto lograr que tenga la calidad requerida en cualquier parte de la estructura, el ingeniero supervisor y/o constructor tiene que recurrir a un programa de **control de calidad. El control de calidad del concreto tiene como fin lograr la producción de un material lo mas uniforme posible que proporcione aquellas propiedades particularmente deseables para el trabajo que se este llevando acabo. Al mismo tiempo debe mantenerse un balance cuidadoso para asegurar que la calidad del concreto es satisfactoria para el propósito para el que fue adquirido.**

Un buen programa de control de calidad inicia desde que el ingeniero proyectista basado en los estudios de la etapa de planeación selecciona la resistencia del concreto en función del tipo de agregados con que se cuente en la zona, los posibles

procedimientos de fabricación y la mano de obra con que se cuente en el lugar. Posteriormente cuando inicia la etapa de construcción no es solamente necesario controlar el procedimiento de fabricación, sino también mantener una supervisión en todos los procesos que siguen. Para lograr buenos resultados es necesario adoptar uno o varios de los siguientes métodos:

- Control directo: Con un ingeniero encargado y asistentes si es necesario, que se encarguen de todo lo relacionado con la tecnología del concreto.

- Control indirecto: Los procedimientos de trabajo establecidos por el responsable general de la obra obliguen a los ingenieros residentes a acudir permanentemente a manuales de procedimientos para el control de la calidad de los materiales que usen o reciban de algún proveedor.

- Adiestramiento del personal: se podrá realizar por medio de folletos sobre la técnica del concreto, artículos técnicos y promover la asistencia a cursos de especialización sobre los temas deseados.

- **Pruebas al concreto:** Las observaciones hechas durante las pruebas e interpretación de resultados son tan importantes como los datos obtenidos de las maquinas. Como se menciono anteriormente la prueba que determina la calidad del concreto es la prueba de resistencia a compresión

Para realizar las pruebas de laboratorio con la finalidad de determinar la resistencia del concreto a compresión se utilizan especímenes normalizados por las normas NMX así como los procedimientos que nos conducen a la obtención de resultados finales como son la resistencia a la compresión, la resistencia a la tensión, módulos elásticos etc. Para contrarrestar la inconsistencia de los resultados que se deseen conocer específicamente sobre el concreto, debe hacerse un muestreo lo más amplio posible con objeto de asegurar que los resultados sean representativos.

En el caso de que se tenga una estructura de concreto ya existente que por determinadas circunstancias tenga que sufrir modificaciones y no exista información acerca de la resistencia de los materiales, dato que es necesario para hacer la revisión estructural, o se tenga dicha información pero sea difícil de interpretar, se tiene que recurrir a métodos que nos permitan obtener esta información directamente en la estructura real

Para realizar este trabajo existen métodos que pueden agruparse en términos generales en destructivos, semidestructivos y no destructivos, esta clasificación se realiza en base al daño que ocasionan en la estructura real al realizar la prueba.

El método destructivo que tiene mas aceptación es el de extracción de corazones que como su nombre lo indica consiste en extraer mediante equipo especializado un espécimen (corazón) para ser ensayado mediante un procedimiento estandarizado y normalizado, lo mismo que la interpretación de resultados.

Si se confirma que el concreto es de baja resistencia y los cálculos estructurales indican que la capacidad de carga no es suficiente pueden realizarse pruebas de carga en la parte estructural dudosa y proceder su demolición si se comprueba que

no tiene la resistencia necesaria o bien estudiar la posibilidad de reforzarla con otro elemento del mismo material u otro diferente.

También puede ser necesaria la extracción de corazones cuando al realizarse una obra nueva se comprueba que la resistencia a compresión del concreto proporcionada por los ensayos de especímenes normalizados no cumple con las especificaciones del proyecto.

El procedimiento para la extracción de corazones tiene dos inconvenientes, en primer lugar **daña la parte estructural en donde se realiza**, esto es motivo de que no se pueden realizar un gran numero de pruebas sobre toda la estructura y en segundo termino produce gastos adicionales haciendo antieconómica la realización de la obra.

Existen métodos alternativos para la determinación de la resistencia a compresión del concreto en obra que se agrupan dentro de los métodos semidestructivos y no destructivos que pueden utilizarse tanto en la etapa de construcción de la obra para hacer mas eficiente el control de calidad, como en el caso de la verificación de la calidad del concreto en estructuras en servicio.

Estos métodos alternativos son muy útiles durante la construcción de la obra por que se puede determinar la resistencia a compresión de todos los elementos estructurales haciendo un gran numero de pruebas sobre estos mismos sin realizarles daño alguno y a un menor costo que la extracción de corazones.

Estos métodos alternativos también son útiles para determinar la resistencia a compresión del concreto en una estructura en funcionamiento donde se tenga que realizar una revisión estructural, si se cuenta con algunos datos como puede ser el diseño de la mezcla. Si no se cuenta con ningún dato, la utilidad de estos métodos consiste en que pueden determinar los sitios de los elementos estructurales donde el concreto no tiene la misma uniformidad y por la tanto ni la misma resistencia, y así ubicar con mas precisión los sitios para realizar la extracción de corazones.

Algunos de estos métodos son los siguientes:

- a) Prueba del martillo de rebote (prueba de esclerometro)
- b) Prueba de extracción
- c) Prueba de resistencia a la penetración
- d) Prueba de velocidad de pulso ultrasónico.

La confiabilidad de estos métodos no ha sido determinada del todo por lo que se requiere estudiar mas a detalle para cada método el principio en el que se basan, la realización de las pruebas y la interpretación de resultados.

El objetivo del presente trabajo es determinar la confiabilidad de la prueba del martillo del rebote y la prueba de extracción, mediante experimentación de laboratorio dando primero una panorámica general de lo que es el concreto y su proceso de fabricación desde la selección de sus componentes así como los métodos de mezclado, transporte colocación y curado, resaltando el como

pueden influir estas etapas de fabricación en la variación de las propiedades del concreto, además también se hará la justificación del porque se requiere el control de calidad y por lo tanto el porque, se requiere determinar la confiabilidad de estos aparatos.

Las conclusiones que se presenten, producto de este trabajo serán una contribución a la adaptación de tecnología proveniente del extranjero a las necesidades de nuestro país, actividad que el ingeniero civil también debe desarrollar aunque más importante y urgente es generar la propia.

I.- EL CONCRETO

I.1 Importancia del concreto en la construcción.

El concreto se sigue utilizando hasta nuestros días por sus excelentes características como:

- a) Fácil obtención de materiales y mezclado
- b) Fácil colocación
- c) Resistencia al intemperismo
- d) Posibilidad de adicionar otras propiedades además de la resistencia a un mismo concreto, lo que ocasiona que requiera poco o ningún mantenimiento.
- e) El ajustarse a los avances rápidos en el arte y ciencia del análisis, diseño y construcción estructural

Estas ventajas han hecho que el concreto constituya el material más rentable para la industria de la construcción en la actualidad.

I.2 El problema de la variación de las propiedades del concreto.

Cuando se esta construyendo una obra se pueden realizar muchos colados de grandes o pequeños volúmenes de concreto sin que los encargados del control de calidad reporten variaciones en la mezcla, indicando que se esta cumpliendo con las especificaciones de proyecto.

Sin embargo en un momento dado las pruebas del control de calidad puede indicar algo diferente (como se ha demostrado en la practica), produciéndose variaciones en el concreto y ocasionando que las propiedades resultantes no cumplan con las especificaciones de proyecto.

Para entender las causas que originan variaciones en las propiedades del concreto es necesario conocer aunque sea de forma general todos los procedimientos para la elaboración del concreto desde la obtención, selección y manejo de materiales, hasta el mezclado, transporte, colocación y curado; ya que de su correcta elaboración depende que dichas variaciones se reduzcan al mínimo.

En los subcapitulos I.4 a I.6 se trataran los puntos expuestos en el párrafo anterior

I.3 Antecedentes históricos.

El concreto en un sentido general es un producto o masa conformada por un medio aglutinador. Generalmente este medio es el producto de la reacción entre el cemento hidráulico y agua, la masa que se forma esta compuesta por estos elementos, mas agregados normalmente pétreos.

Acontinuacion se presentara una breve síntesis de las etapas por las que ha pasado el concreto hasta llegar al actual grado de refinamiento.

Para muchos investigadores el empleo mas conocido del concreto se remonta veintitrés siglos atrás con las obras de los romanos (acueductos, caminos etc.); seguramente esta sociedad observó las ventajas ahora conocidas que tenia este material, utilizaban ya entonces un cemento hidráulico pero no se conocían las propiedades a fondo, cabe mencionar en este punto que la historia y evolución del concreto se fue dando lógicamente al mismo tiempo que aparecían mejoras en el cemento, por lo tanto hablar de la historia del concreto es hablar de la historia del cemento

El cemento hidráulico romano fue cayendo en desuso y en 1796 en Inglaterra, basados en este material, se iniciaron los procesos de fabricación que los romanos no conocían del todo (estos trabajos se le atribuyen a James Parker) estos consistieron en calcinar piedra caliza, o productos de arcilla en un horno de cal y triturar las escorias (clinkers) hasta reducirlas a polvo.

En 1824 se concedió en Inglaterra la patente al Sr. Joseph Aspdin de lo que se conoce como cemento Portland nombre asignado debido a que al endurecer se asemejaba a una piedra muy dura que se encuentra en la isla de Portland, Inglaterra; la diferencia básica entre este cemento y el de Parker es que el primero recibe un calcinado mas intenso de la mezcla de piedra caliza y arcilla que el segundo.

Posteriormente en 1844 Isaac Jhonson descubrió un método de molienda que pulverizaba los pequeños trozos de clinker que el proceso anterior dejaba íntegros. Durante los años siguientes las mejoras que se hicieron consistieron en agregar compuestos químicos a la mezcla de piedra caliza y arcilla y experimentar y mejorar los diversos métodos de calcinado y molienda; al parecer será el rumbo que siga el mejoramiento del cemento ya que todas las normas de calidad del cemento coinciden en que ningún otro material aparte del yeso, agua y agentes pulverizantes pueden añadirse después del quemado, pero principalmente porque del mejoramiento de la calidad de los materiales y de la finura del producto final (molienda) dependen las propiedades que han hecho del cemento un material con muchas ventajas para una amplia variedad de casos.

1.4 Componentes del concreto.

Los componentes del concreto son básicamente el cemento, los agregados y el agua estos materiales adquieren cohesión debido a la reacción química entre el cemento y el agua y el agregado al cual se adhiere en mayor o menor grado.

Los agregados más comunes son grava y arena pero también pueden utilizarse, escoria volcánica, roca, tabique u otros materiales similares.

El agregado el cemento y el agua se mezclan todos juntos y en este estado forman una masa plástica y manejable propiedades que permiten su moldeado en cualquier forma. A pocas horas transcurridas desde la preparación de la mezcla, el cemento y

el agua sufren su combinación química, referida, generalmente como hidratación, de la cual resulta la solidificación de la mezcla y su endurecimiento gradual. El proceso de endurecimiento puede continuar indefinidamente bajo condiciones de humedad y temperatura favorables, con un incremento general en la calidad del concreto.

En ocasiones se puede adicionar al concreto en estado plástico algún aditivo para mejorar sus características en este estado o ya endurecido, siempre que se compruebe la calidad de este producto.

A continuación se tratara en forma breve la obtención de los componentes del concreto simple y/o las características con que estos deben cumplir para la evitar al máximo la variación de sus propiedades en estado fresco o endurecido

El cemento:

El cemento Portland moderno es un material finamente molido pulverizado constituido por cuatro ingredientes principales a saber, cal (CaO), sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y en ocasiones óxidos de hierro. El tipo de cemento Portland se puede variar de acuerdo con la proporción de estos compuestos químicos principales y ajustando el grado de finura.

El proceso de manufactura consiste esencialmente en moler las materias primas que contienen los compuestos químicos principales (piedra caliza, arcilla o esquistos) hasta lograr un polvo muy fino, mezclarlos perfectamente en proporciones establecidas y quemarlas en un gran horno rotatorio a una temperatura de aproximadamente $1400\text{ }^\circ\text{C}$; el material se incrusta y se funde parcialmente hasta convertirse en escorias. Cuando la escoria se enfría se muele hasta convertirla en un polvo muy fino. Durante esta operación se agrega un poco de yeso para regular el tiempo de fraguado del cemento.

El mezclado y molido de las materia primas puede hacerse con agua o en seco, de ahí provienen los nombres de proceso húmedo y proceso seco.

Tipos de cemento:

Los cementos Portland estándar se clasifican en cinco tipos y su diferencia es la variación en cantidad de sus componentes químicos básicos y del grado de molienda del clinker a continuación se describen las características de cada tipo:

Tipo I: Es un cemento Portland de uso general, empleado en cualquier construcción en la que no se requieran las propiedades especiales de otros tipos de cemento. El porcentaje de compuestos químicos resultantes principales es el siguiente: silicato tricálcico (C_3S) 49%, silicato dicálcico (C_2S) 25%, aluminato tricálcico (C_3A) 12%, Aluminato tetracálcico (C_4AF) 8%.

Tipo II: Es un cemento Portland modificado, empleado en la construcción general cuando el concreto esta expuesto a la acción moderada de los sulfatos. Es un cemento ligeramente retardante que genera calor con mayor lentitud, ya que demora

algo el fraguado, es una buena opción para colar concreto en clima caliente. El porcentaje de compuestos químicos resultantes principales es el siguiente: silicato tricálcico (C₃S) 46%, silicato dicálcico (C₂S) 29%, aluminato tricálcico (C₃A) 6%, Aluminato tetra-cálcico (C₄AF) 12%

Tipo III: Es un cemento Portland de alta y rápida resistencia, empleado cuando se desean resistencias mas elevadas a edades mas cortas. Permite el pronto retiro de cimbras y la carga de la estructura a una edad mas corta. El porcentaje de compuestos químicos resultantes principales es el siguiente: silicato tricálcico (C₃S) 56%, silicato dicálcico (C₂S) 15%, aluminato tricálcico (C₃A) 12%, Aluminato tetra-cálcico (C₄AF) 8%

Tipo IV: Es un cemento Portland de bajo calor de hidratación, empleado en estructuras masivas, tales como las presas, para reducir el calor de hidratación. El porcentaje de compuestos químicos resultantes principales es el siguiente: silicato tricálcico (C₃S) 30%, silicato dicálcico (C₂S) 46%, aluminato tricálcico (C₃A) 5%, Aluminato tetra-cálcico (C₄AF) 13%

Tipo V: Es un cemento Portland de alta resistencia a los sulfatos, empleado para proteger el concreto expuesto a la acción severa de los sulfatos, así como en las áreas en las que el suelo o las áreas cercanas tiene un elevado contenido de álcalis. El porcentaje de compuestos químicos resultantes principales es el siguiente: silicato tricálcico (C₃S) 43%, silicato dicálcico (C₂S) 36%, aluminato tricálcico (C₃A) 4%, Aluminato tetra-cálcico (C₄AF) 12%

Cementos especiales:

Además de los cementos anteriores existen tipos especiales de cemento Portland como los siguientes:

Cemento para pozos de petróleo:

El cemento para pozos de petróleo se utiliza para impermeabilizar las paredes de estos: Generalmente deberá ser de fraguado lento y resistente a altas temperaturas y presiones Existen 6 tipos de esta clase de cemento, cada una es aplicable para usarse dentro de cierto intervalo de profundidades de los pozos.

Cemento Portland impermeabilizado:

El cemento Portland impermeabilizado se hace usualmente añadiéndose una pequeña cantidad de estearato de calcio, aluminio, o de otro estereato, a la escoria del cemento Portland durante el molido final.

Cementos plásticos:

Los cementos plásticos se hacen añadiéndoles agentes plastificantes, hasta 12% del volumen total a los cementos del tipo 1 (normal) o cemento II durante el proceso de fabricación.

Las condiciones que deben tomarse en cuenta para especificar el concreto idóneo y seleccionar el cemento adecuado para una obra, pueden determinarse por la indagación oportuna de dos aspectos principales:

- 1) Las características propias de la estructura y de los equipos y procedimientos previstos para construirla.
- 2) Las condiciones de exposición y servicio del concreto dadas por las características del medio ambiente y del medio de contacto y por los efectos previsibles resultantes del uso destinado a la estructura.

En México la norma NMX-C-414-ONNCCE-1999 en el apartado 5 se establece la siguiente clasificación de cementos:

- 1.- Cemento portland ordinario (CPO)
- 2.- Cemento portland puzolanico (CPP)
- 3.- Cemento portland con escoria granulada de alto horno (CEPG)
- 4.- Cemento portland compuesto (CPC)
- 5.- Cemento portland con humo de silice (CPS)
- 6.- Cemento con escoria granulada de alto horno (CEG)

En el proceso para definir y especificar el concreto potencialmente idóneo para cada aplicación en particular, es de trascendental importancia la definición del cemento apropiado. Ya que de este dependerán significativamente las características y propiedades de la matriz cementante y por consiguiente del concreto.

Se puede observar que se tendrá un concreto no uniforme si utilizamos dos o mas tipos de cemento en la elaboración de un mismo concreto.

El escoger un tipo inadecuado de cemento en la etapa de proyecto y/o utilizar un tipo diferente al especificado durante la construcción seguramente dará como resultado un concreto con la calidad no requerida para el objetivo del proyecto.

Para poder proceder de una manera realista en este aspecto es necesario hacer un recuento de las clases y tipos de cementos para concreto que efectivamente se producen o pueden producirse en las fabricas de cemento de la región donde se va a construir la estructura incluyendo sus respectivas características.

Pruebas al cemento:

Puesto que la calidad del cemento es esencial para la elaboración de un buen concreto, la fabricación del cemento requiere un estricto control.

Se ha establecido un conjunto de pruebas para laboratorios de plantas cementeras, con el propósito de asegurar que este tenga la calidad deseada y que se ajuste a las especificaciones de las normas nacionales pertinentes. También es deseable que un laboratorio independiente efectúe pruebas de aprobación periódicas o bien que examine las propiedades de un cemento que se va a emplear para un fin específico.

Existen 2 tipos de prueba que se realizan al cemento para determinar su calidad, pruebas relacionadas con la composición química descritas en las normas ASTM C114-83B y las relativas a finura, tiempo de fraguado, solides y resistencia dadas por las normas ASTM C115-79b, C451-83, C151-84 y C109-80 respectivamente.

En México las normas que avalan la calidad del cemento son la NMX-C-061, para determinar las características mecánicas; la NMX-C-059, (tiempo de fraguado), la NMX-C-062 (estabilidad de volumen), la NMX-C-273 (determinación de actividad de adiciones a los cementos) todas esas características físicas y la NMX-C185 para determinar las características químicas.

Es conveniente aclarar que la calidad del cemento esta garantizada por el fabricante (de modo similar al acero), de manera que si se elige el cemento adecuado, difícilmente su calidad será causa de fallas en la estructura.

Almacenamiento del cemento:

El cemento Portland que se mantiene seco conserva sus cualidades indefinidamente. El cemento Portland almacenado en contacto con la humedad fragua mas despacio y tiene menos resistencia que el cemento Portland seco.

Los sacos de cemento no se deben almacenar en suelos húmedos. Los sacos se deberán estibar juntos para reducir la circulación del aire pero no se deben apoyar contra los muros exteriores. Los sacos que se van a almacenar durante largos periodos se deben cubrir con lonas u otras cubiertas impermeables.

En las obras mas pequeñas en las que no se dispone de cobertizos los sacos deberán colocarse en plataformas de madera elevadas. Deberán ponerse cubiertas impermeables sobre los montones y las orillas de las mismas deberán rebasar los bordes de la plataforma para evitar que la lluvia llegue al cemento y a la plataforma. Las plataformas mojadas por lluvia pueden perjudicar los sacos inferiores de cemento.

El cemento almacenado por largos periodos puede sufrir lo que se llama "compactación de bodega". Esta compactación puede corregirse rodando los sacos en el piso.

Cuando se use el cemento deberá fluir libremente y no contener terrones. Si los terrones no se rompen con facilidad, el cemento debe probarse cuando se trate de

trabajos importantes antes de usarlo. Siempre que la calidad del cemento resulte dudosa deberá aplicarse mínimo la prueba de resistencia.

El cemento a granel usualmente se almacena en silos impermeables. Ordinariamente, no permanece almacenado durante largo tiempo pero puede almacenarse un tiempo relativamente largo sin que se sufra alteraciones en su composición.

Agregados:

Los agregados ocupan generalmente del 60 al 80 % del volumen del concreto. Por tanto sus características influyen en las propiedades del mismo. Los agregados no solo pueden limitar la resistencia del concreto sino que sus propiedades pueden afectar enormemente su durabilidad y desempeño. Deben satisfacer ciertos requisitos y deben consistir en partículas limpias, duras, resistentes y durables libres de sustancias químicas recubrimientos de arcilla o de otros materiales finos que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento.

En un principio, al agregado se le considero un material inerte, no costoso disperso en la pasta de cemento para producir un gran volumen de concreto. En realidad el agregado no es inerte, pues sus propiedades físicas, térmicas y en ocasiones químicas pueden influir en el desempeño del concreto, por ejemplo, mejorando su durabilidad y estabilidad de volumen sobre los de la pasta del cemento. Desde el punto de vista económico, es ventajoso emplear una mezcla con el mayor contenido posible de agregado y el menor posible de cemento, Aunque el costo debe balancearse con las propiedades deseadas del concreto en estado endurecido.

Los agregados naturales se forman por procesos climáticos y abrasivos o por molido artificial de una gran masa del material de origen. Muchas características del agregado dependerán de las propiedades de la roca original, como lo es la composición química y mineral la clasificación petrográfica, la gravedad específica, la dureza, la resistencia, la estabilidad química y física, la estructura de poro, el color etc. Además el agregado tiene otras propiedades diferentes de los de la roca original: Forma y tamaño de la partícula, textura de superficie y absorción; las cuales pueden influir considerablemente en la calidad del concreto fresco o fraguado.

Los agregados mas comúnmente usados como la arena, grava, piedra triturada producen concreto de peso normal es decir concreto que pesa de 2200-2250 kg/m³. Las lutitas arcillas pizarras y escorias esponjadas se usan como agregados para producir concretos estructurales ligeros con peso unitario que varia de 1400-1900 kg/m³. Los materiales muy densos como la barita, limonita, magnetita, ilmenita, hierro, y partículas de acero se usan para producir concreto muy denso.

Las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto agrupan los concretos en dos tipos: concreto clase 1 con peso volumétrico en estado fresco superior a 2200 kg/m³ y clase 2 con peso volumétrico en estado fresco comprendido entre 1900 y 2200 kg/m³.

Se puede observar que un criterio para seleccionar un tipo de agregado es en base al peso del concreto que se necesite.

Los agregados de peso normal deben satisfacer los requisitos de las especificaciones de los agregados para concreto (C33 de la ASTM) y métodos para la construcción del concreto (CSA A23.1) Estas especificaciones limitan las cantidades permisibles de sustancias perjudiciales e incluyen los requisitos sobre granulometría, resistencia al desgaste y constancia del volumen.

Características de los agregados:

Resistencia al desgaste:

La resistencia al desgaste de un agregado se usa con frecuencia como indicador general de la calidad del agregado.

Esta característica es esencial cuando el agregado se va a usar en concreto sujeto a desgaste como en los pisos para servicio pesado.

El método de prueba más común para la resistencia al desgaste es el método del tambor giratorio de los ángeles descrito en la norma ASTM C 131.

En esta prueba, se coloca una cantidad específica de agregado en un tambor de acero que se hace girar; el porcentaje de material desprendido se determina al término de esta operación.

Resistencia a la congelación:

La resistencia a la congelación de un agregado, esta relacionada a su porosidad, absorción y estructura porosa. Si una partícula de agregado absorbe demasiado agua, el espacio en los poros no sería suficiente para dar cabida a la dilatación del agua que ocurre durante la congelación.

Cualquiera que sea la rapidez del congelamiento, puede haber un tamaño crítico de partícula, arriba del cual esta falla si esta completamente saturada. Este tamaño crítico depende de la porosidad, permeabilidad, y resistencia a la tensión de la partícula.

Cuando no existen registros de comportamiento, los agregados pueden considerarse aceptables si se comportan satisfactoriamente sometidos a pruebas de congelamiento dadas en las normas ASTM C290 y C291; en estos ensayos las muestras de concreto, hechas con el agregado en cuestión se sujetan a ciclos alternativos de congelamiento, el daño se mide por la reducción en el módulo dinámico de elasticidad de la muestra.

Estabilidad química:

Se considera que los agregados tienen estabilidad química cuando no reaccionan con el cemento en forma peligrosa, ni sufren la influencia química de otras fuentes externas. En algunas regiones, los agregados que tienen ciertos elementos químicos reaccionan con los álcalis del cemento. Esta reacción álcali agregado puede producir expansión anormal y agrietamientos irregulares en el concreto. Si no existen registros sobre el comportamiento del agregado y se sospecha que es inestable químicamente, las pruebas de laboratorio son útiles para determinar su calidad (ASTM C227, C289, C586, C295).

Forma y textura superficial de las partículas:

La forma de las partículas y la textura superficial de un agregado influyen en las propiedades del concreto fresco más que con el concreto endurecido. Las partículas de superficie rugosa o las planas y alargadas requieren más agua para producir un concreto manejable que los agregados redondeados o con partículas cuboides. Por los tanto las partículas del agregado que son angulares requieren más cemento para mantener la misma relación agua-cemento. Si embargo cuando la gradación es buena, tanto los agregados triturados como los no triturados generalmente dan la misma resistencia, siempre que la dosificación del cemento sea la misma.

Las partículas de los agregados deben ser cortas y gruesas y libres de cantidades excesivas de piezas en forma de placas alargadas. Las piezas en forma de astillas, largas, en los agregados se deben evitar, o cuando menos limitarse a un máximo de 15% en peso del agregado total. Este requisito es igualmente importante para el agregado fino triturado, ya que la piedra triturada con frecuencia contiene más partículas planas y alargadas.

Granulometría:

La granulometría o distribución del agregado según su tamaño se determina con un análisis granulométrico. Las cribas estándar usadas para determinar la gradación de los agregados finos son las No 4, 8, 16, 30, 50 y 100.

Las cribas estándar para determinar las granulometrías de los agregados gruesos tienen perforaciones cuadradas de 6, 3, 1 1/2, 1, 3/4, y 3/8 de pulgada, más una número 4 (que tiene cuatro alambres de pulgada).

Los diagramas de granulometrías muestran la distribución en tamaños y generalmente tienen líneas que representan las cribas estándar sucesivas colocadas a intervalos iguales. Los límites se especifican usualmente para el porcentaje de material que pasa por cada criba. Los agregados finos esencialmente pasan por la criba No 4, mientras que los agregados gruesos son retenidos en dicha criba.

Existen varias razones para especificar límites en las granulometrias y el tamaño máximo de los agregados. La granulometria y el tamaño máximo afectan las proporciones relativas de los agregados, así como el cemento y agua necesarios, la manejabilidad, la economía, la porosidad y la contracción del concreto.

Las variaciones en la gradación pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de una mezcla a otra. Las arenas muy finas son con frecuencia costosas y las arenas muy gruesas pueden producir mezclas muy ásperas y poco manejables. **En general los agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y dan una curva granulométrica pareja producen los mejores resultados, lo que puede explicar la llamada teoría de la máxima densidad o del mínimo de huecos, que llega a la conclusión de que la pasta que se necesita para el concreto es proporcional al volumen de huecos de los agregados combinados, por lo que es conveniente mantener el volumen de huecos al mínimo.**

Las cantidades de agregado fino que pasan las cribas No 50 y 100 afectan la manejabilidad, la facilidad para lograr buenos acabados y la textura superficial del concreto. En muchas especificaciones se permite que la criba No 50 deje pasar del 10 al 30%. El límite inferior puede ser suficiente cuando el colado es fácil o cuando los acabados se hacen mecánicamente, como en los pavimentos. Sin embargo en los pisos de concreto acabados a mano o cuando se desea una textura superficial tersa, deberá usarse un agregado fino tal que pase cuando menos el 15% por la criba No 50 y el 3% o más que pase por la criba No 100.

De las características vistas para los agregados podemos deducir que si para una mezcla combinamos agregados no especificados en el proyecto seguramente tendremos un concreto con variaciones considerables en sus propiedades, implicando que no se tenga la calidad requerida.

El tamaño máximo del agregado grueso que se puede usar, generalmente depende del tamaño y la forma de los miembros de concreto y de la cantidad y distribución del acero de refuerzo. Las NTC para diseño y construcción de estructuras de concreto del RCDF establecen que el tamaño máximo de agregados no debe ser mayor que un quinto de la menor distancia horizontal entre caras de los moldes, un tercio del espesor de losas, ni dos tercios de la separación horizontal libre mínima entre barras, o paquetes de barras. Estos requisitos pueden omitirse cuando las condiciones del concreto fresco y los procedimientos de compactación que se apliquen permitan colocar el concreto sin que queden huecos.

Sustancias perjudiciales en los agregados.

Las sustancias perjudiciales que pueden estar presentes en los agregados incluyen las impurezas orgánicas, limo, arcilla, carbón de piedra, lignito y algunas partículas blandas y ligeras.

Las impurezas orgánicas pueden retrasar el fraguado y el endurecimiento del concreto (azúcar, turba).

Los materiales mas finos que los que pasan por la criba No 200 especialmente el limo y la arcilla pueden estar presentes como polvo o pueden estar en la forma de recubrimiento de las partículas del agregado. Estos materiales finos afectan la adherencia entre la pasta del cemento y los agregados y aumentan la cantidad necesaria de agua.

El carbón de piedra o lignito, u otros materiales ligeros como la madera o materiales fibrosos, en cantidades excesivas pueden afectar la durabilidad del concreto. Si estas impurezas están presentes cerca o en la superficie, pueden desintegrarse, reventar o producir manchas.

Las partículas blandas son perjudiciales porque pueden afectar la durabilidad y la resistencia al desgaste del concreto. Si son quebradizas pueden romperse durante la mezcla y aumentar por lo tanto la demanda de agua.

Se pueden mejorar las propiedades de los agregados para mejorar su calidad removiendo las partículas perjudiciales. Algunos de los procesos que se usan son la separación en medios pesados, cribado hidráulico y separación por corriente ascendente y trituración.

Manejo y almacenamiento de agregados:

En cualquier tipo de obra los agregados deben manejarse y almacenarse de manera que sea minima la segregación y se evite la contaminación con sustancias perjudiciales.

El Reglamento de construcciones del DF: en sus NTC para diseño y construcción de estructuras de concreto establecen los requisitos que deben cumplir los agregados remitiéndose a la NOM C111 con la modificaciones adicionales establecidas en su apartado 11.3.1

Agua:

Casi cualquier agua natural que pueda beberse y que no tenga sabor u olor notable sirve para mezclar el concreto.

Puede usarse agua cuyo comportamiento no se conozca para hacer concreto, si las muestras de mortero hechos con esa agua alcanzan resistencias a los 7 y a los 28 días iguales a cuando menos el 90% de muestras que se hagan empleando agua potable. Además deben hacerse pruebas para tener la seguridad de que no se afecta desfavorablemente el tiempo de fraguado del cemento por las impurezas contenidas en el agua de la mezcla. Cuando son excesivas las impurezas contenidas en el agua de la mezcla, pueden no solo afectar el tiempo de fraguado, y la resistencia del concreto sino que puede producir hasta corrosión del acero de refuerzo.

El reglamento de construcciones del D.F. en sus NTC para diseño y construcción de estructuras de concreto establecen los requisitos que deben cumplir el agua para mezclado.

Aquí también se puede ver la necesidad de utilizar en todo momento de la construcción de la obra un solo tipo de agua para no tener variaciones en las propiedades del concreto.

Aditivos:

Los aditivos incluyen todos los materiales que no son cemento, agua y agregados que se añaden al concreto inmediatamente antes o durante la mezcla.

En general los aditivos pueden clasificarse como sigue:

Inclusores de aire, reductores de agua, retardadores, acelerantes, puzolanas, fluidificantes y varios como los agentes contra la humedad y para la permeabilidad, para las lechadas, y los formadores de gas.

Los aditivos que se consideran adecuados para aumentar la homogeneidad del concreto (mejorar las propiedades necesarias) deberán ajustarse a las especificaciones ASTM C454 o su equivalente NMX. Deberán hacerse mezclas de prueba con el aditivo y materiales para la obra con las temperaturas y humedades que se sepa que van a existir en la obra. De esta manera puede observarse la compatibilidad del aditivo con otros aditivos y materiales para la obra, así como los efectos del aditivo en las propiedades del concreto fresco y el concreto endurecido.

Uno de los aditivos más utilizados son los **inclusores de aire** ya que con este componente mejoramos la durabilidad del concreto.

Una de las utilidades que se le puede dar a los aditivos es para generar un cemento que en el momento no se tenga en la obra y que sea necesario para hacer compatibles los materiales constituyentes hasta el momento modificando sus propiedades.

Por ejemplo si estamos construyendo con cemento tipo III (resistencia rápida) y en un momento dado no lo tenemos y necesitamos colar para ajustarnos a nuestro programa de obra puede adquirir cemento tipo V y algún aditivo que nos de las características del tipo III, con esto no tendríamos la necesidad de hacer malas combinaciones de cementos

1.5 Proceso mezclado transporte, colocación y curado

En los subcapítulos anteriores se resalta la importancia de manejar componentes para concreto de la misma calidad para evitar variaciones indeseables en el material, sin embargo el solamente utilizar los materiales adecuados no garantiza la elaboración de un concreto lo más homogéneo posible, porque esto también depende de un correcto mezclado, de una forma adecuada de transportarlo del sitio de fabricación al molde, una adecuada colocación y un curado aceptable; en los párrafos siguientes se indicara en que consiste cada uno de estos procesos.

Mezclado.

Cuando nos encontramos en esta etapa de la elaboración del concreto, ya tenemos la dosificación de cada componente en las proporciones necesarias para lograr la resistencia requerida y propiedades adicionales si es el caso, (cantidades de cemento, agua, agregados y aditivos).

No se va a tratar en detalle la forma de obtener estas proporciones porque lo que interesa es ver porque se presentan las variaciones en el concreto, aunque respetemos la dosificación indicada en el proyecto.

El **mezclado** consiste básicamente en la rotación o batido, con el propósito de cubrir la superficie de todas las partículas del agregado con las pasta de cemento y mezclar todos los ingredientes en una masa uniforme.

Para elaborar concretos lo mas uniformemente posible se utilizan mezcladoras. Independientemente del tipo con se cuente en la obra, su eficiencia aumenta si respetamos la velocidad de mezclado para la que fueron proyectadas, así como de darles mantenimiento preventivo constantemente.

Si el mezclado se ha realizado correctamente, las muestras tomadas de diferentes porciones de una estructura tienen esencialmente el mismo peso unitario, y proporción de agregado grueso, este es un buen criterio para establecer si estamos fabricando un concreto uniforme.

Otros aspectos a cuidar en las mezcladoras son, el cargado, tiempo de mezclado y descargado de la mezcla.

Transporte:

Si ya producimos un concreto lo mas uniformemente posible no significa que ya tenemos en la estructura el concreto requerido en las especificaciones de proyecto, el siguiente paso para lograrlo es transportarlo adecuadamente al sitio de colocación.

Hay muchos métodos para transportar concreto de la mezcladora a la obra. La elección del método dependerá desde luego de consideraciones económicas y de la cantidad del concreto a transportar.

Se tienen muchas posibilidades desde carretillas, cubetas, transportadores de banda hasta camiones especiales y de bombeo pero, en todos los casos, lo importante es que la mezcla sea adecuada para el método seleccionado; es decir, que se conserve cohesiva y no se segregue.

Debe elegirse siempre con cuidado el método de transporte ya que una mala elección favorece la segregación y por consiguiente la indeseable variación en las propiedades del concreto.

Colocación y compactación.

Antes de colocar el concreto se debe verificar que los moldes (cimbra) estén limpios, sean impermeables, estén adecuadamente apuntalados y estar construidos con materiales que impartan la textura deseada al concreto terminado.

Los moldes deben lubricarse antes de colar el concreto; de otra manera absorberán el agua del concreto y se hincharán. Los moldes se deberán tratar también con agente separador, como aceite o laca, para facilitar la operación de quitarlos. El acero de refuerzo deberá estar limpio y libre de óxido suelto y de escamas de laminado cuando se cuele el concreto.

En lo que a la colocación se refiere, el objetivo principal es depositar el concreto tan cerca como sea posible a su disposición final, evitando la segregación y permitiendo su compactación completa.

Existen muchos manuales de recomendaciones para colar, según el tipo de clima que prevalecerá en la zona donde se están desarrollando los trabajos; pero en términos generales se pueden seguir los siguientes pasos para evitar la segregación y facilitar la compactación:

Evitar el palear a mano y mover el concreto por inmersión o emplear vibradores de atizador; El concreto debe colocarse en capas uniformes, no en grandes montones o en capas desnivelladas; el espesor de una capa debe ser compatible con el método de vibración, de modo que el aire atrapado pueda ser removido del fondo de cada capa; cada capa debe quedar totalmente compactada antes de colocar la siguiente; cada capa consecuente debe colocarse cuando la inferior este aun plástica, de modo que se logre una construcción monolítica; Evitar el choque entre el concreto y los encofrados o el refuerzo. Para secciones profundas un tubo largo (hacia abajo) asegura la precisión en la ubicación del concreto y una segregación mínima y finalmente en cimbras horizontales o en pendiente debe colocarse verticalmente en contra -no alejado- del concreto colocado previamente, para pendientes de mas de 10° debe crearse una maestra de forma deslizante.

De estos pasos se puede apreciar que las operaciones de colocación y compactación son interdependientes y se llevan acabo en forma casi simultánea.

La finalidad de la compactación es remover todo el aire atrapado que sea posible, para que el concreto endurecido tenga un mínimo de vacíos y, en consecuencia sea lo más homogéneo posible y cumpla con las especificaciones de proyecto en cualquier parte de la estructura.

Curado.

Una vez que el concreto a sido colocado y compactado se debe asegurar la correcta hidratación del cemento y por lo tanto el desarrollo de la resistencia del concreto, esto es lo que se conoce como **curado del concreto**.

Existen varios tipos de curado pero independientemente de cual se use se debe garantizar que el concreto se mantenga en un ambiente húmedo por lo menos siete días en el caso de un cemento normal y tres días si se empleo cemento de resistencia rápida

Las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto en sus apartados 11.3.4, 11.3.5, y 11.3.8 Describen los métodos aceptables para el transporte, colocación y compactaron y curado respectivamente basados en lo brevemente expuesto en este subcapitulo.

1.6 Usos del concreto.

El concreto tiene múltiples usos pero como se ha visto anteriormente para cada uso particular es necesario seleccionar los materiales constituyentes, combinarlos y usarlos de tal manera de desarrollar cualidades especiales requeridas y tan económicamente como sea posible.

Por ejemplo, los requerimientos para cualquier superestructura son generalmente resistencia al intemperismo y resistencia característica en la que el diseñador se ha basado para sus cálculos. En construcción de caminos, el concreto debe ser fuerte y resistente al uso, para soportar la acción erosiva del tráfico fuerte y rápido.

En tanques elevados y cisternas debe ser impermeable.

En cimentaciones puede requerirse una resistencia a la acción agresiva de los sulfatos del suelo. Similarmente en estructuras marítimas, el concreto debe ser resistente al ataque químico del agua salada, así como a la acción abrasiva. Los pisos de concreto además de la abrasión por paso de personas y todo tipo de vehículos, están a menudo sujetos al ataque químico de varios agentes. Existen otras cualidades que pueden requerirse en algunos casos como:

peso ligero, aislamiento térmico, resistencia a los rayos X o al producto de fusiones nucleares.

Otros usos especiales del concreto son, los pilotes diques presas de concreto sin refuerzo, y túneles aunque estos por su complejidad requieren de una técnica especial. Similarmente la colocación de pisos de concreto como el granolítico, el moldeado de ciertas piezas, precolados para escaleras, durmientes de ferrocarril, postes para cercas, losetas para pavimentos ornamentos de jardines y otros requieren modificaciones especiales en el procedimiento de construcción. El concreto de peso ligero y el concreto aparente también forman otras clases de productos de concreto que deben ser tratados separadamente.

La selección de materiales y la elección del método de construcción no son fáciles, puesto que existen muchos factores que afectan la calidad del concreto, y debe tenerse en cuenta tanto la calidad como la economía.

II.-LA CALIDAD DEL CONCRETO.

II.1 Importancia del control de calidad del concreto.

Independientemente de la obra que se este construyendo es necesario que el concreto en estado endurecido sea durable y que tenga la resistencia a compresión especificada en la etapa de proyecto, pero dichas propiedades en estado endurecido a su vez dependen de las propiedades del concreto en estado fresco.

Cuando se esta construyendo una obra es necesario que el volumen concreto tenga las mismas propiedades en estado fresco, así como en estado endurecido en cualquier parte de la estructura; sin embargo como se vio en el capitulo uno es dificil lograr este objetivo.

Para lograr un mínimo de variación en las propiedades del concreto tanto en estado fresco como endurecido es necesario tener un estricto control en todos los procedimientos que involucra su fabricación desde la selección de materiales hasta los procesos de fabricación, transporte, colocación y curado, además también deben de efectuarse pruebas para verificar que se tengan propiedades similares en todo el concreto que se fabrique para una misma estructura.

Todo lo descrito en el párrafo anterior es lo que se conoce como control de calidad del concreto y dado que la seguridad de cualquier estructura depende de tener un concreto lo mas homogéneo posible que proporcione las propiedades deseables es importante que se cuente con un buen programa para el control de calidad del concreto.

Un buen programa de control de calidad consiste en lo siguiente:

- Selección de materiales constituyentes del concreto de preferencia hacer esta selección basándose en los materiales del sitio.
- Selección de la resistencia de diseño en función de los materiales disponibles en la zona.
- Nombrar a un ingeniero encargado de todo el proceso de fabricación del concreto que tenga al alcance toda la información necesaria acerca de la tecnología del concreto.
- Adiestramiento al personal involucrado en la elaboración del concreto mediante platicas y/o proporcionamiento de folletos, así como de instrucciones por escrito.
- Pruebas al concreto tanto en estado fresco como endurecido para verificar que se tenga un mínimo de variaciones de las propiedades en ambos estados y garantizar así un concreto lo más homogéneo posible y por lo tanto la seguridad de la estructura. Sin embargo debe considerarse que las pruebas proporcionan solo un indice de las propiedades del concreto y que para que tengan validez deben realizarse conforme a normas, lo referente a normalización será tratado en el subcapitulo II.6.

Las propiedades que se verifican al concreto tanto en estado fresco como endurecido son las que se describirán en los tres subcapítulos siguientes II.2, II.3 y II.4.

II.2 Propiedades físicas del concreto en estado fresco.

La propiedad física que tiene mayor importancia y por tanto la que se verifica mediante pruebas es la que se conoce como manejabilidad pero a su vez esta involucra a otras propiedades mencionadas en la siguiente definición:

Manejabilidad.- es la propiedad que indica relativamente la facilidad o dificultad de transportar y colocar el concreto en los moldes sin que se segregue dicho de otra forma es una indicación de la consistencia y/o uniformidad del concreto en estado fresco.

La importancia de esta propiedad es porque de ella depende la facilidad de compactación y de esta que la resistencia del concreto a compresión, propiedad fundamental del concreto endurecido sea la misma en cualquier parte de la estructura ya que a mayor compactación se elimina el aire atrapado del concreto logrando con esto una mayor homogeneidad.

El grado de manejabilidad requerida en cada caso particular dependerá de los medios de compactación existentes por ejemplo una manejabilidad satisfactoria para concreto masivo no es necesariamente suficiente para secciones delgadas y/o muy reforzadas.

En la definición de manejabilidad se involucran otras propiedades físicas del concreto: segregación y consistencia.

Segregación: la segregación puede definirse como la separación de los componentes del concreto de modo que su composición deje de ser uniforme dando como resultado un concreto en estado endurecido no homogéneo y por lo tanto con variaciones considerables de un punto a otro de la estructura.

Consistencia: En el uso ordinario del idioma, esta palabra se refiere a la firmeza de una sustancia o a su facilidad para fluir. En el caso del concreto la consistencia se toma a veces en el sentido del grado de humedad, dentro de ciertos límites los concretos con mas contenido de agua son mas manejables que los concretos secos pero los concretos de la misma consistencia pueden variar en manejabilidad las pruebas que determinan la uniformidad mediante la manejabilidad y por lo tanto su calidad en estado fresco se tratara en el subcapítulo II.6.

II.3 Propiedades físicas y químicas del concreto en estado endurecido.

Como se menciona al principio de este capítulo, las propiedades deseables para el concreto de una estructura son resistencia a la compresión y la durabilidad especificada en el diseño.

En algunos casos la durabilidad del concreto es casi tan importante como la resistencia, es decir cuando el funcionamiento de la estructura solo demanda del concreto, como condición prioritaria un determinado comportamiento mecánico o estructural la propiedad que rige es la resistencia y cuando además de todo lo

anterior la estructura debe operar en condiciones de exposición y servicio tales que sus efectos crean el riesgo de que se deteriore prematuramente entonces rige también la durabilidad.

La falta de durabilidad puede ser causada por agentes externos en el ambiente o por agentes internos dentro del concreto. Las causas principales se clasifican en físicas y químicas. Las causas físicas provienen de la acción de la congelación, variaciones de humedad y temperatura, alta presión hidrostática sostenida o variable, altas temperaturas permanentes o eventuales (incendios) corrientes eléctricas, radiaciones eléctricas y de las diferencias térmicas del agregado y de la pasta de cemento; mientras que las causas químicas son producto de ataques de sulfatos, ácidos, agua de mar y también cloruros, los cuales inducen corrosión electroquímica del acero de refuerzo.

Propiedades físicas y químicas del concreto en estado endurecido.

Las propiedades físicas y químicas del concreto en estado endurecido que constituyen los medios de defensa que este opone para ser afectado por las acciones anteriormente descritas son las siguientes.

- Estabilidad dimensional (cambios volumétricos por variaciones de humedad y temperatura)
- Estabilidad química
- Resistencia a la congelación y al deshielo
- Resistencia al ataque de sulfatos
- Resistencia a la penetración de líquidos y gases (permeabilidad)
- Resistencia al intemperismo (sanidad)
- Resistencia a la abrasión mecánica
- Resistencia a la erosión hidráulica
- Resistencia al ataque de sustancias químicas adversas
- Resistencia a las temperaturas elevadas permanentes y ocasionales (incendio)
- Resistencia a la cavitación
- Resistencia al impacto

El programa de control de calidad que se lleve a cabo para una estructura sujeta a alguna o varias de las acciones descritas en este subcapítulo debe contemplar pruebas (adicionales a las de resistencia) para comprobar que se tendrá un comportamiento adecuado en condiciones de servicio. Lo referente a dichas pruebas será tratado en el subcapítulo II.6.

II.4 Propiedades mecánicas del concreto endurecido.

Las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido son las siguientes:

- Resistencia en compresión
- Resistencia en tensión
- Resistencia en cortante

- Rigidez (medida por el modulo de elasticidad)
- Flujo plástico y contracción.

De todas las propiedades mencionadas, la resistencia a compresión es la mas importante ya que todas las demás se consideran como una función de esta y por esto la practica del diseño estructural se realiza basándose en esta propiedad, además de que las propiedades físicas y químicas del concreto endurecido pueden considerarse igualmente como una función de la resistencia a compresión, de aquí se deduce el porque de dicha importancia. Por todo lo dicho en el párrafo anterior es que se considera el uso de la resistencia a compresión como un índice general de su calidad y por lo tanto la que debe verificarse mediante pruebas, sin embargo si la estructura va a quedar expuesta a ambientes agresivos al concreto debe considerarse lo expuesto en el subcapitulo II.3 ya que en estos casos una resistencia adecuada puede no ser garantía de durabilidad.

La resistencia a compresión del concreto puede definirse como la capacidad que este tiene para resistir esfuerzos de compresión.

Por lo que respecta a las dos propiedades señaladas (resistencia en tensión y resistencia en cortante) pueden definirse de igual forma como la capacidad del concreto para resistir esfuerzos de tensión y esfuerzos cortantes respectivamente.

La rigidez del concreto puede definirse como la capacidad que tiene un elemento para deformarse y se mide mediante el modulo de elasticidad, el modulo de elasticidad a su vez se obtiene como la pendiente de la recta tangente a la curva esfuerzo deformación. El flujo plástico o fluencia del material es el incremento en deformación respecto al tiempo debido a una carga sostenida y debe sumarse a la deformación elástica y a la deformación por contracción para obtener la deformación total de un elemento de concreto. Existen dos tipos básicos de contracción, la contracción plástica y la contracción por desecación.

La contracción plástica ocurre durante las primeras horas después de colocar el concreto fresco en los moldes. En este lapso, la humedad de la superficie de concreto se evapora mas rápidamente antes de ser remplazada por el agua exudada de las capas más bajas de los elementos de concreto. La contracción por desecación ocurre después de que el concreto ha alcanzado su fraguado final y se ha completado una buena parte del proceso químico de hidratación en el gel-cemento.

Las pruebas que se utilizan para obtener la resistencia a compresión del concreto se tratan en los subcapitulos II.6, II.6.1 y II.6.2.

II.5 Parámetros que determinan la calidad del concreto.

Basándose en lo que se planteo en el capitulo 1 y lo que va del capitulo 2 se puede deducir que los parámetros que determinan la calidad del concreto son las siguientes:

- 1.- Calidad del cemento, los agregados y el agua.
- 2.- Relación a/c
- 3.- Interacción o adhesión entre la pasta de cemento y el agregado

4.- Mezclado adecuado

5.- Métodos apropiados de transporte, colocación y curado

Como se ha estado mencionando un programa de control de calidad del concreto debe contemplar acciones para controlar estos parámetros, pero finalmente lo que indica la efectividad de estas acciones es la ejecución de pruebas al concreto en estado fresco y endurecido para determinar si las propiedades físicas químicas y mecánicas son las especificadas en un proyecto determinado.

II.6 Normatividad y pruebas convencionales para verificar la calidad del concreto

Las pruebas para verificar que el concreto en estado fresco y endurecido tengan un mínimo de variación en sus propiedades juegan un papel muy importante dentro de un programa de control de calidad ya que finalmente son las que indican si el resto de las actividades involucradas en la fabricación de concreto se están realizando correctamente.

En los subcapítulos anteriores II.4 y II.5 se describieron brevemente las propiedades que determinan la calidad del concreto y la importancia de la obra determinara el numero y tipo de pruebas a realizar.

En este punto es importante mencionar que aunque las pruebas son muy importantes para el control de calidad del concreto, estas no deben constituir un fin por si mismas es decir no deben ser vistas como una forma de obtener ingresos ya que esto trae como consecuencia el encarecimiento de la obra y como se sabe esto es contrario al papel de la ingeniería civil.

Debe tenerse presente que si se realizan adecuadamente los procesos señalados en la etapa de diseño de mezclas las pruebas no serian necesarias. Sin embargo si no se realizaran pruebas no se tendrían parámetros para evaluar el resto de los procesos de fabricación.

Para que las pruebas al concreto tengan validez deben efectuarse en condiciones especificadas o conocidas, existe un buen numero de organizaciones y/o institutos que se han encargado de normalizar las pruebas para el control de calidad del concreto basándose en los procedimientos normalizados

En México se siguen las normas NMX fundamentalmente entre otras.

Existen algunas diferencias en los detalles en las pruebas similares para distintos países que no modifican la esencia del procedimiento.

Las pruebas que deben realizarse en toda obra sin considerar la magnitud de esta, son la prueba para medición de la trabajabilidad y la de la resistencia a compresión, que pueden medirse en campo y en laboratorio.

La norma ASTM que describe la prueba de medición de trabajabilidad denominada como prueba de revenimiento es la B.S. 1881 parte 2:1970 y se describirá en el subcapítulo II.6.2 de forma resumida y en México las NTC remiten a la NMX-C-156-1997.

En lo que respecta a la determinación de la resistencia a la compresión, propiedad fundamental del concreto el ASTM remite a la C-39 y las NTC remiten a la NMX-C-83-1997. Un resumen de la norma ASTM C-39 se expondrá en el subcapítulo II.6.1.

En lo que a durabilidad se refiere puede decirse que raras veces ocurre que el deterioro del concreto se deba a una sola causa de las expuestas en II.3. El concreto suele ser satisfactorio a pesar de presentar ciertas características indeseables pero, si se observa un factor adverso adicional, ocurrirá un daño. Por esta razón, en ocasiones es difícil determinar que factor en particular esta causando el problema y la prueba que sé eligira para ver que tan resistente será el concreto para soportar las adversidades, pero la calidad del concreto en general, sobre todo en lo que se refiere a permeabilidad juega un papel importante, ya que los materiales que penetran en el concreto ejercen efectos adversos en su durabilidad por ejemplo cuando dichas soluciones lixivian Ca(OH)_2 o se presenta un ataque por líquidos agresivos. Tal penetración depende de la permeabilidad del concreto, puesto que la permeabilidad determina la facilidad relativa con que se puede saturar de agua el concreto, dicha característica es importante para la vulnerabilidad de este contra el hielo. Además cuando se trata de concreto reforzado, la entrada de humedad y aire puede producir corrosión en el acero de refuerzo. No existe ninguna prueba aceptada universalmente para medir la permeabilidad del concreto.

En este punto es importante volver a remarcar que el índice general de calidad de concreto suele tomarse con base en su resistencia a compresión y que por ello es la más importante y por lo tanto la que siempre debe verificarse independientemente de la magnitud de la obra.

II.6.1 Pruebas de laboratorio

Para evaluar cada propiedad física, química y mecánica del concreto existe una prueba en particular de laboratorio pero como se ha dicho, las pruebas que determinan la calidad del concreto en cualquier obra son la manejabilidad y la resistencia a compresión. A continuación se hablara un poco de la prueba para medir la manejabilidad y la permeabilidad; el resto del presente trabajo estará dedicado a pruebas para determinar la propiedad que se considera como índice de calidad total del concreto: la resistencia a compresión

Manejabilidad: la prueba que mide la manejabilidad se conoce como prueba de revenimiento y se realiza primero en laboratorio durante el diseño de mezclas y luego durante la ejecución de la obra (in situ).

En realidad la prueba de revenimiento no mide la manejabilidad del concreto pero es muy útil para detectar variaciones en la uniformidad de la mezcla de proporciones nominales determinadas facilitando con esto el control de calidad.

El molde para la prueba de revenimiento es un cono truncado de 300 mm de altura, el cual debe colocarse en una superficie lisa, con la abertura más pequeña hacia arriba y llenarse con concreto en cuatro capas. Cada capa se apisona 25 veces con una varilla de acero de 16 mm de diámetro redondeada en la punta y la superficie superior se aplana con una cuchara. El molde debe estar firmemente sostenido en la base durante el llenado, esto se facilita mediante asas o estribos ajustados al molde; inmediatamente después de llenarlo se levanta el cono lentamente y al faltarle apoyo, el concreto abatirá o revenirá, de ahí el nombre de la prueba.

La disminución en altura de la parte superior del concreto abatido se llama revenimiento y se mide con una aproximación a 55 mm. A fin de reducir la influencia de la variación en la fricción sobre el retenimiento, el interior del molde y la base deberán humedecerse al comienzo de cada prueba. Antes de levantar el molde, el área inmediata alrededor de la base del cono deberá limpiarse quitando el concreto que haya podido caer accidentalmente.

Si en lugar de revenirse uniformemente el cono, como en un revenimiento normal, la mitad del cono se desliza en un plano inclinado, se dice que ha tenido lugar un revenimiento por corte y la prueba debe repetirse, si el revenimiento por corte persiste, como puede suceder en mezclas ásperas esto es un índice de falta de cohesión en la mezcla.

Las mezclas de consistencia rígida tienen revenimiento de cero por lo que dentro de la gama de mezclas secas no se detectan variaciones entre mezclas de diferente trabajabilidad. Sin embargo en mezclas pobres con tendencia a ser ásperas un revenimiento normal puede cambiar fácilmente al tipo de corte o aun al de desplome y pueden obtenerse valores ampliamente diferentes de revenimiento de diferentes muestras de la misma mezcla.

Existen diferentes valores de revenimiento para diferentes trabajabilidades; pero debe tenerse presente que con diferentes agregados se puede registrar el mismo revenimiento para distintas trabajabilidades, pues de hecho el revenimiento no esta en relación única con el concepto de manejabilidad.

A pesar de estas limitaciones, la prueba de revenimiento se usa mucho en campo para verificar variaciones de un día a otro o de una hora a otra en los materiales que alimentan la mezcladora.

Un aumento en el revenimiento puede significar, por ejemplo, que el contenido de humedad del agregado se ha elevado inesperadamente, otra causa puede ser un cambio en la granulometría del agregado, tal vez consistente en una deficiencia de arena.

Un revenimiento muy alto o muy bajo constituye un aviso inmediato y permite al personal encargado del control de calidad remediar la situación, ya que de no hacerlo

seguramente se tendrá un concreto en estado endurecido con una variación significativa en sus propiedades en estado endurecido.

Permeabilidad: Aunque no hay pruebas prescritas, la permeabilidad del concreto se puede determinar por medio de una simple prueba de laboratorio pero los resultados son meramente comparativos. En tal prueba los lados del espécimen de concreto se sellan y se aplica agua bajo presión únicamente en la superficie superior.

Cuando se alcanzan condiciones estables (y esto puede tardar alrededor de 10 días) se mide la cantidad de agua que fluye a través de una capa de concreto dada, en un tiempo determinado. La permeabilidad del agua se expresa como coeficiente de permeabilidad k y esta dada por la expresión de Darcy

$$(1/A)(dq/dt) = k (Ah/L)$$

Donde:

dq/dt .- índice del flujo de agua

A.- área de la sección transversal de la muestra

Ah.- caída de carga hidráulica a través de la muestra

L.- espesor de la muestra

El coeficiente k se expresa en m/s

Hay otra prueba mas para determinar la absorción de superficie inicial, que se define como el índice de flujo de agua en el concreto por unidad de área, después de un tiempo dado, bajo una carga aplicada constante, y una temperatura determinada. Esta prueba proporciona únicamente información acerca de la "piel" mas delgada del concreto.

Para tener una permeabilidad mínima debe considerarse que tipo de agente químico va a estar en contacto con el concreto: ataque de sulfatos, agua de mar ataque de ácido etc. y utilizar materiales que contrarresten el efecto dañino. Independientemente de cual sea el agente agresivo al concreto, una forma de hacer concreto lo mas impermeable posible es utilizar concreto denso y, por lo tanto se debe utilizar un agregado bien graduado.

Las pruebas de permeabilidad son útiles en el sentido de que puede simularse mediante un espécimen de concreto y el agente agresivo la permeabilidad que tendrá el concreto en la estructura real y si esta no es favorable tratar de adicionar algún componente o cambiar los materiales a fin de contrarrestar esta adversidad.

Prueba de resistencia a compresión: El tener un revenimiento adecuado al tipo de obra y constante de una mezcla a otra puede no ser garantía de tener un concreto en

estado endurecido sin variación en sus propiedades, porque como se sabe se puede tener una colocación inadecuada.

La resistencia a compresión del concreto (f_c) se basa en el ensaye de cilindros estándar de relación altura /diámetro igual a 2 a los 28 días de edad. También se realizan pruebas sobre cubos y prismas (en Europa principalmente) pero cada vez existe mas la tendencia al ensaye sobre especímenes cilíndricos.

Los cilindros se fabrican por lo general en moldes de acero apoyados en una placa en su cara inferior y libres en su parte superior, donde es necesario dar un acabado manualmente. Este queda con frecuencia demasiado rugoso para que pueda apoyarse directamente la cabeza de la maquina de ensaye. Salvo en casos en que se ha tenido mucho cuidado y sé a aislado el extremo del concreto fresco con una placa de acero o bien se ha pulido la superficie rugosa, es necesario dar una preparación a los extremos del cilindro para poder asegurar que la presión queda uniformemente distribuida y que la dirección de carga es paralela al eje del cilindro. Esta operación llamada cabeceado y que consiste en aplicar un cierto material generalmente azufre o pasta de cemento a los extremos del cilindro para producir una superficie lisa de apoyo, prolonga el tiempo necesario para la preparación del ensaye e introduce una variable adicional en los resultados: el material y la forma de cabeceado.

Antes de iniciar con la obtención de especímenes es necesario fijar con gran detalle las condiciones de muestreo, fabricación, curado y ensaye. Entre estas ultimas tiene particular importancia la velocidad de carga.

Para cada procedimiento mencionado en la descripción de la prueba existe una norma en los reglamentos para realizarlo.

La interpretación estadística de resultados juega un papel importante en la determinación de la resistencia a compresión por lo que debe realizarse también basándose en un procedimiento normalizado.

Cuando las pruebas de laboratorio indican una resistencia a compresión por debajo de la especificada se recurre a pruebas de campo, pero antes se debe asegurar que las pruebas de laboratorio se realizaron de acuerdo a la norma convencional, lo mismo que el muestreo y la interpretación de resultados.

II.6.2. Pruebas in situ

Como se menciono al final del subcapitulo anterior, se recurre a pruebas in situ cuando las de laboratorio indican una resistencia menor a la especificada. También se recurre a pruebas de campo cuando se tiene una estructura de concreto ya construida a la que se le hará alguna remodelacion y de la cual no se conoce (o se tiene duda) su resistencia a compresión este problema es muy frecuente encontrarlo en la ingeniería civil.

Las pruebas in situ se clasifican en destructivas, semidestructivas y no destructivas, esta clasificación se basa según el daño que ocasionan al realizar la prueba.

La prueba de campo que tiene actualmente mas aceptación es la prueba destructiva de extracción de corazones que consiste en el ensaye de especímenes (corazones)

extraídos de la estructura real, en México las normas relacionadas con la obtención de corazones y ensaye de los mismos están dadas por las normas NMX-C-169 y NMX-C-83.

Esta prueba también consiste en el ensaye a compresión de los corazones extraídos de la estructura real en vez de los cilindros estándar y difiere con respecto a estos en las condiciones de preparación de la muestra para ser ensayada en las maquinas de prueba. La resistencia de los corazones es generalmente inferior a la de los cilindros estándar en parte como consecuencia de la operación de taladrado y en parte porque la compactación y el curado en obra es por lo general inferior al curado y compactación prescrito para las muestras estándar para pruebas, pero de la misma manera la interpretación estadística de resultados es muy importante en la determinación de la resistencia a compresión del concreto.

En este momento es importante mencionar que tanto las pruebas de laboratorio como las de campo son solo un índice de la resistencia del concreto y que para que tengan validez es necesario apegarse a las normas para la realización de estas, por lo tanto el programa de control de calidad debe tener presente siempre esta situación.

A manera de comentario se mencionara que en una revisión estructural, si los cálculos utilizando la resistencia obtenida con los corazones de prueba indican falta de capacidad de carga pueden realizarse pruebas de carga, reforzamiento de la estructura o la demolición de la misma.

Las dificultades que presenta el corte de corazones, así como todo el procedimiento para hacer curar y probar especímenes estándar prueba a hecho que salgan al mercado diferentes métodos alternativos agrupados dentro de los métodos semidestructivos y no destructivos para determinar la resistencia a compresión del concreto in situ pero como su confiabilidad no ha sido determinada del todo. Estos aparatos pudieran utilizarse confiando en los resultados del fabricante, pero dada la importancia que tiene la resistencia a compresión del concreto no es muy conveniente esta situación; los principales métodos alternativos son los siguientes:

- Prueba del martillo de rebote
- Prueba de velocidad de pulso ultrasónico
- Prueba de resistencia a la penetración
- Prueba de extracción

Dado que puede fomentarse el uso de los métodos alternativos y los resultados de estos no son confiables es necesario realizar mas experimentación para ver como son sus resultados comparados con los obtenidos del ensaye de corazones y con esto determinar si estos métodos proporcionan resultados aceptables.

La finalidad del presente trabajo es formar parte de la experimentación necesaria para determinar la confiabilidad de los métodos alternativos (prueba del martillo de rebote y prueba de extracción) para el control de calidad del concreto in situ para que

sumado al esfuerzo de otros trabajos de experimentación ayude a decidir si los resultados de estos dispositivos son confiables

III.- MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO IN SITU

III.1 Pruebas semidestructivas.

Dos de los métodos alternativos para determinar la resistencia a compresión del concreto in situ clasificados dentro de los métodos semidestructivos, son la prueba de penetración y la prueba de extracción.

En términos generales la prueba de penetración calcula la resistencia del concreto a partir de la profundidad de penetración de una varilla metálica impulsada por una carga estipulada de pólvora y el fabricante proporciona gráficas de resistencia contra penetración (o longitud expuesta de la sonda). El daño que ocasiona la sonda de penetración es una perforación de 6.3mm por lo que no se considera un daño de consideración.

Como todos los métodos alternativos aun no se dispone de una evaluación completa de la prueba ya que no se ha aplicado extensamente.

3.1.1 Prueba de extracción.

La prueba de extracción para la cual se realizo experimentación en este trabajo con el fin de determinar su confiabilidad consiste en aplicar y medir mediante un ariete de tensión la fuerza requerida para desprender un inserto de acero previamente empotrado en el elemento estructural de interés. Durante la operación se extrae un cono de concreto y la fuerza requerida para ello esta relacionada con la resistencia a compresión del concreto original. La resistencia a la extracción se calcula como la relación entre la fuerza de extracción entre el área idealizada del cono truncado, el fabricante proporciona gráficas de fuerza requerida contra resistencia para evitar el calculo de el área troncoconica del trozo de concreto. No es necesario llevar la prueba de extracción hasta su termino, es posible que baste con aplicar una fuerza determinada al inserto empotrado y si no se desprende suponer que existe la resistencia dada se considera que la prueba de extracción es superior a la de resistencia a la penetración, pues la extracción implica mayor volumen y mayor profundidad del concreto pero lógicamente el daño que ocasiona es mayor. Otra desventaja es que los insertos de prueba deben colocarse antes del colado, por lo que la planeación de la ubicación de estos elementos puede ocasionar demora en la colocación del concreto ya que estos deben colocarse conforme a especificaciones del fabricante.

La prueba de extracción es fácil de realizar y se lleva poco tiempo (10 min max) si es que la superficie de prueba queda conforme indica el fabricante, si no es así debe sumarse el tiempo necesario para la reparación de dicha superficie.

En México no existe ninguna norma para la prueba de extracción pero la ASTM cuenta con la norma C 900-82

En el subcapítulo III.3.1. se describirán las partes del equipo utilizado en la experimentación, los tipos de insertos existentes, la secuencia de pasos para la realización de la prueba así como la interpretación de resultados

III.2 Pruebas no destructivas.

Dos de los métodos alternativos para determinar la resistencia a compresión del concreto in situ agrupados dentro de la categoría de no destructivos son la prueba de velocidad de pulso ultrasónico y la prueba del martillo del rebote (o de esclerometro).

La prueba de velocidad de pulso ultrasónico consiste en medir la velocidad de ondas longitudinales en el concreto utilizando para ello un aparato de gran precisión. La velocidad de la onda no se determina directamente, sino que se calcula por el tiempo que tarda la pulsación en recorrer una distancia medida.

No existe ninguna relación especial entre esta velocidad y la resistencia del concreto pero en condiciones especificadas las dos cantidades se relacionan directamente. El factor común es la densidad del concreto un cambio en la densidad da como resultado un cambio en la velocidad de pulso. De manera similar en una mezcla dada, la relación de la densidad real con la densidad potencial (bien compactada) y la resistencia resultante se relacionan estrechamente. Así pues un descenso en la densidad causada por un incremento en la relación a/c hace disminuir tanto la resistencia a la compresión del concreto como la velocidad de un pulso ultrasónico transmitido a través de este.

La prueba de velocidad de pulso ultrasónico se emplea como medio para el control de calidad de productos que se supone están hechos de concreto similar: tanto la falta de compactación como los cambios en la relación a/c se detectan fácilmente.

El fabricante de aparatos de pulso ultrasónico proporciona resultados de resistencia a compresión vs velocidad de ondas, sin embargo también se considera que hace falta experimentación para verificar la precisión de sus resultados.

III.2.1 Prueba del Martillo de rebote.

La prueba del martillo de rebote o de esclerometro para la cual se realizó experimentación en este trabajo con el fin de determinar su confiabilidad esta basada en el principio de que el rebote de una masa elástica depende de la dureza de la superficie sobre la que golpea la masa y de que esta a su vez esta relacionada con la resistencia de la superficie. Independientemente del tipo de esclerometro de que se trate la masa (metálica) es impulsada por un resorte que tiene una cantidad fija de energía, dicho resorte es controlado por un mecanismo que también difiere según el tipo de esclerometro de que se trate, el esclerometro que se utilizo en la

experimentación de laboratorio (tipo péndulo) no necesita de la fuerza del resorte en superficies verticales ya que únicamente por gravedad la masa rebota contra el concreto.

El fabricante proporciona tablas y gráficas en donde relaciona el numero de rebote con la resistencia, que se realizaron basándose sobre un gran numero de pruebas sobre cubos a la edad de 14 a 56 días y que fueron en primer lugar sujetos a la prueba de martillo y posteriormente ensayados a compresión. Todos los cubos fueron de concreto con agregados grava/arena y cemento portland de buena calidad.

La prueba es sensible a variaciones locales en el concreto; por ejemplo, la presencia de una partícula grande de agregado en la parte superior de la superficie a probar dará como resultado un numero de rebote anormalmente elevado; por el contrario la presencia de un vacío en el mismo lugar dará un resultado demasiado bajo. Por esta razón es recomendable tomar varias lecturas bien distribuidas en el área puesta a prueba y considerar un valor promedio como representativo del concreto. También estas adversidades pueden disminuirse utilizando herramientas (piedra de carborundo o esmeril) para dejar la superficie de prueba lo mas lisa posible.

Las pruebas convencionales sobre el concreto (cilindros estándar) tienen la desventaja de que los especímenes de prueba siempre difieren en las condiciones de compactación y endurecimiento de las que se presentan en la estructura real; además el numero de pruebas de compresión es generalmente pequeño y esas pruebas solo pueden ser escogidas al azar (como indican las normas correspondientes), esto puede combinarse en mayor o menor grado con uno de esos días en que se tengan variaciones en la mezcla lo cual no es poco frecuente y que no se detecte el sitio de colocación de este concreto de baja calidad. Con la prueba de martillo todas las partes de la estructura pueden ser probadas en muy poco tiempo y así es posible determinar la variación de la calidad del concreto en diferentes partes de la estructura. Ya que la prueba es no destructiva el proceso de fraguado puede ser examinado continuamente en forma precisa.

Frecuentemente no se toman en cuenta los efectos debidos al uso de la estructura a la erosión o a otros factores climáticos, la prueba de esclerometro proporciona de manera más rápida que la extracción de corazones cuales son las zonas mas afectadas por estos factores adversos. De la misma manera para determinados concretos no se consideran efectos de esperar demasiado para colocarlo (concreto para carpetas o estructuras hidráulicas) o donde se tienen influencias climáticas adversas, en casos parecidos la prueba de martillo sobre la superficie exterior es obviamente mejor para el control de calidad que la prueba de compresión (cilindros estándar o corazones) porque detecta mas fácilmente la variabilidad de la mezcla.

En México la única norma que existe para la prueba de esclerometro es la NMX-C-192-1997-ONNCCE, pero esta es para un tipo de martillo diferente al que se utilizo en la experimentación de laboratorio en este trabajo, y en la cual se indica que este método no debe ser utilizado como una alternativa para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto. En este punto es importante recordar que el objetivo de este trabajo es determinar el rango de confiabilidad de este método.

En el subcapitulo III.3.2. se describirán las partes del equipo utilizado en la experimentación, , la secuencia de pasos para la realización de la prueba así como la interpretación de resultados

III.3 Equipos, descripción, operación e interpretación de resultados

En los dos subcapitulos siguientes (III.3.1 y III.3.2) se describirán las características de los equipos que se utilizaron para la realización de las pruebas de extracción y del martillo de rebote (esclerometro de péndulo) así como la secuencia de pasos para la realización de las pruebas y la interpretación de resultados.

III.3.1. Lok Test (prueba de extracción).

Los componentes principales de este equipo se muestran en las paginas A1 y A2 del anexo A y se enlistan acontinuacion.

- 1.- Ariete de tensión L-11.3
- 2.- Cople de transmisión de fuerza
- 3.- Tornillo de extracción
- 4.- Disco de centro
- 5.- Insertos
- 6.- Extensión de contrapresion
- 7.- Maneral para ensamble de conjunto de entrada
- 8.- Maneral para retirar tronco del inserto
- 9.- Desarmador plano convencional

El esfuerzo máximo permisible en este equipo indicado por el fabricante es el equivalente a cilindros estándar de 69 MPa (703.60 kg/cm²), sin embargo los tornillos de extracción del equipo deben por razones de seguridad no sobrepasar los 50 KN (5098.6 kg).

El ensamble formado por el cople de transmisión de fuerza, el tornillo de extracción y el disco de centro recibe el nombre de conjunto de entrada. El tornillo de extracción se coloca en el barreno central del cople de transmisión de fuerza, es decir la cabeza del tornillo de extracción queda en la parte interna del cople de transmisión de fuerza y el extremo roscado se pasa por el barreno del disco de centro. El conjunto de entrada se muestra en la pagina A3 del anexo A.

Los insertos constan básicamente de dos partes: el disco y el tronco ensamblados como si fueran tuerca y tornillo respectivamente como se muestra en la pagina A4 del anexo A, estos elementos quedan embebidos dentro del concreto. Existen tres tipos de insertos que son clasificados de acuerdo al propósito de prueba y a la forma de ser colocados en el miembro de concreto a ser probado.

- L-40 para determinar la resistencia a compresión del concreto a los 28 días (con este tipo de inserto es con el que se realizo experimentación).
- L-42 para determinar la resistencia a compresión del concreto a temprana edad.
- L-49 inserto flotante para determinar la resistencia del concreto en la parte superior de muros de concreto y/o losas

El inserto de control L-40 se utiliza para probar la resistencia del concreto a los 28 días , este tipo de inserto es clavado en la cimbra previamente en la cara en contacto y **solo puede realizarse la prueba después de que la cimbra a sido retirada** como se muestra en la pagina A5 del anexo A.

Cuando la cimbra es removida el disco de colocación usualmente se rompe una parte queda en el tornillo de conexión y la otra pegada en la cimbra. En otras ocasiones el disco queda dentro del concreto. Es sencillo localizar el inserto localizando cuidadosamente el color rojo del disco. Posteriormente se retira de la cimbra la parte sobrante del disco y lo mismo en la parte del concreto removiendo el tornillo de centro que se muestra en la pagina A6 del anexo A.

Secuencia de la prueba con el inserto L-40

Antes de iniciar la prueba no olvidar retirar el disco de colocación de madera de la superficie del concreto. Seguir las instrucciones para remover el disco (vistas anteriormente)

Se revisa la superficie de prueba. Esta tiene que ser plana y sin irregularidades.(lo mas lisa posible) Para checar lo liso de la superficie presionar la extensión de contrapresion (parte numero 6 (ver partes del equipo) contra la superficie de prueba. La extensión de contrapresion no debe tener juego.

La indicación física de la zona de falla (zona de prueba o donde se instala el disco) sirve para decidir si es conveniente continuar con los preparativos de la prueba o no suponiendo que el tipo de superficie de falla no es satisfactorio no se recomienda realizar la prueba.

Existen tres tipos de zonas de falla posible al retirar el inserto y una forma en particular de repararlas en caso de no ser satisfactorias para la prueba, esta reparación en términos generales consiste en dejar la superficie lo mas plana posible y sin irregularidades.

El maneral para quitar el tronco del inserto (ver parte 8 del equipo) se introduce dentro del tronco dándole vueltas en el sentido de las manecillas del reloj como se muestra en la pagina A7 del anexo A. Cuando el maneral a sido introducido completamente dentro del tronco se siente una resistencia adicional (ya no entra con la misma facilidad inicial). Seguir girando el maneral quita tronco en la misma dirección. El material que provoca la resistencia adicional es un material que sella las cuerdas del tronco y el disco y el giro hace que este finalmente se rompa. El tronco saldrá hacia el operador entonces el disco queda separado.

Introducción del conjunto de entrada en el disco del inserto.

Meter el conjunto de entrada al disco en sentido antihorario con el maneral correspondiente (ver partes del equipo numero 7) como se ilustra en la pagina A8.

En un numero de seis rotaciones del tornillo de extracción dentro del disco se percibirá que no es posible ya girar mas el maneral. En este momento retroceder el tornillo de extracción girando el maneral en sentido horario aproximadamente $\frac{1}{4}$ de vuelta para que el cople de transmisión de fuerza gire libremente. La cuerda del tornillo de extracción tiene que penetrar completamente en el disco de otra forma la trayectoria del pistón del instrumento puede no ser suficiente para producir la falla del concreto durante la aplicación de carga o no tener el resultado deseado.

Ensamble del instrumento en el conjunto de entrada.

El instrumento (ariete de tensión L-11.3; ver lista de componentes en III.3.1) se prepara para la prueba girando el telescopio en sentido antihorario hasta extenderlo completamente (hasta el tope). Usar el mango interior para extender rápidamente el telescopio. Los tres tornillos que se encuentran en frente del instrumento cubiertos por el instrumento son los que directamente extraen el cono truncado del concreto a ser probado y es lo que se ensambla con el cople de transmisión de fuerza como se muestra en la figura A9 del anexo A. Presionar suavemente los tornillos del aparato contra la superficie ocupada por el cople de transmisión de fuerza. Girar el cople de transmisión de fuerza en sentido antihorario utilizando para ello las ranuras que tiene el instrumento en esta zona hasta que se sienta que no es posible girarlo mas. El cople de transmisión de fuerza gira completamete $\frac{1}{4}$ de vuelta.

Es conveniente dejar un pequeño espacio entre la parte frontal del instrumento y la superficie del concreto.

Si el instrumento no puede ensamblarse al cople de transmisión de fuerza puede ser porque el inserto no esta perpendicular a la superficie. Verificar que el plato de centrado este nivelado con la superficie. Si existe un espacio en la circunferencia la prueba debe ser rechazada (El plato de centrado debe estar exactamente al ras). El aparato esta diseñado para pruebas en superficies perpendiculares la tolerancia aceptable son 2 o 3 grados. Otra razón por la cual el aparato no pueda ensamblarse es porque la superficie no es lo suficientemente lisa, verificar las irregularidades y si

existen removerlas. Posteriormente acoplar otra vez el instrumento. Cuando es notable el acoplamiento del instrumento checar en primer lugar que el mango del telescopio este completamente extendido posteriormente empujar hacia el cople de transmisión de fuerza y girar $\frac{1}{4}$ de vuelta en sentido horario

Ejecución de la prueba.

Sujetar con una mano la parte entre el cilindro del instrumento y el cilindro inferior (el que contiene los mangos para girar el aparato). Para aplicar la carga utilizar el mango externo girándolo en sentido horario. **Girar lentamente a un ritmo constante de aproximadamente una vuelta cada dos segundos.** Después de que se llegue a la distancia entre la parte frontal del aparato y la superficie del concreto la manecilla indicadora iniciara movimiento, al inicio de dicho movimiento la manecilla se moverá con velocidad constante y cerca de la carga de falla la velocidad decrecerá.

La velocidad de giro del mango de aplicación de fuerza en todo momento debe ser constante (un giro cada dos segundos)

El instrumento estándar tiene un mecanismo integrado para medir la velocidad de aplicación de carga mientras que para el instrumento automático se deja al ingenio del operador la forma de medición de dicho tiempo.

La velocidad de carga no afecta el resultado de la prueba al inicio de esta siempre y cuando la carga de falla se obtenga en los últimos 15 segundos de aplicación constante.

Comparación entre fuerza requerida y resistencia

Cuando la auja indique la fuerza de extracción equivalente a la resistencia anotarla para posteriormente sustituirla en la formula de conversión (que se describirá mas adelante en la interpretación de resultados) para obtener la resistencia del concreto. La fuerza es mantenida en la carátula por cinco segundos después el aparato se desacopla (se retira el cople de transmisión de fuerza) y se quita el tornillo de extracción del disco.

En ocasiones es posible que la carga máxima pueda mantenerse de 1 a 2 segundos y después descender lentamente.

El operador siempre debe asegurarse de tomar firmemente el aparato con una mano al realizar la prueba, el tornillo de extracción puede romperse debido a que no se encuentra instalado de forma perpendicular a la superficie o a la sobrecarga del mismo.

Como se sabe se tiene la ventaja de que la prueba no es totalmente destructiva en caso de que la prueba haya fallado el daño ocasionado no es será de consideración.

Aunque no se realizo experimentación alguna con los insertos L-42 y L-44 se dará la descripción general de estos así como de su preparación para la realización de la prueba.

El inserto de control L-42 con disco de acero L-44 se utiliza para probar la resistencia de miembros de concreto en proceso de endurecimiento desde la parte inferior de una losa o una cara vertical para operaciones de carga temprana. Antes de colar el inserto es fijado a un trozo de madera separable (que no forme parte de la cimbra) permitiendo realizar la prueba antes de que la cimbra sea retirada; la cimbra puede ser de madera o metálica.

El inserto L-42 con disco de acero L-44 es usado para pruebas si quitar la cimbra para determinar su resistencia cuando en esta se vayan a realizar operaciones de carga temprana.

La instalación del disco del inserto se realiza taladrando un trozo de madera donde entre el disco de acero de 10 cm de diámetro y sacarlo fuera de la cimbra.

El disco se sujeta en un cuadrado de 15cm x 15 cm. A 7mm taladrar un barreno y apretar contra el disco de acero L-44 con el tornillo y la arandela. La unidad es mas segura si se instalan cuatro tornillos. Es recomendable lubricar todas las ranuras y barrenos del arreglo antes del vaciado del concreto.

Es conveniente colocar uno o dos metros de cinta roja debajo del inserto para que el técnico localice la posición donde se realizara la prueba.

De manera similar se realiza la instalación en cimbra metálica pero se utilizan tornillos de mariposa para realizar el ensamble.

Notas:

- Recordar destornillar el centro del tornillo del tronco antes de remover el ensamble obturador. De otra forma podrían dañarse los componentes del disco y del ensamble en general.

- Es recomendable siempre apretar la cara del disco de acero L-44 contra el inserto.

El inserto flotante L-49 se coloca adentro del molde arriba de la superficie por ejemplo en losas y/o en la parte superior de muros. El inserto L-49 tiene que ser instalado adecuadamente como se indica mas adelante, de otro modo es posible que los resultados de la prueba no sean satisfactorios.

La practica que se necesita para el inserto flotante L-49 se describe enseguida; es muy fácil instalar incorrectamente el inserto si no se siguen cuidadosamente las instrucciones. La presencia del inserto L-49 puede ocasionar que (en losas por ejemplo) no se le de un buen acabado a la superficie involucrada amenos que se tomen las debidas precauciones.

Para la instalación correcta del inserto flotante L-49 es importante sumergir el inserto y que este quede flotando entre 5 y 10 cm.

Antes y después de la vibración del concreto inclinar el inserto de 20 a 25 grados el inserto puede ser mantenido en posición inclinada con un poco de relleno de concreto en un lado de la copa. Para tener el inserto firmemente sumergido en el concreto la distancia mínima entre el disco de acero y la superficie del concreto es de 10 cm. Se debe tener precaución de no realizar la prueba en condiciones meteorológicas adversas pues se podría subestimar la resistencia del concreto.

Al tiempo de realizar la prueba remover los restos de concreto si se requiere con cincel y martillo (cuidadosamente)

El tornillo central es removido al mismo tiempo que la copa flotante y el disco de acero que esta debajo se remueve con un desarmador. Soplar (eliminar) el polvo del lugar donde se va a realizar la prueba. Se tiene que tener el debido cuidado para que el polvo no penetre en la cuerda del tronco (lugar en donde entra el instrumento). Remover los terrones (los que fueron necesarios para inclinar el inserto) de la superficie de prueba con un desarmador ya que la superficie de prueba tiene que ser lisa y plana.

Nota: si el inserto se inclina mas de 25 grados será difícil remover el tornillo del tronco.

Recomendaciones generales para la colocación de insertos.

Se recomienda instalar un numero mínimo de dos insertos en el lugar de interés y tomar el valor de la resistencia promedio.

Todos los insertos tienen que colocarse en sitios que disten por lo menos 10 cm de los bordes o de las esquinas del elemento a ser probado. La distancia entre dos insertos con los que se pretenda verificar la resistencia en una misma área debe ser 20 cm mínimo y 30 cm máximo.

Interpretación de resultados.

Para la conversión de la fuerza de extracción a resistencia del concreto pueden usarse la siguientes fórmulas:

$$f'_c = \frac{F_u - 1.0}{0.96} \dots\dots\dots(3.1) \qquad \text{para } 2 \text{ kN} \leq F_u < 25 \text{ kN}$$

$$f'_c = \frac{F_u - 5.0}{0.80} \dots\dots\dots(3.2) \qquad \text{para } 25 \text{ kN} \leq F_u < 60 \text{ kN}$$

Las expresiones 3.1 y 3.2 se obtuvieron apartir de un muestreo amplio y aplicando las técnicas estadísticas de regresión lineal, y el resultado obtenido esta en MPa.

Calibración del instrumento

Las lecturas en KN sobre el manómetro del instrumento están calibradas cuando se adquiere el dispositivo y por lo tanto este puede emplearse inmediatamente después de su compra. Las lecturas registradas durante la prueba son confiables a menos que el aparato sufra algún daño.

Sin embargo la experiencia con 700 instrumentos durante un periodo de 15 años indica que el instrumento debe recalibrarse cuando:

- Después de 1000 pruebas, o
- En caso de que el instrumento haya sufrido algún daño (p.e. haber permanecido inclinado mucho tiempo), o
- Cuando se encuentre en servicio, (mantenimiento) por lo menos una vez al año.

En caso de que la aguja sufra algún daño, en caso de que el manómetro sea cambiado, el instrumento debe volver a calibrarse.

Para la calibración el instrumento es conectado a una unidad de calibración especial, las lecturas se comparan cada 5 KN (comparación entre la unidad de calibración y el instrumento).

Mantenimiento

Es recomendable que todos los componentes del lok test estén libres de corrosión y ligeramente aceitados. Es importante que el disco de centrado conserve sus 55 mm de diámetro y que el tornillo de extracción este intacto.

El trayecto principal del pistón es importante que sea de 4.5 mm mínimo, esto puede checarce extendiendo completamente el mango del telescopio y midiendo la parte frontal interior del instrumento con respecto a la exterior coincidente. La distancia puede verificarse con un calibrador.

En caso de que la trayectoria del pistón sea menor que 4.5 mm el instrumento necesita recarga de aceite. Para realizar esta operación se extiende totalmente el mango del telescopio manteniendo el instrumento en posición vertical. Quitar con el desatornillador los pequeños tornillos de la placa que oculta el tornillo del barreno por donde se introduce el aceite, este último tornillo también debe retirarse lo mismo que su empaque de hule introducir la copa para recargar aceite en el barreno y meter completamente el mango del telescopio, aceite y aire atrapado subirán y quedaran dentro de la copa.

Volver a llenar la copa hasta aprox 10 mm debajo de su parte superior. Asegurarse de utilizar solo aceite "Lok test oil" ya que si se utiliza otro tipo el aparato se ira dañando gradualmente.

Girar el mango del telescopio en sentido antihorario hasta que este completamente extendido, el aceite será succionado hacia adentro del instrumento, si el aceite no penetra desextender y extender el mango de telescopio hasta que se introduzca.

Una vez que se haya hecho la recarga de aceite checar que el recorrido del pistón sea de 4.5 mm mínimo

Pueden presentarse fugas de aceite del instrumento que el fabricante resuelve según sea el caso.

III.3.2. Esclerometro de péndulo

El fabricante recomienda el uso de este equipo para concretos con resistencias de diseño de 50 a 254 kg/cm². Los componentes principales de este equipo se muestran en la pagina B1 del anexo B y se en listan acontinuación:

- 1.- Perilla giratoria
- 2.- Mango
- 3.- Cojinete de soporte.
- 4.- Martillo
- 5.- Colocador de posición (seguro)
- 6.- Pulsador de arranque
- 7.- Cabeza de martillo
- 8.- Escala.
- 9.- Anillo de ajuste
- 10.- Barreno para lubricación

Posición de la perilla giratoria para la ejecución de pruebas verticales y horizontales.

Para pruebas sobre superficies horizontales la marca (M) señalada en la pagina B1 del anexo B debe estar en la posición en la que el reloj indica las 2:00 y en superficies verticales la posición de las 10:00.

Para cambiar de una posición a otra sujetar firmemente el martillo y poner el seguro en la lectura 75 de la escala y girar la perilla para hacer el cambio.

Pruebas sobre superficies verticales.

Asegúrese que la marca (M) este en la posición del reloj a las 10:00. Sujetar el aparato exactamente sobre el mango y presionar firmemente contra lo que se va a probar. Las áreas de soporte (3) deben estar en contacto firmemente con la superficie a probar sujetar el indicador de posición del martillo del lado izquierdo del operador y llevar el martillo hasta la posición mas alta. Inmediatamente apretar con el pulgar el botón de arranque, leer el valor del rebote en la escala (8) y seleccionar un nuevo lugar para la siguiente prueba.

Pruebas sobre superficies horizontales.

La marca (M) de la perilla giratoria debe estar en la posición del reloj a las 2:00 presionar el aparato firmemente contra la superficie a ser probada sujetar el indicador de posición de el martillo del lado izquierdo del operador y llevar el martillo hasta la posición mas alejada. Soltar el impacto ocupando el dedo pulgar y leer el valor del rebote.

Ejecución de la prueba e interpretación de resultados.

1.- Selección de los sitios adecuados para realizar las pruebas: evitar formas de juntas y áreas porosas.

En partes estructurales esbeltas poner especial atención ya que en estos la prueba de martillo puede dar una mala indicación (losas y paredes de menos de 10 cm de espesor, columnas con menos de 12 cm de espesor) ya que la mayor elasticidad de estas partes estructurales puede dar una lectura errónea.

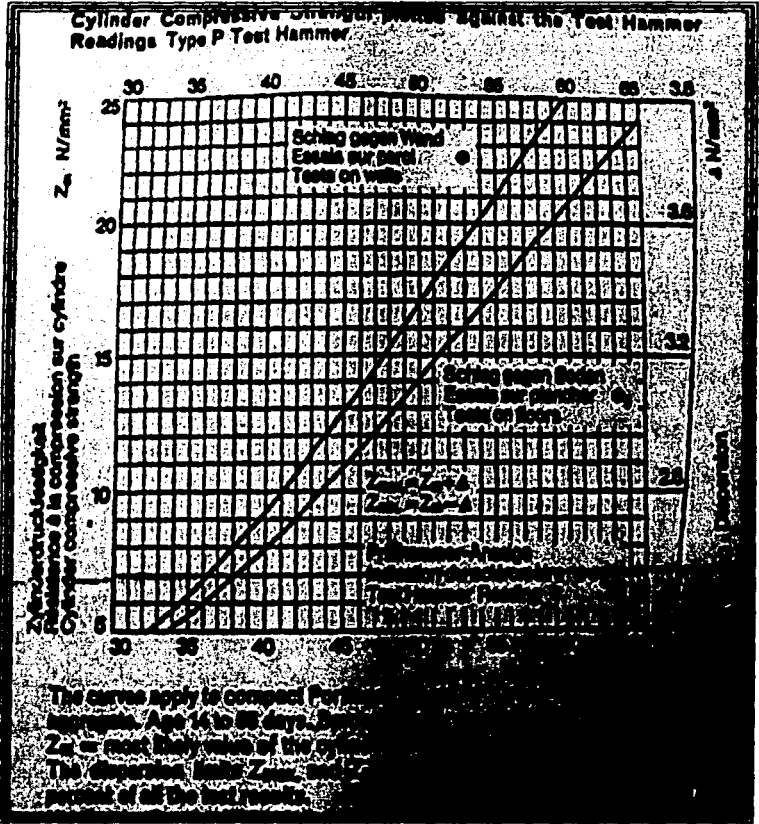
2.- Preparación de los sitios de prueba: Antes de empezar con las pruebas retirar residuos de material para aplanado o capas de pintura presentes y en caso de presentarse superficies rugosas alisar la superficie con algún dispositivo para alisar (esmeril por ejemplo)

La cara superior del concreto solo es adecuada para las pruebas de martillo si la mezcla del cemento pegada es previamente retirada

En concretos viejos remover las partes deterioradas (flojas por ejemplo) de 1/2" a 4" según se considere necesario en profundidades verticales y horizontales. La experiencia indica que una lijadora manual de alta velocidad con una piedra de 5" de diámetro será suficiente para este trabajo. La superficie lijada debe ser tal que permita de 5 a 10 impactos de prueba hechas en el concreto sin golpear el agregado del concreto como regla una área de 10 x 10 cm será suficiente.

En todas las lecturas del aparato anotadas se debe tener en consideración solamente los resultados obvios, los resultados "disparados deben ser eliminados y remplazados por mas impactos de prueba. El numero de rebote final en una zona debe tomarse como el promedio de todas las lecturas efectuadas.

3.- La resistencia a compresión equivalente a la de un cilindro de concreto se determina en la gráfica que se muestra a continuación:



Mantenimiento del equipo

El aparato no requiere mantenimiento especial, únicamente se necesita verificar que la trayectoria del martillo este limpia para evitar frenado. se puede limpiar la guía del martillo con gasolina blanca. Cuando la guía llegue a ponerse áspera o rugosa por causa del polvo generado durante las pruebas, pase suavemente sobre la superficie

una tela de lija delgada. Lavar ocasionalmente el martillo con gasolina blanca e introducir por el barreno de lubricación aceite de parafina.

Antes de realizar pruebas horizontales, verifique que el resorte deje al martillo en posición de cero en la "escala".

Calibración del equipo

1.- La prueba yunque sirve para verificar la adecuada operación de la prueba de martillo. El yunque debe estar sobre un lugar de soporte sólido (sólido pesado, piedra de fondo, tabla sólida piso de piedra).

Peso del yunque aprox.70 lb. Material de acero endurecido de dureza HB = 500 (7000000 psi).

2.- La prueba de martillo tipo P debe dar lecturas entre 175-178.

Todos los días debería ser probado el martillo sobre el yunque o cuando menos en periodos regulares de tiempo. (cada martillo debe probarse).

3.- Si no se tiene yunque comparar resultados con los obtenidos con un martillo nuevo o con uno recién ajustado. realizar la comparación sobre una superficie tan dura como sea posible

IV.- PROGRAMA DE PRUEBAS.

IV.1 Modelo experimental para determinar la confiabilidad del Esclerometro de péndulo y del Lok test.

El objetivo primordial de este estudio fue establecer la confiabilidad de los métodos alternativos para determinar la resistencia a compresión del concreto in situ conocidos como prueba del Esclerometro de péndulo y Lok test; dicha confiabilidad se realizó comparando los resultados obtenidos de estos dispositivos con los obtenidos de los ensayos de corazones de concreto.

Con la finalidad de establecer una comparación entre los resultados proporcionados por los métodos alternativos y los corazones se realizaron bloques de concreto de tamaño suficiente para que por un lado fuera posible realizar la extracción de estos últimos y por otro que en el mismo bloque se efectuaran las pruebas de esclerometro de péndulo y Lok test, ya que con esto se estaría probando un mismo elemento de concreto con todos los métodos y por lo tanto se podría hablar de comparación de resultados así como de confiabilidad de los métodos alternativos con respecto a los corazones de concreto.

Bloques de concreto.

Se fabricaron tres bloques de concreto con resistencias de diseño de 150, 200 y 250 kg/cm² cuyas dimensiones fueron 73x41x40 cm utilizando cimbra de madera de acabado no aparente pero en buen estado de conservación.

Diseño de mezclas.

El diseño de mezclas se elaboro en base al método del ACI (sin incluir ningún aditivo) utilizando agregados comunes en el Distrito Federal y con la ayuda del personal del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad nacional Autónoma de México.

Colocación del concreto.

La colocación del concreto sobre los bloques se llevo a cabo en tres capas cada una siendo compactada a 25 golpes con una varilla idéntica a la que se utiliza para la elaboración de los cilindros de control.

Curado del concreto.

El curado de los bloques de concreto consistió en agregar un poco de agua al finalizar el colado; 24 horas después se quito la cimbra y se metieron al cuarto de curado del laboratorio de la FI a una temperatura estable de 21°C, lo mismo se hizo con los cilindros de control.

Ejecución de las pruebas

A los 28 días de haber sido colados los bloques de concreto se sacaron del cuarto de curado del laboratorio de la FI lo mismo que los cilindros de control de cada dosificación, las pruebas en cada bloque se ejecutaron de acuerdo al siguiente orden:

- Ensaye de cilindros de control
- Esclerometro de péndulo.
- Lok test.
- Extracción y ensaye de corazones.

Cilindros de control

Para el ensaye de los cilindros de control se siguieron las normas NMX-C-109 y la NMX-C-83 referentes al cabeceado y al ensaye a compresión de cilindros de concreto respectivamente. Para esta actividad se utilizo el equipo Solitest modelo CT-750. El resultado de los ensayes se muestra en la tabla 4.1

Esclerometro de péndulo

Para la ejecución de pruebas con el esclerometro de péndulo se dividieron cada una de las superficies mas grandes del bloque en cuatro partes, numerando cada una de estas, las superficies mas pequeñas en dos partes.

Cada parte de superficie del bloque fue sometida a pruebas verticales y horizontales con el esclerometro, en cada una de ellas se aplicaron cinco impactos en ambas posiciones. Para la ejecución de las pruebas se siguieron todas las instrucciones descritas en el capitulo 3, los resultados obtenidos se muestran en las tablas 4.2, 4.2a; 4.3,4.3a; 4.4 y 4.4a. En las paginas C1 y C2 del anexo C se muestra la ejecución de prueba vertical y horizontal respectivamente.

Lok test

Los insertos de control tipo L-40 para la ejecución de la prueba de extracción se instalaron al momento de fabricar la cimbra de los bloques; se instalaron un total de 4 insertos de control por cada bloque, así mismo se respetaron las distancias del inserto a los bordes del bloque y entre insertos. Durante los ensayes se pudo observar que la extracción del cono truncado en forma integra solo se pudo obtener en los concretos de $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$, los resultados de esta prueba se muestran en las tablas 4.5. En la pagina C3 del anexo C se muestra la extracción del cono truncado y en la C4 la totalidad de estos.

Corazones de concreto

Para la extracción de corazones se recurrió a la norma NMX-C-169-88 y se utilizó el equipo Dewalt modelo DW194 para la prueba de compresión, todos los corazones se obtuvieron en posición horizontal como se muestra en página C5 del anexo C. Se extrajeron cinco corazones por bloque excepto en el de 150 kg/cm² en donde únicamente se obtuvieron dos.

En las páginas siguientes se muestran todas las tablas de resultados mencionadas en este capítulo; las conclusiones obtenidas basándose en los resultados proporcionados por cada método se presentan en el capítulo 5.

TABLA 4.1 ENSAYE A COMPRESION DE CILINDROS DE CONTROL

| RESISTENCIA DE DISEÑO | CILINDRO 1 | CILINDRO 2 | CILINDRO 3 | PROMEDIO | DESVEST | COEF DE CORREL. |
|-----------------------|------------|------------|------------|----------|---------|-----------------|
| kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 | |
| 150 | 134.70 | 135.80 | 132.40 | 134.30 | 1.42 | 0.01 |
| 200 | 272.00 | 167.00 | 209.00 | 216.00 | 43.15 | 0.50 |
| 250 | 321.44 | 325.44 | 296.54 | 314.47 | 12.70 | 0.04 |

El resultado del ensayo de cilindros a compresion se muestra en la columna de promedio

TABLA 4.2 PRUEBAS CON ESCLEROMETRO DE PENDULO

RESISTENCIA DE DISEÑO 150 kg/CM2

PRUEBAS VERTICALES

| CARA | CUADRO | # REBOTE 1 | # REBOTE 2 | # REBOTE 3 | # REBOTE 4 | PROM x CUADRO | PROM x CARA |
|---------------------------------------|--------|------------|------------|------------|------------|---------------|-------------|
| A | 1 | 37 | 34 | 31 | 40 | 35.50 | 35.19 |
| | 2 | 32 | 38 | 31 | 36 | 34.25 | |
| | 3 | 38 | 31 | 37 | 32 | 34.50 | |
| | 4 | 35 | 36 | 37 | 38 | 36.50 | |
| B | 1 | 36 | 30 | 34 | 45 | 38.50 | 34.00 |
| | 2 | 29 | 32 | 32 | 25 | 29.50 | |
| C | 1 | 38 | 41 | 45 | 37 | 40.25 | 40.13 |
| | 2 | 43 | 37 | 40 | 40 | 40.00 | |
| D | 1 | 31 | 34 | 30 | 34 | 32.25 | 38.44 |
| | 2 | 41 | 47 | 35 | 45 | 42.00 | |
| | 3 | 34 | 33 | 38 | 40 | 36.25 | |
| | 4 | 50 | 43 | 40 | 40 | 43.25 | |
| E | 1 | 40 | 32 | 36 | 37 | 36.25 | 40.06 |
| | 2 | 39 | 45 | 45 | 43 | 43.00 | |
| | 3 | 34 | 42 | 46 | 40 | 40.50 | |
| | 4 | 40 | 45 | 40 | 37 | 40.50 | |
| F | 1 | 45 | 50 | 41 | 40 | 44.00 | 45.31 |
| | 2 | 47 | 49 | 46 | 46 | 47.00 | |
| | 3 | 49 | 45 | 44 | 41 | 44.75 | |
| | 4 | 49 | 45 | 41 | 47 | 45.50 | |
| PROMEDIO DE PRUEBAS VERTICALES x CARA | | | | | | | 38.85 |
| DESVIACION ESTANDAR | | | | | | | 3.70 |
| COEFICIENTE DE CORRELACION | | | | | | | 0.10 |

De la tabla proporcionada para el fabricante para el numero de rebote obtenido se tiene una resistencia a compresion del concreto de: 87.69 kg/cm2

TABLA 4.2A PRUEBAS CON ESCLEROMETRO DE PENDULO

RESISTENCIA DE DISEÑO 150 kg/CM2

PRUEBAS HORIZONTALES

| CARA | CUADRO | # REBOTE 1 | # REBOTE 2 | # REBOTE 3 | # REBOTE 4 | PROM x CUADRO | PROM x CARA |
|---|--------|------------|------------|------------|------------|---------------|-------------|
| A | 1 | 35 | 32 | 34 | 39 | 35.00 | 33.06 |
| | 2 | 33 | 37 | 34 | 37 | 35.25 | |
| | 3 | 33 | 29 | 30 | 28 | 30.00 | |
| | 4 | 35 | 25 | 34 | 34 | 32.00 | |
| B | 1 | 40 | 35 | 37 | 38 | 37.50 | 39.88 |
| | 2 | 43 | 42 | 43 | 41 | 42.25 | |
| C | 1 | 49 | 39 | 46 | 46 | 45.00 | 42.88 |
| | 2 | 42 | 45 | 38 | 38 | 40.75 | |
| D | 1 | 40 | 40 | 30 | 38 | 37.00 | 38.81 |
| | 2 | 43 | 38 | 42 | 39 | 40.50 | |
| | 3 | 40 | 41 | 35 | 36 | 38.00 | |
| | 4 | 40 | 44 | 36 | 39 | 39.75 | |
| E | 1 | 41 | 35 | 36 | 34 | 36.50 | 37.38 |
| | 2 | 42 | 37 | 33 | 38 | 37.50 | |
| | 3 | 31 | 37 | 39 | 36 | 35.75 | |
| | 4 | 35 | 43 | 40 | 41 | 39.75 | |
| F | 1 | 46 | 47 | 51 | 52 | 49.00 | 50.375 |
| | 2 | 46 | 55 | 54 | 55 | 52.50 | |
| | 3 | 52 | 56 | 51 | 46 | 51.25 | |
| | 4 | 50 | 45 | 50 | 50 | 48.75 | |
| PROMEDIO DE PRUEBAS HORIZONTALES x CARA | | | | | | | 40.40 |
| DESVIACION ESTANDAR | | | | | | | 5.34 |
| COEFICIENTE DE CORRELACION | | | | | | | 0.13 |

De la tabla proporcionada para el fabricante para el numero de rebote obtenido se tiene una resistencia a compresion del concreto de: 82.08 kg/cm2

TABLA 4.3 PRUEBAS CON ESCLEROMETRO DE PENDULO
RESISTENCIA DE DISEÑO 200 kg/cm²
PRUEBAS VERTICALES

| CARA | CUADRO | # REBOTE | # REBOTE 2 | # REBOTE 3 | # REBOTE 4 | PROM x CUADRO | PROM x CARA |
|---------------------------------------|--------|----------|------------|------------|------------|---------------|-------------|
| A | 1 | 51 | 59 | 54 | 57 | 55.25 | 48.88 |
| | 2 | 48 | 46 | 40 | 46 | 45.00 | |
| | 3 | 53 | 49 | 47 | 45 | 48.50 | |
| | 4 | 48 | 47 | 46 | 46 | 46.75 | |
| B | 1 | 54 | 52 | 59 | 47 | 53.00 | 52.00 |
| | 2 | 49 | 54 | 44 | 57 | 51.00 | |
| C | 1 | 50 | 48 | 53 | 42 | 48.25 | 52.75 |
| | 2 | 60 | 60 | 56 | 53 | 57.25 | |
| D | 1 | 53 | 45 | 46 | 42 | 46.50 | 50.94 |
| | 2 | 54 | 46 | 60 | 48 | 52.00 | |
| | 3 | 53 | 53 | 51 | 53 | 52.50 | |
| | 4 | 56 | 53 | 51 | 51 | 52.75 | |
| E | 1 | 48 | 45 | 52 | 46 | 47.75 | 51.00 |
| | 2 | 48 | 43 | 51 | 53 | 48.75 | |
| | 3 | 56 | 51 | 42 | 57 | 51.50 | |
| | 4 | 60 | 50 | 54 | 60 | 56.00 | |
| F | 1 | 37 | 60 | 60 | 60 | 59.25 | 58.75 |
| | 2 | 51 | 61 | 59 | 61 | 58.00 | |
| | 3 | 63 | 57 | 52 | 54 | 56.50 | |
| | 4 | 52 | 63 | 65 | 65 | 61.25 | |
| PROMEDIO DE PRUEBAS VERTICALES x CARA | | | | | | | 52.39 |
| DESVIACION ESTANDAR | | | | | | | 3.09 |
| COEFICIENTE DE CORRELACION | | | | | | | 0.06 |

De la tabla proporcionada por el fabricante para el numero de rebote obtenido se tiene una resistencia a compresion del concreto de: 191,70 kg/cm²

TABLA 4.3A PRUEBAS CON ESCLEROMETRO DE PENDULO
RESISTENCIA DE DISEÑO 200 kg/cm²
PRUEBAS HORIZONTALES

| CARA | CUADRO | # REBOTE | # REBOTE 2 | # REBOTE 3 | # REBOTE 4 | PROM x CUADRO | PROM x CARA |
|---|--------|----------|------------|------------|------------|---------------|-------------|
| A | 1 | 52 | 50 | 56 | 45 | 50.75 | 49.06 |
| | 2 | 45 | 47 | 50 | 56 | 49.50 | |
| | 3 | 44 | 44 | 48 | 43 | 44.75 | |
| | 4 | 52 | 47 | 54 | 52 | 51.25 | |
| B | 1 | 61 | 55 | 52 | 53 | 55.75 | 57.50 |
| | 2 | 55 | 61 | 56 | 65 | 59.25 | |
| C | 1 | 51 | 50 | 57 | 50 | 52.00 | 54.25 |
| | 2 | 57 | 53 | 62 | 54 | 56.50 | |
| D | 1 | 50 | 55 | 52 | 54 | 52.75 | 54.06 |
| | 2 | 55 | 52 | 48 | 48 | 50.75 | |
| | 3 | 60 | 60 | 52 | 56 | 57.00 | |
| | 4 | 58 | 61 | 51 | 53 | 55.75 | |
| E | 1 | 45 | 54 | 51 | 52 | 50.50 | 53.31 |
| | 2 | 55 | 55 | 50 | 45 | 51.25 | |
| | 3 | 53 | 51 | 52 | 56 | 53.00 | |
| | 4 | 52 | 60 | 63 | 59 | 58.50 | |
| F | 1 | 61 | 62 | 62 | 64 | 62.25 | 62.94 |
| | 2 | 65 | 66 | 65 | 66 | 65.50 | |
| | 3 | 62 | 67 | 60 | 53 | 61.00 | |
| | 4 | 64 | 57 | 66 | 65 | 63.00 | |
| PROMEDIO DE PRUEBAS HORIZONTALES x CARA | | | | | | | 55.19 |
| DESVIACION ESTANDAR | | | | | | | 4.25 |
| COEFICIENTE DE CORRELACION | | | | | | | 0.08 |

De la tabla proporcionada por el fabricante para el numero de rebote obtenido se tiene una resistencia a compresion del concreto de: 178,45 kg/cm²

TABLA 4.4 PRUEBAS CON ESCLEROMETRO DE PENDULO
RESISTENCIA DE DISEÑO 250 kg/CM²
PRUEBAS VERTICALES

| CARA | CUADRO | # REBOTE 1 | # REBOTE 2 | # REBOTE 3 | # REBOTE 4 | PROM x CUADRO | PROM x CARA |
|---------------------------------------|--------|------------|------------|------------|------------|---------------|-------------|
| A | 1 | 62 | 64 | 59 | 60 | 61.25 | 62.19 |
| | 2 | 65 | 65 | 64 | 64 | 64.50 | |
| | 3 | 58 | 56 | 63 | 65 | 60.50 | |
| | 4 | 67 | 55 | 68 | 60 | 62.50 | |
| B | 1 | 53 | 66 | 54 | 60 | 58.25 | 55.50 |
| | 2 | 55 | 53 | 50 | 53 | 52.75 | |
| C | 1 | 65 | 66 | 56 | 54 | 60.25 | 56.25 |
| | 2 | 55 | 37 | 66 | 51 | 52.25 | |
| D | 1 | 58 | 60 | 59 | 65 | 60.50 | 58.13 |
| | 2 | 61 | 57 | 57 | 62 | 59.25 | |
| | 3 | 59 | 59 | 51 | 59 | 57.00 | |
| | 4 | 53 | 56 | 57 | 57 | 55.75 | |
| E | 1 | 62 | 65 | 56 | 54 | 59.25 | 58.38 |
| | 2 | 62 | 60 | 57 | 61 | 60.00 | |
| | 3 | 52 | 61 | 59 | 56 | 57.00 | |
| | 4 | 62 | 59 | 55 | 53 | 57.25 | |
| F | 1 | 60 | 58 | 62 | 62 | 60.50 | 58.13 |
| | 2 | 59 | 57 | 59 | 65 | 60.00 | |
| | 3 | 60 | 37 | 59 | 52 | 57.00 | |
| | 4 | 59 | 54 | 54 | 53 | 55.00 | |
| PROMEDIO DE PRUEBAS VERTICALES x CARA | | | | | | | 58.09 |
| DESVIACION ESTANDAR | | | | | | | 2.12 |
| COEFICIENTE DE CORRELACION | | | | | | | 0.04 |

De la tabla proporcionada por el fabricante para el numero de rebote obtenido se tiene una resistencia a compresion del concreto de: 238.61 kg/cm²

TABLA 4.4A PRUEBAS CON ESCLEROMETRO DE PENDULO
RESISTENCIA DE DISEÑO 250 kg/CM²
PRUEBAS HORIZONTALES

| CARA | CUADRO | # REBOTE 1 | # REBOTE 2 | # REBOTE 3 | # REBOTE 4 | PROM x CUADRO | PROM x CARA |
|---|--------|------------|------------|------------|------------|---------------|-------------|
| A | 1 | 64 | 56 | 65 | 65 | 62.50 | 67.63 |
| | 2 | 70 | 65 | 68 | 72 | 68.75 | |
| | 3 | 71 | 69 | 71 | 69 | 70.00 | |
| | 4 | 71 | 66 | 70 | 70 | 69.25 | |
| B | 1 | 59 | 64 | 70 | 68 | 65.25 | 64.00 |
| | 2 | 59 | 61 | 71 | 60 | 62.75 | |
| C | 1 | 58 | 62 | 62 | 65 | 61.75 | 61.38 |
| | 2 | 61 | 61 | 61 | 61 | 61.00 | |
| D | 1 | 66 | 54 | 58 | 65 | 60.75 | 61.75 |
| | 2 | 59 | 62 | 59 | 65 | 61.25 | |
| | 3 | 65 | 69 | 65 | 60 | 64.75 | |
| | 4 | 58 | 62 | 64 | 57 | 60.25 | |
| E | 1 | 59 | 54 | 60 | 63 | 59.00 | 59.69 |
| | 2 | 66 | 67 | 59 | 58 | 62.50 | |
| | 3 | 56 | 55 | 59 | 59 | 57.25 | |
| | 4 | 57 | 59 | 59 | 65 | 60.00 | |
| F | 1 | 60 | 59 | 60 | 66 | 61.25 | 61.69 |
| | 2 | 58 | 64 | 59 | 68 | 62.25 | |
| | 3 | 57 | 65 | 62 | 64 | 62.00 | |
| | 4 | 60 | 64 | 59 | 62 | 61.25 | |
| PROMEDIO DE PRUEBAS HORIZONTALES x CARA | | | | | | | 62.69 |
| DESVIACION ESTANDAR | | | | | | | 2.54 |
| COEFICIENTE DE CORRELACION | | | | | | | 0.04 |

De la tabla proporcionada por el fabricante para el numero de rebote obtenido se tiene una resistencia a compresion del concreto de: 229.43 kg/cm²

TABLA 4.5 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE EXTRACCION

| BLOQUE kg/cm2 | INSERTO 1 KN | INSERTO 2 KN | INSERTO 3 KN | INSERTO 4 KN | PROMEDIO KN | DESVEST KN | C. CORREL | f _c KG/CM2 |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|-----------|--------------------------|
| 150 | 10.00 | 8.50 | 9.50 | | 9.33 | 0.62 | 0.07 | 88.48 |
| 200 | 16.00 | 14.00 | 15.00 | 18.00 | 15.75 | 0.82 | 0.05 | 156.67 |
| 250 | 20.00 | 19.00 | 18.50 | 15.00 | 18.13 | 0.62 | 0.03 | 181.95 |

Los resultados obtenidos en la columna de resistencia a compresion (f_c) se obtuvieron de aplicar las formula (3.1) vista en el capitulo 3

TABLA 4.6 RESULTADOS DEL ENSAYE A COMPRESION DE CORAZONES DE CONCRETO

| BLOQUE | CORAZON 1 | CORAZON 2 | CORAZON 3 | CORAZON 4 | CORAZON 5 | PROMEDIO | DESV EST | C. CORREL |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
| kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 | |
| 150 | 83.15 | 83.15 | | | | 83.15 | 0.00 | 0.00 |
| 200 | 239.86 | 221.00 | 182.00 | 242.98 | 181.91 | 213.55 | 26.87 | 0.13 |
| 250 | 236.46 | 248.15 | 283.23 | 265.69 | 231.26 | 252.96 | 19.21 | 0.08 |

4.2 RESUMEN DE RESULTADOS

TABLA 4.7 RESUMEN DE RESULTADOS

| RESISTENCIA DE DISEÑO | CILINDROS DE CONTROL | CORAZONES DE CONCRETO | ESCLEROMETRO DE PENDULO (V) | ESCLEROMETRO DE PENDULO (H) | LOK TEST |
|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------|
| kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 | kg/cm2 |
| 150 | 134.3 | 83.15 | 87.69 | 82.08 | 88.48 |
| 200 | 216 | 213.55 | 191.7 | 178.45 | 156.67 |
| 250 | 314.47 | 252.96 | 238.61 | 229.43 | 181.95 |

V.- CONCLUSIONES.

V.1 Confiabilidad del uso de los métodos alternativos en base a los resultados de los ensayos

Antes de establecer la confiabilidad de los métodos alternativos con respecto a los corazones de concreto se hará una observación en relación a la resistencia de diseño y los resultados arrojados de los ensayos con cilindros de control y corazones de concreto.

De la tabla 4.7 mostrada en el capítulo anterior se observa que existen diferencias del -10.47%, 7.40%, y 20.50% entre las resistencias de diseño de 150, 200, y 250 kg/cm² y las resistencias de los cilindros de control respectivamente.

Es importante mencionar que este hecho no afecta la finalidad de este trabajo ya que la confiabilidad de los métodos alternativos se realizara con respecto a los resultados proporcionados por los corazones de concreto.

Por otro lado las diferencias en porcentaje de -38.08%, -1.13% y -19.55% entre las resistencias de cilindros de control y corazones de concreto se debe al hecho conocido de que las condiciones de compactación en la estructura real (en este caso los bloques de concreto) de donde se extraen los corazones, no son las mismas que para los cilindros de control, pero como se menciono anteriormente para efectos de este trabajo estas diferencias no son importantes ya que no modifican el objetivo principal del mismo

Confiabilidad del esclerometro de péndulo (posición vertical) vs corazones de concreto.

Con base en las diferencias de resultados mostrados en la tabla 4.7, puede decirse que las pruebas con esclerometro de péndulo en posición vertical proporcionaron resultados del lado de la seguridad para los bloques con resistencias de diseño 200 y 250 kg/cm², cuyos números de rebote promedio fueron 52.39 y 58.09 ya que proporcionaron resistencias medias según la tabla del fabricante de 191.70 y 238.61 kg/cm² respectivamente contra 213.55 y 252.96 kg/cm² indicada por los corazones de concreto.

El bloque con resistencia de diseño 150 kg/cm² cuyo numero de rebote promedio fue 38.85 proporciono una resistencia media según la tabla del fabricante de 87.69 kg/cm² contra 83.15 kg/cm² indicada por los corazones de concreto, es decir un 5.17% adicional.

Confiabilidad del esclerometro de péndulo (posición horizontal) vs corazones de concreto.

Con base en las diferencias de resultados mostrados en la tabla 4.7, puede decirse que las pruebas con esclerometro de péndulo en posición horizontal proporcionaron resultados del lado de la seguridad para los bloques con resistencias de diseño 150, 200 y 250 kg/cm², cuyos números de rebote promedio fueron 40.40, 55.19 y 62.69 ya que proporcionaron resistencias medias según la tabla del fabricante de 82.08, 178.45 y 229.43 kg/cm² respectivamente contra 83.15, 213.55 y 252.96 kg/cm² indicada por los corazones de concreto.

De los resultados obtenidos con el esclerometro de péndulo podemos observar que la prueba vertical proporciona mejores resultados que la horizontal, excepto para el bloque de diseño 150 kg/cm², sin embargo si restamos la desviación estándar indicada en la tabla del fabricante nos queda una resistencia de 69.14 kg/cm² que ya se encuentra del lado de la seguridad.

De forma general se puede concluir que el esclerometro de péndulo en posición vertical proporciona resultados muy parecidos y por lo tanto confiables a los corazones de concreto para números de rebote en el intervalo $52.39 \leq \phi \leq 58.09$ que se traducen en resistencias a compresión del concreto de $191.70 \text{ kg/cm}^2 \leq f'c \leq 238.61 \text{ kg/cm}^2$, y que por otro lado en posición horizontal los resultados para números de rebote en el intervalo $40.40 \leq \phi \leq 62.69$ que se traducen en resistencias de $82.08 \text{ kg/cm}^2 \leq f'c \leq 229.43 \text{ kg/cm}^2$ son confiables con respecto a los corazones de concreto pero con menor grado de exactitud, excepto para el límite inferior del intervalo. El hecho de que sean mas confiable los resultados proporcionados por las pruebas verticales que las horizontales puede ser porque en las primeras no se depende de la fuerza proporcionada por el resorte.

Para una aplicación practica en una estructura real si los resultados obtenidos con el esclerometro de péndulo estuvieran dentro de los intervalos mencionados en el párrafo anterior y con esto fuera satisfactorio el comportamiento estructural, entonces no seria necesario realizar extracción de corazones y los ahorros en tiempo y dinero serian considerables. Pero debe tenerse presente en todo momento las condiciones en que se ejecutaron las pruebas mediante las cuales se determino la confiabilidad de este método.

Confiabilidad del Lok test vs corazones de concreto.

Con base en las diferencias de resultados mostrados en la tabla 4.7 puede decirse que el Lok test proporciona resultados del lado de la seguridad para los bloques con resistencias de diseño 200 y 250 kg/cm² cuyas fuerzas de extracción promedio fueron de 15.75kN y 18.13 kN ya que aplicando la formula (3.1) proporcionada por el fabricante se obtienen resistencias de 156.67 y 181.95 Kg/cm² contra 213.55 y

252.96 kg/cm² indicadas por los corazones de concreto, sin embargo debe observarse que el esclerometro de péndulo es mas exacto.

El bloque con resistencia de diseño 150 kg/cm² cuya fuerza de extracción promedio fue de 9.33 kN proporciono una resistencia de 88.48 kg/cm² contra 83.15 kg/cm² indicada por los corazones de concreto, es decir un 6.02% adicional

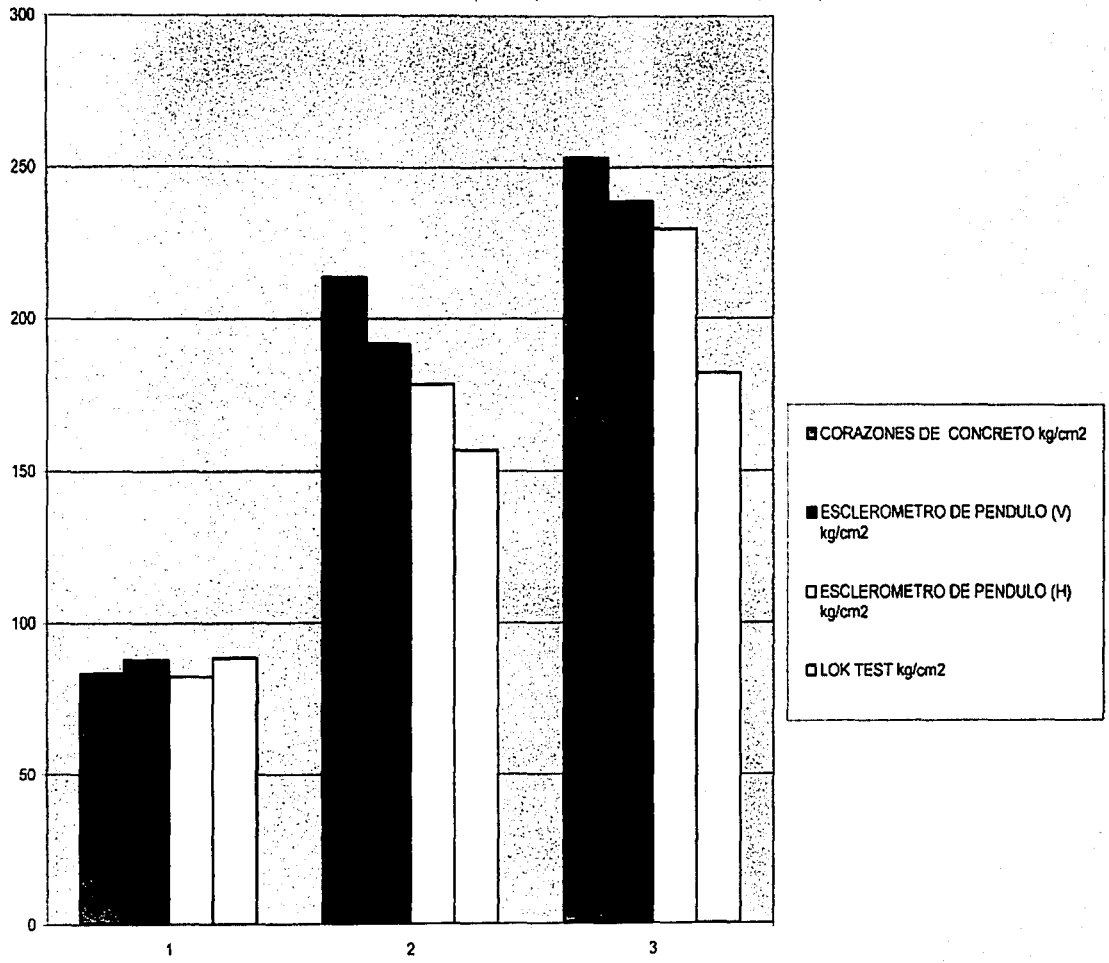
La causa de la diferencia de resultados entre el Lok test y los corazones es ocasionada por la diferencia en volumen del cono truncado y el corazón de concreto.

Para una aplicación practica en una estructura real si los resultados obtenidos con el Lok test estuvieran dentro de los intervalos mencionados en el párrafo anterior y con esto fuera satisfactorio el comportamiento estructural, entonces no seria necesario realizar extracción de corazones y los ahorros en tiempo y dinero serian considerables. Pero debe tenerse presente en todo momento las condiciones en que se ejecutaron las pruebas mediante las cuales se determino la confiabilidad de este método

De lo visto en este capitulo puede establecerse que las pruebas con esclerometro de péndulo tanto en posición vertical como horizontal son mas confiables que las pruebas de extracción, esto puede explicarse si consideramos que la superficie de prueba es mas grande que la superficie que ocupan los insertos de control, además también se puede observar que ambos metodos proporcionan resultados mas apegados a la seguridad en concretos con resistencias de diseño mayores a 150 kg/cm²

En la siguiente pagina se muestra la gráfica obtenida con los datos del capitulo anterior y en donde se puede deducir todo lo expuesto en el presente.

RESISTENCIA REAL (KG/CM2) vs RESISTENCIA DE DISEÑO (KG/CM2)



V.2 Ventajas y desventajas del uso de los métodos alternativos en base a la facilidad de realizar la prueba.

El procedimiento de extraer, cortar, cabecear y ensayar corazones de concreto es sin lugar a dudas complejo y caro además de que no puede evaluarse la mayor parte de la estructura, sin embargo es el método mas consistente para determinar la calidad del concreto in situ ya que finalmente las pruebas se realizan en laboratorio con equipo bien calibrado.

Por otra parte las pruebas con esclerometro de péndulo son fácil de realizar y puede evaluarse gran parte de la estructura en poco tiempo, como se vio anteriormente proporciona resultados aceptables dentro de ciertos rangos, pero debe asegurarse que este bien calibrado.

En cuanto a la prueba de extracción puede decirse igualmente que es fácil de realizar si la superficie de prueba queda como indica el fabricante después de retirar la cimbra, pero tiene el inconveniente de que los insertos de control deben instalarse antes del colado, como se vio el inserto de control L-40 es fácil de instalar, en cambio no puede decirse lo mismo para los insertos de control L-42 y L-49 que aunque no se realizaron pruebas con estos teóricamente es mas difícil su instalación, al igual que el esclerometro de péndulo proporciona resultados del lado de la seguridad dentro de ciertos rangos, pero debe asegurarse que este bien calibrado.

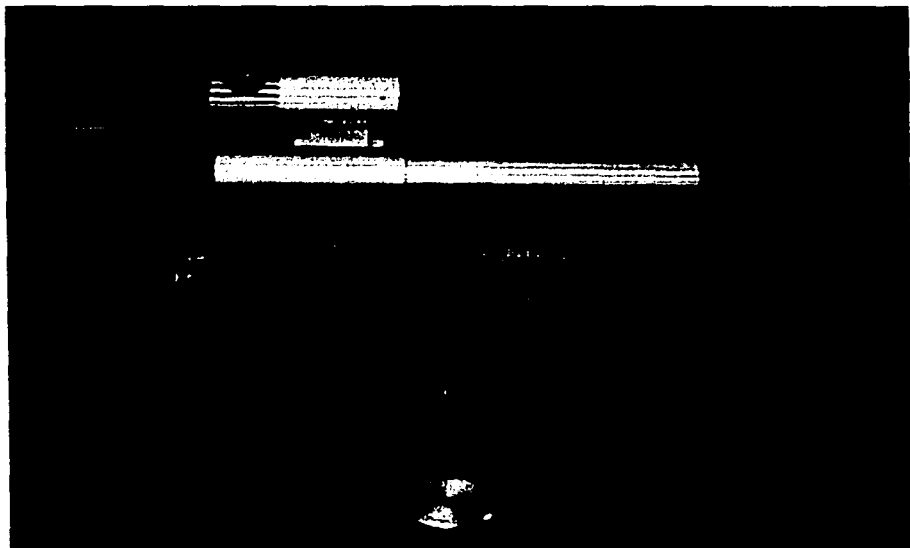
En base a la confiabilidad obtenida mediante los resultados de los ensayos y la facilidad de realizar la pruebas vistas en el capitulo III puede afirmarse que el esclerometro de péndulo es el método que proporciona resultados mas parecidos a los obtenidos con el ensaye de corazones de concreto, además es fácil de operar teniendo la ventaja de ser un método no destructivo.

Además como México necesita urgentemente quitarse la dependencia tecnológica del exterior seria mas fácil fabricar un dispositivo sencillo como el esclerometro de péndulo que elaborar un dispositivo mas complejo como el Lok test.

Es importante recordar que el presente trabajo es solo una contribución para determinar la confiabilidad de los métodos alternativos y que para que esta se lleve acabo completamente es necesario realizar mas experimentación para tener un muestreo mas amplio y con esto tener resultados mas precisos.

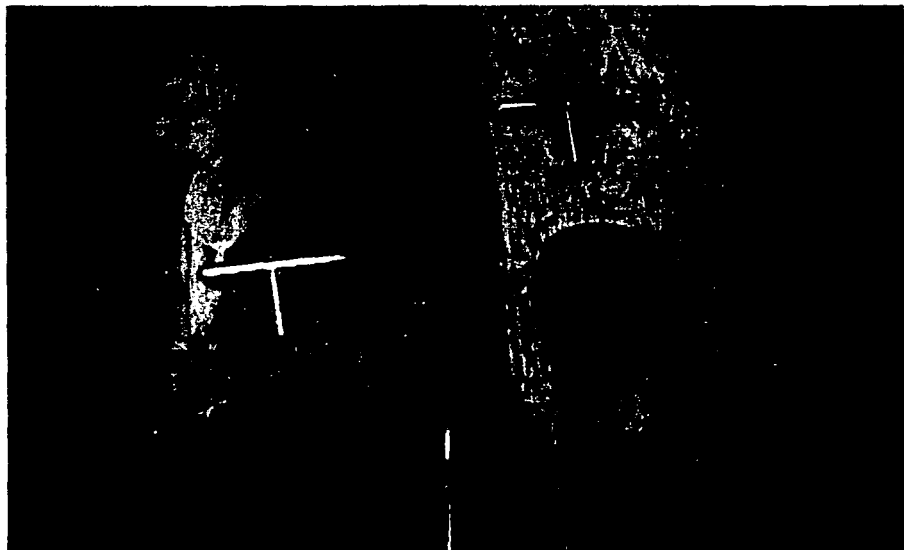
ANEXO A

COMPONENTES PRINCIPALES DEL LOK TEST



AI

COMPONENTES PRINCIPALES DEL LOK TEST



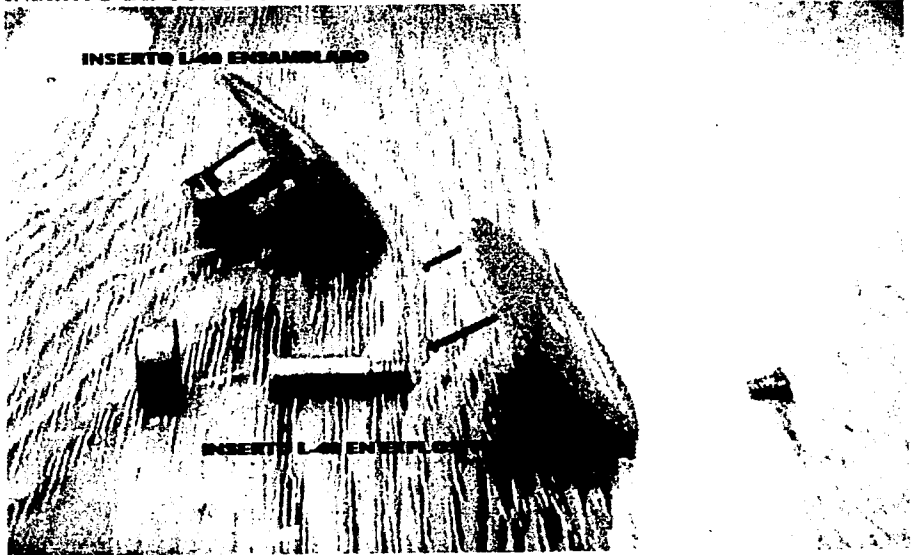
A2

CONJUNTO DE ENTRADA



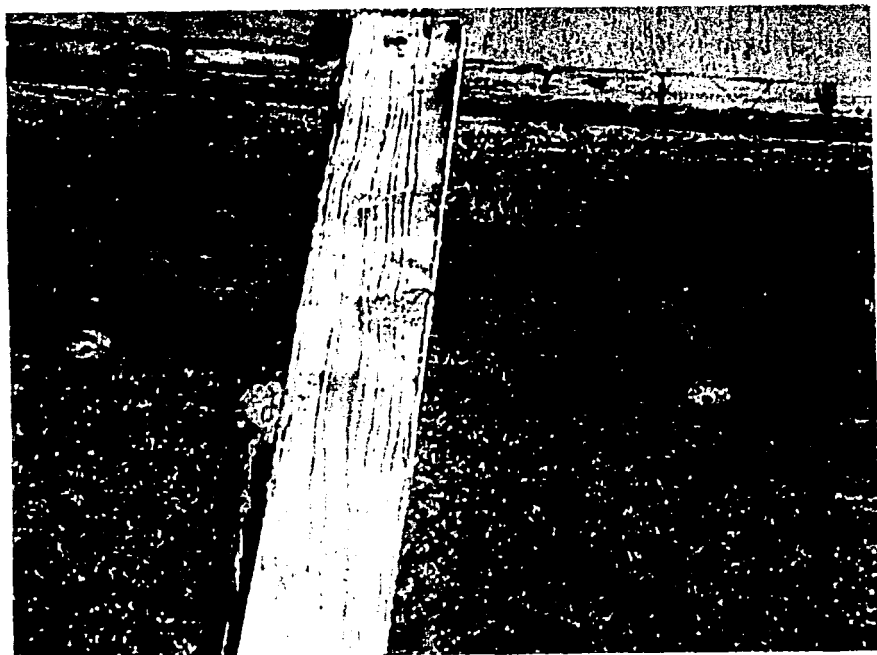
A3

INSERTO DE CONTROL L-40



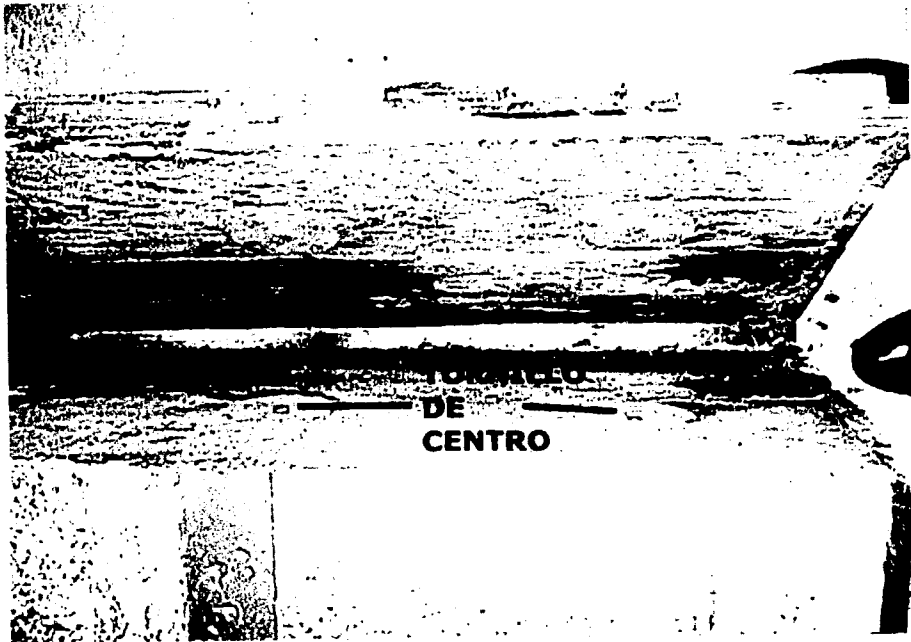
A4

INSERTO DE CONTROL L-40 CLAVADO EN LA CIMBRA



A5

LOCALIZACION DEL TORNILLO DE CENTRO EN EL INSERTO L-40



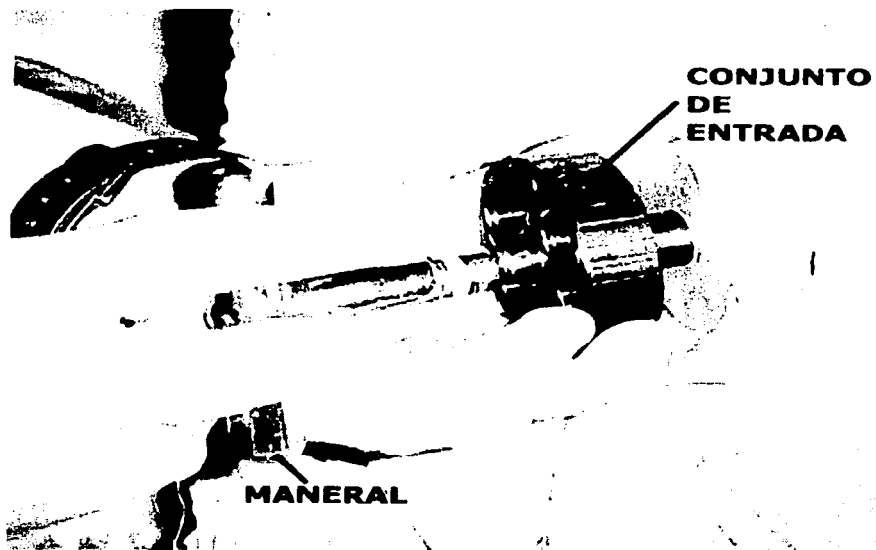
A6

FORMA DE RETIRAR EL TRONCO DEL INSERTO DE CONTROL L-40



A7

**FORMA DE INTRODUCIR EL CONJUNTO DE ENTRADA EN EL DISCO
DEL INSERTO L-40 DENTRO DEL CONCRETO**



ENSAMBLE DEL INSTRUMENTO EN EL CONJUNTO DE ENTRADA

LOK TEST

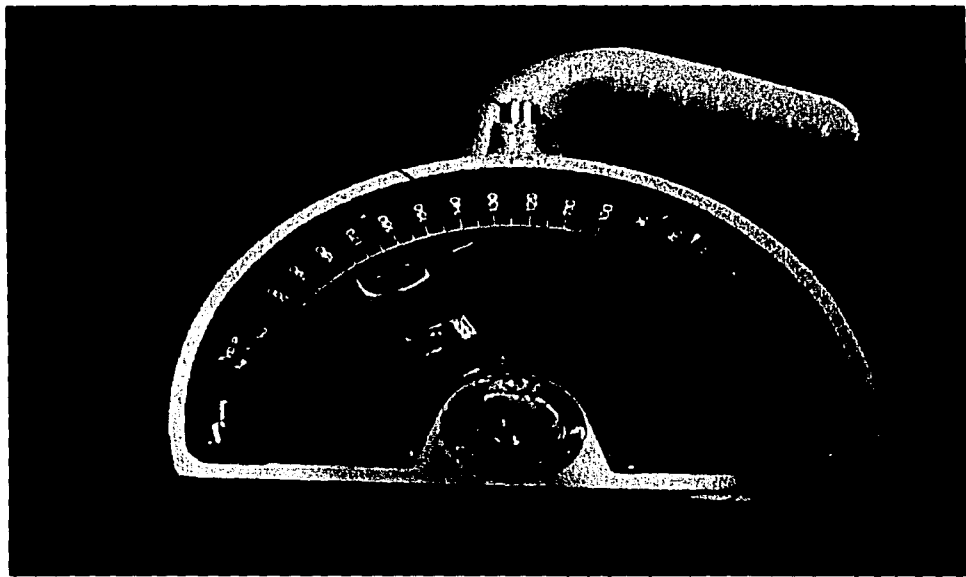
**CONJUNTO
DE
ENTRADA**



A9

ANEXO B

COMPONENTES PRINCIPALES DEL ESCLEROMETRO DE PENDULO



B1

ANEXO C

PRUEBAS CON ESCLEROMETRO DE PENDULO EN POSICION VERTICAL



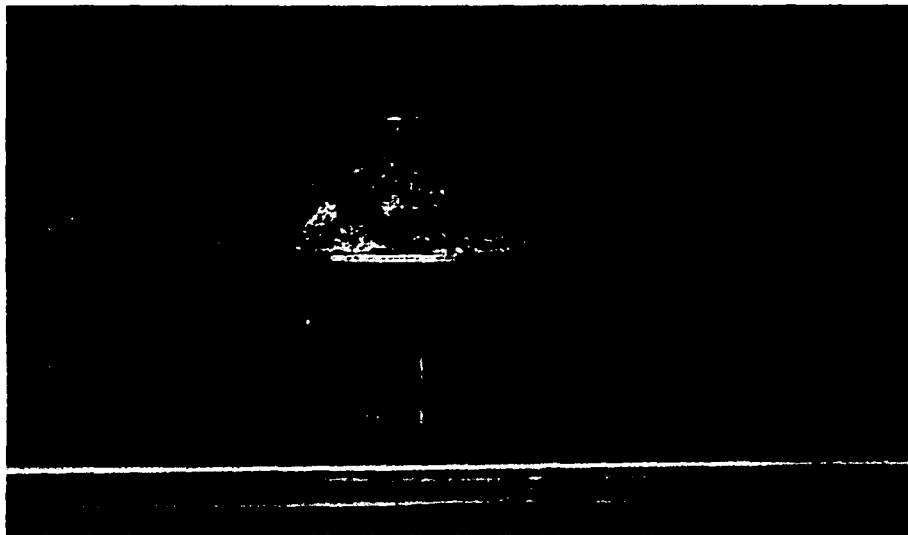
C1

**PRUEBAS CON ESCLEROMETRO DE PENDULO EN POSICION
HORIZONTAL**



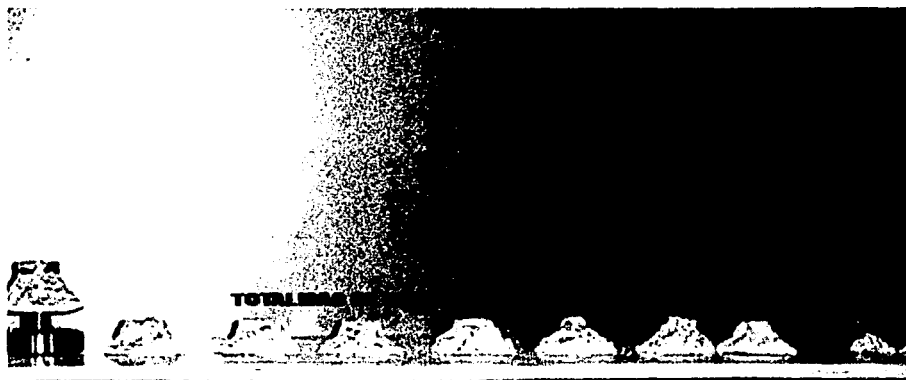
C2

TROZO DE CONCRETO EXTRAIDO DE LOS BLOQUES



C3

TOTALIDAD DE CONOS TRUNCADOS EXTRAIDOS DURANTE LAS PRUEBAS



C4

MAQUINA EXTRACTORA DE CORAZONES



C5

BIBLIOGRAFIA

- 1.-EDWARD G. NAWY, CONCRETO REFORZADO, PRENTICE HALL 1988.
- 2.- IMCYC, PROBLEMAS EN EL CONCRETO: CAUSAS Y SOLUCIONES, LIMUSA 1990
- 3.- TECNOLOGIA DEL CONCRETO A.M. NEVILLE Y J.J. TRILLAS 1998.
- 4.- MANUAL DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO SECCION 1, COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD-INSTITUTO DE INGENIERIA UNAM, LIMUSA 1994.
- 5.- PROYECTO Y CONTROL DE MEZCLAS DE CONCRETO, STAFF-PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, LIMUSA 1978
- 6.- ELABORACION DEL CONCRETO Y SUS APLICACIONES, MURDOCK L.J. , CECSA 1964
- 7.- PULLOUT TESTING BY LOK-TEST AND CAPO-TEST, THE DANISH, CONCRETE INSTITUTE DANSK BETONINSTITUT A/S OCTOBER 1992.
- 8.-LOK TEST MANUAL, GERMANN INSTRUMENTS IN SITU TEST SYSTEMS, USA AND DENMARK JULY 1993.
- 9.- OPERATING INSTRUCTIONS ORIGINAL SCHMIDT MADE IN SWITZERLAND BUILDING MATERIAL TEST HAMER TYPES P AND PT, PROCEQ S.A. ZÜRICH/SWITZERLAND.1977