

300615

29

2y



UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

" ESTUDIO DE LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS EN EL

CONCRETO Y PRINCIPALES EQUIPOS PARA REALIZARLAS "

Tesis Profesional

Que para obtener el Titulo de

INGENIERO CIVIL

Presenta:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

JORGE HUMBERTO RODRIGUEZ TAPIA



Universidad Nacional
Autónoma de México

UNAM



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

- INTRODUCCION -

El término de pruebas o ensayos no destructivos; es una denominación general que se adjudica a una serie de técnicas destinadas a inspeccionar o probar un material sin perjudicar su empleo futuro, es decir, sin dañarlo.

Los ensayos no destructivos no son complicados ni nuevos como pudiera pensarse, sino, por el contrario, son sencillos y tan antiguos como la humanidad.

Un ejemplo sencillo de esto es el comprador de fruta, que al apretar con un dedo la superficie de un melón, está haciendo un ensayo no destructivo para tratar de conocer su estado de madurez.

En el corto periodo de cuatro décadas, los ensayos no destructivos han alcanzado un lugar importante en el control de calidad del concreto endurecido y en la evaluación de la resistencia y durabilidad de estructuras de concreto existentes.

Esto se ha logrado gracias a la enorme cantidad de datos disponibles sobre las técnicas, los equipos y las experiencias acumuladas por la industria de los metales.

Por supuesto, debido a la composición natural del concreto, hubo necesidad de hacer ciertas modificaciones, pero, no obstante estos conocimientos fueron de gran ayuda para iniciar las primeras investigaciones hacia el desarrollo de pruebas no destructivas en el campo de la construcción.

Como sabemos los métodos tradicionales para evaluar la resistencia del concreto endurecido son: las pruebas de falla tanto en los corazones de concreto como en los cilindros, cubos y prismas de laboratorio. Aunque estas pruebas dan un excelente criterio de la calidad del concreto en una estructura, tienen también sus desventajas siendo las principales: la demora para

obtener los resultados, que los especímenes no son verdaderamente representativos del concreto de la estructura; la necesidad de someterlos a falla; la falta de reproductibilidad en los resultados de las pruebas y el relativo alto costo de las mismas.

Todos estos requerimientos, han hecho que muchos investigadores traten de encontrar métodos confiables, rápidos, relativamente baratos y no destructivos. Esto dió como resultado que en los últimos cuarenta años hayan aparecido un gran número de pruebas no destructivas, de las cuales, algunas todavía están en etapas de desarrollo en tanto que otras ya han sido usadas con bastante éxito para detectar grietas, conocer la posición del refuerzo, remover la cimbra a edades tempranas, determinar la calidad de productos precolados, etc.

En ciertos casos, por ejemplo cuando se investiga el ancho y profundidad de grietas en el concreto, o cuando se desea conocer el estado de los elementos de una estructura expuesta a agentes deteriorantes (fuego, corrosión etc.), las pruebas no destructivas son las únicas que pueden proporcionar información aceptable.

Aunque las pruebas no destructivas son de fácil realización, la dificultad principal estriba en la interpretación y el análisis de los resultados, por lo que estas pruebas deben llevarse a cabo por especialistas.

Debido a que la mayoría de las pruebas no destructivas no llevan a los especímenes de prueba hasta el estado de ruptura, los valores de resistencia obtenidos no son absolutos, sin embargo, estas pruebas no pueden proporcionar información acerca de otras propiedades del concreto (dureza, número de rebote, resistencia a la penetración, frecuencia de resonancia y propaga

ción del pulso ultrasonico) nos ayudan a conocer su resistencia, ductilidad y elasticidad.

Algunas otras como las eléctricas nos permiten conocer, el contenido de humedad, la densidad, la consistencia y el contenido de cemento del concreto.

Cuando se llevan a cabo algunos experimentos, deben evaluarse los resultados y ser transmitidos a los demás, de lo contrario perderían su valor científico. Se hace entonces necesario, recoger en un trabajo, todos los métodos, detalles y resultados, para ofrecer en forma condensada lo más relevante de las pruebas no destructivas, en cuanto a su aplicación al concreto endurecido.

Este trabajo pretende ser más que un informe experimental, una descripción de las pruebas no destructivas, y un estudio de la utilización de los principales equipos para realizar dichas -- pruebas.

El trabajo inicia con la clasificación de las diferentes pruebas no destructivas, en los capítulos siguientes, se han resaltado aquellas técnicas que a nuestro juicio, son de mayor importancia, o presentan un valor positivo mayor para el Ingeniero Civil, y de los cuales, hemos tenido la oportunidad de ver su empleo y valoración en el laboratorio.

CAPITULO I

GENERALIDADES DEL CONCRETO.

Podemos definir el concreto como un material artificial que resulta de la unión de otros varios llamados agregados. Estos agregados se dividen en dos grupos: activos e inertes.

Son activos el agua y el cemento, que al unirse provocan una reacción química por medio de la cual esa "lechada", fragua y endurece hasta alcanzar gran solidez.

Son agregados inertes la arena y la grava, que forman el esqueleto del concreto y actúan, abaratándolo y disminuyendo la reacción química del fraguado.

A la mezcla cementante se le denomina aglutinante.

Se conoce con el nombre de concreto reforzado, al concreto que lleva en su seno un refuerzo metálico, cuya función es la de absorber esfuerzos que el concreto simple por su calidad de piedra artificial no sería capaz de soportar.

Su pese volumétrico se toma de 2000 a 2200 kg/m³ para el concreto simple y de 2300 a 2400 kg/m³ para el concreto armado.

1.1 EL CEMENTO.

El cemento es el principal elemento del concreto y es el cemento portland, el más usado en la fabricación del concreto.

El cemento es un compuesto de alúmina, cal y sílice, pulverizando finalmente y con adición posterior de yeso sin calcinar y agua. Los componentes fundamentales del cemento son: aluminato tricálcico, silicato dicálcico, ferroaluminato tricálcico y el silicato tricálcico.

De los cementos naturales y artificiales, son estos últimos los que más se han generalizado, por su mejor control y mayor uniformidad.

Clases de cemento portland.- De acuerdo a la norma D.G.N.C/

1 - 1953 , en México se fabrican cinco tipos o clases de cemento portland.

Tipo I .- Normal.

Se destina a usos generales, como son: Estructuras, bloques, pavimentos etc.

Tipo II.- Modificado.

Se destina en la construcción de obras hidráulicas por su moderado calor de hidratación y su regular resistencia a los sulfatos.

Tipo III.- Resistencia rápida.

Es muy recomendable cuando se requiere rapidez en la ejecución de la obra. Adquiere una determinada resistencia (aproximadamente el 80%), en la tercera parte del tiempo que el cemento tipo I. Es necesario tener presente que la resistencia final es la misma que la correspondiente al cemento normal.

Tipo IV.- Bajo calor.

Se recomienda en la construcción de presas, en donde por lo general se requieren grandes espesores -- porque su calor de hidratación es muy bajo y su resistencia se adquiere muy lentamente.

Tipo V.- De alta resistencia a los sulfatos.

Se recomienda, emplearlo en la construcción de cimentaciones que vayan a estar expuestas al ataque - desintegrador de suelos y aguas sulfatadas y agresivas.

Ademas de los cinco tipos mencionados, en México se produce también, el cemento portland blanco, con características semejantes al cemento tipo I, pero su empleo está enfocado en la mayoría de los casos, para fines ornamentales.

Se produce también para usos generales el cemento tipo ferroportland, constituido por molienda conjunta de clinker portland, escoria, enfriado con rapidez y procedente de la metalurgia del hierro y por último yeso.

EJEMPLO DE COMPOSICION DE DIVERSOS TIPOS DE CEMENTOS PORTLAND

Composición Mineralógica en %	Tipo I Común	Tipo II Modificado	Tipo III R. Rápida	Tipo V R. Sulfatos
C_3S	48	44	50	48
C_2S	21	25	20	40
C_3A	13	6	13	2
C_4AF	8	13	7	12
$CaSO_4$	5	5	5.5	3

NO TABLA 1.1- Composición de diversos tipos de cemento portland.

**CEMENTOS
HIDRAULICOS**

CEMENTOS PORTLAND

Simple

- Tipo I *
- Tipo II *
- Tipo III *
- Tipo IV *
- Tipo V *

Compuestos

- Escoria *
- Puzolánico *

Especiales

- De color *
- Expansivo
- Sin contracción
- Refractario
- Inclusor de aire
- Antibacterial
- Hidrófobo
- Repelente a la humedad

CEMENTOS NATURALES
CEMENTOS DE ALTA ALUMINA

CEMENTOS DE ESCORIA

- Escoria-cal *
- Sobresulfatado

CEMENTOS DE PUZOLANA

- Cal-puzolana *

CEMENTOS DE APLICACIONES PARTICULARES

- Mampostería *
- Pozo petrolero *
- Magnesiato

MEZCLA DE CEMENTOS

* Se fabrican en México.

TABLA 1.2- Clasificación general de cementos hidráulicos.

20

1.2 AGUA.

Se debe utilizar en el mezclado del concreto, agua exenta de materias orgánicas o sales, tales como los cloruros y los sulfatos, ya que la presencia de éstos en el concreto, reducen - considerablemente su resistencia.

1.3 ARENA.

Es de los agregados inertes, el que recibe el nombre de agregado fino. El tamaño máximo que debe tener es de 5 a 6 mm. de diámetro y si además, se hace un análisis granulométrico del 40 al 60 % deberá ser retenido en la malla #28.

En la práctica debe usarse arena azul o color "parda lavada", lográndose con esta arena y en diámetros de 2 a 3.5 mm., mezclas de muy buena calidad.

1.4 GRAVA.

Dentro del grupo de los agregados inertes, se le da el nombre de agregado grueso. El tamaño máximo que debe tener es de 35-mm. de diámetro y un mínimo de 5mm. de diámetro.

El agregado grueso empleado en la fabricación del concreto, deberá estar constituido por fragmentos de roca sana; los gra--nos deben ser duros y resistentes. Las partículas deberán ser esféricas o cúbicas y en ningún caso aceptarlas de forma alargada o lajeada.

1.5 ADHITIVOS.

Estos en general son productos químicos de fabricación controlada, cuya eficiencia debe comprobarse mediante ensayes realizados antes de emplearse.

1.6 PLASTICIDAD EN EL CONCRETO.

La plasticidad en las mezclas se mide con las alturas de revenimiento, alturas que se entienden de la siguiente manera.

En un molde de figura tronco-cónica (y con las medidas que apa

2 5000 10000

recen en la figura (1.1)), se vacía la mezcla cuya altura de -
revenimiento se desea conocer. El molde se llena con tres ca-
pas de igual espesor, de la revoltura cuya plasticidad se de-
sea clasificar, picándolas de 25 a 30 veces con una varilla -
para apisonar el material. Se enrasa el concreto al nivel del
borde superior del molde y se extrae éste cuidadosamente por
la parte superior.

ND

FIGURE BLOCK

51

Al quitar el molde, la mezcla falta de apoyo tratará de deformarse y por consiguiente bajará su altura más o menos según sea su fluidez. La diferencia entre la altura del molde y la final de la mezcla fresca, se denomina "Altura de revenimiento" y se expresará en centímetros. (Ver figura 1.2).

51
DIECLO BLOCK

Desde luego, hay que tener presente que no todos los elementos estructurales que se hagan de concreto necesitan mezclas de igual plasticidad, por consiguiente en la tabla (1.3), aparecen los revenimientos más usuales según la clase de obras a que se destinará el concreto:

CLASE DE ESTRUCTURA.	REVENIMIENTO EN CENTIMETROS.		
	MINIMO	MAXIMO	PRO...EDIO
- Concreto en grandes masas: Puentes, presas, pavimentos, rellenos etc.	2	8	5
- Concreto en trabes, losas y muros de grandes dimensiones.	8	12	10
- Concreto en losas y columnas delgadas y difíciles de colar.	16	20	18
- Concreto en columnas y muros de pequeñas dimensiones y con gran cantidad de armado.	14	20	17

TABLA 1.3 - Revenimientos.

1.7 FRAGUADO DEL CONCRETO.

Una vez que el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla; mientras exista agua en contacto con el cemento progresa el endurecimiento del concreto.

Antes de su total endurecimiento, la mezcla experimenta dos etapas dentro de su proceso general que son: El fraguado inicial y el fraguado total. El primero corresponde cuando la mezcla pierde su plasticidad volviéndose difícilmente trabajable.

Conforme la mezcla continua endureciendo, ésta llegará a su segunda etapa alcanzando una dureza tan apreciable que la mezcla

cla entra ya en su fraguado final.

El tiempo de fraguado inicial es el mismo para todos los cementos que hemos mencionado y oscila entre 50 y 60 minutos. El fraguado final se estima en unas 9 ó 10 horas.

1.8 CURADO DEL CONCRETO.

La protección que se da al concreto para evitar la pérdida de agua o reponer la que se pierda, recibe el nombre de "curado"; esta operación es sumamente importante, pues de un buen curado depende la resistencia que finalmente alcanzará el concreto.

La forma para efectuar el curado puede ser variada, lo más generalizado consiste en cubrir la superficie con una película impermeable a base de asfalto, alquitrán, silicatos de sodio etc., este procedimiento tiene como finalidad conservar el agua que se usó en la preparación de la revoltura; o, sencillamente, mojando con agua la superficie colada, logrando con esto conservar húmedas las partes coladas ya que el concreto tomará el agua que necesita para su adecuada hidratación.

Es necesario vigilar la humedad en el concreto durante unos 10 ó 15 días, tiempo suficiente para que el concreto alcance en ese lapso el 75 % de su resistencia.

1.9 PERMEABILIDAD DEL CONCRETO.

En la preparación de un concreto, los agregados dejan cierta cantidad de poros o vacíos que difícilmente son llenados totalmente por la mezcla de cemento y agua; en consecuencia, esos vacíos que difícilmente son llenados totalmente por la mezcla de cemento y agua; en consecuencia, esos vacíos permiten el paso del agua en mayor o menor escala, según que el colado del concreto haya sido hecho correctamente o incorrectamente. Desde luego que en la mayoría de las obras construidas

en concreto armado no es necesario la impermeabilidad total - del mismo y en los casos particulares que la obra así lo requiera, puede incrementarse ésta por otros métodos:

- 1.- En la construcción de tanques de almacenamiento y conductos de agua, donde se requiere una impermeabilidad total, se recomienda terminar el colado con una capa de cemento y arena fina de 2 cm. de espesor, o bien, agregarle en proporción de un 5 a un 6 % del volumen del cemento empleado.
- 2.- Protegiendo la superficie con una capa impermeable, constituida por pintura asfáltica.
- 3.- Utilizar mezclas secas. Los concretos más resistentes son los menos permeables.
- 4.- Agregándole al concreto una pequeña cantidad de cal apagada (cal revuelta con mezcla de cemento).

En general, se puede asegurar que el concreto compactado es impermeable, además, la impermeabilidad del concreto aumenta con la edad. Concretando, se puede considerar que un concreto es impermeable cuando su espesor tiene de 22 a 25 cm..

1.10 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN RELACION CON SU RESISTENCIA Y SU MODULO DE ELASTICIDAD.

El módulo de elasticidad de un material se define como la relación entre el esfuerzo axial y la deformación unitaria lineal que produce. Dicho de otra manera el módulo de elasticidad expresa la resistencia de un material a las deformaciones lineales.

Según la ley de Hooke, un material elástico conserva el valor de su módulo de elasticidad, independientemente de la magnitud del esfuerzo aplicado y de la velocidad con que éste se incrementa.

El concreto es un material en el que el valor del módulo de e

lasticidad no permanece constante debido a que, para una misma fuerza aplicada la deformación se incrementa, es decir, si se mantiene el esfuerzo aplicado sobre el concreto, las deformaciones inicialmente serán elásticas y estarán sujetas a la ley de Hooke, pero a medida que pase el tiempo la deformación sera variable debido a la fluencia, la que hará que el módulo de elasticidad disminuya.

El módulo de elasticidad está relacionado principalmente con la resistencia del concreto y su peso volumétrico. El módulo de elasticidad E_c del concreto puede ser tomado como:

$$E_c = 4270 W_c^{1.55} \sqrt{f_c}$$

en kg/cm^2 para valores de W_c comprendidos entre 1.4 y 2.5 ton/m^3 . Para concretos de peso normal el módulo de elasticidad puede tomarse como $E_c = 15000 f_c$, o como $10000 f_c$ según el reglamento del D.F.

Los módulos más importantes son: el módulo de Young (E_c) que expresa la resistencia a la elongación, y el de elasticidad transversal (G) que indica la rigidez ante el esfuerzo cortante. El coeficiente de Poisson () señala la relación entre la disminución de la sección transversal de una pieza y su elongación. Estas tres magnitudes se relacionan en la formula:

$$E_c = 2 (1 + \nu) G$$

1.11 RELACION ENTRE EL MODULO DINAMICO Y EL MODULO ESTATICO.

Gracias a la experimentación se han observado diferencias entre los módulos elásticos. Se admite que el módulo dinámico (E_d) es siempre mayor que el módulo estático (E_c) y la expresión aproximada que los relaciona es la siguiente :

$$E_d = E_c + 70000 \text{ kg/cm}^2$$

Esta expresión varía según el f_c y el tipo del concreto en cuestión. La diferencia entre ambos módulos se debe al efecto de flujo plástico en el concreto durante la aplicación de la carga.

CAPITULO II

METODOS ELECTRICOS.

2.1 GENERALIDADES

En la actualidad estos métodos han tenido mucha aceptación como métodos auxiliares de las pruebas tradicionales, pero conforme nos vamos familiarizando con ellos se les va dando una mayor importancia.

Estos métodos se emplean principalmente para:

← Realizar un monitoreo continuo del desarrollo de resistencia en el concreto a través de mediciones de resistividad eléctrica.

- Evaluar la porosidad del concreto mediante mediciones de resistividad eléctrica.

- Determinar el espesor de losas de concreto endurecido, por medio de resistividad eléctrica.

- Determinar la penetración de humedad en el concreto por medio de resistividad eléctrica .

- Determinar la humedad del concreto endurecido, por medio de mediciones dieléctricas.

2.2 - METODOS DE PRUEBA

2.2.1 DETERMINACION DEL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO Y DE LA POROSIDAD DEL MISMO POR MEDIO DE RESISTIVIDAD ELECTRICA.

Este trabajo examina el alcance de las mediciones de resistividad eléctrica, como técnica de pruebas no destructivas para estructuras de concreto. Se demuestra que existe una relación lineal entre la resistividad y la resistencia a la compresión y que las mediciones de resistividad pueden usarse para monitorear continuamente la formación de resistencia en el concreto. Tambien puede evaluarse la porosidad del concreto mediante la medición de resistividad tanto en condición seca como en condición de saturación de agua. una observación importante

te es que un concreto sumamente poroso, a pesar de su baja re sistencia, puede tener un valor de resistividad muy elevado. Este estudio también demuestra que un medidor portátil de resistividad, operado con baterías, puede emplearse en forma -- conveniente como herramienta de pruebas no destructivas para mediciones en obra de estructuras de concreto.

Es bien sabido que el acero de refuerzo ahogado en el concreto está protegido por el recubrimiento de concreto y que esta -- protección se debe sobre todo a la elevada alcalinidad y a la relativamente alta resistencia eléctrica del concreto. La re sistencia eléctrica, por lo tanto, se convierte en un paráme- tro importante que influye en la durabilidad de las estructu- ras de concreto reforzado. En 1957, con base en la investiga- ción llevada a cabo en el puente Hayward de San Mateo, Cali- fornia, Stratfull observó que la resistividad eléctrica del - concreto, cuando no hay deterioro o cuando no está agrietado, parece ser de más de 60 $k\Omega cm.$ Notó además que la resistivi- dad del concreto disminuye conforme se incrementa el deterio- ro y propuso una relación entre la máxima diferencia potencial en la superficie entre ánodos y cátodos y la resistencia eléc- trica específica promedio en el área anódica, conocida como - relación de celda de corrosión. Según Stratfull, las medicio- nes de resistividad practicadas en concreto en áreas anódicas proporcionan por lo general un cierto grado de deterioro en - dichas áreas. Rengaswamy y Rajagopalan estudiaron el efecto de la humedad, del contenido de sal y del proporcionamiento - de mezclado y observaron que la resistencia se incrementa - - tres veces cuando la humedad se reduce del 100% al 70%. Se - encontró que la adición de cloruros tiene una influencia com- binada. No pudo llegarse a una conclusión definida respecto

a la influencia de las relaciones mixtas.

Rajagopalan y colaboradores subsecuentemente midieron la resistencia eléctrica del concreto con diversas relaciones de cemento/arena/agregado, sumergidos en soluciones acuosas de cloruros y de sulfatos. Se encontró que la resistencia disminuía agudamente con concentraciones de cloruro de sodio en todas las relaciones de mezcla estudiadas. Se descubrió que la resistencia decrecía con la porosidad y se incrementaba con el curado en todas las mezclas. También se observó una reducción de resistencia con el incremento de la concentración y un aumento de resistencia con el tiempo de curado, en soluciones de sulfato de sodio. Al investigar el comportamiento de diferentes concretos de cemento puzolana, Rengaswamy y colaboradores descubrieron que la resistencia eléctrica del concreto con puzolana era mucho más elevada que la del concreto de cemento portland común, pero no afectaba el comportamiento de corrosión.

Naray Szabo y Szuk notaron que la relación óptima de agua/cemento de una mezcla de concreto puede determinarse con precisión midiendo su resistencia eléctrica. Para determinados concretos estándar, se encontró que el punto de flexión contraria en la resistencia eléctrica coincidía con la relación óptima de agua/cemento.

En 1977, Gjorv y colaboradores observaron que la resistividad del concreto sólo se ve afectada moderadamente por el espesor de la muestra, por la relación agua/cemento y por el contenido de cloruros. La resistividad del concreto cambia por un factor de 2 cuando la relación agua/cemento cambia de 0.70 a 0.40, y cuando el contenido de cloruros cambia de cero a 4% de cloruro de calcio, por peso del cemento.

TABLA 2.1, TIEMPO DE CURADO, RESISTIVIDAD Y RESISTENCIA
A LA COMPRESION PARA DIVERSAS MEZCLAS.

Prueba núm.	Tiempo de curado, días	Resistividad, ρ , $k \Omega \text{ cm}$	Resistencia f_{cu} , N/mm^2	Factor de multiplica- ción, f_{cu}/ρ
Mezcla 1:1:1				
1	11	5.12 ± 0.32	37.0 ± 0.0	7.23
2	14	4.92 ± 0.26	36.1 ± 1.5	7.34
3	21	5.15 ± 0.26	38.6 ± 1.0	7.50
4	28	5.51 ± 0.72	40.2 ± 2.2	7.30
Mezcla 1:1:1.5				
5	7	7.03 ± 0.31	46.3 ± 0.3	6.59
6	14	8.45 ± 0.56	48.5 ± 0.5	5.74
7	21	9.30 ± 0.74	52.0 ± 2.0	5.59
8	28	9.86 ± 0.05	54.5 ± 3.5	5.53
Mezcla 1:1:2				
9	7	3.09 ± 0.42	11.6 ± 1.0	3.75
10	14	4.79 ± 0.44	14.9 ± 0.5	3.11
11	21	4.73 ± 0.34	17.9 ± 1.1	3.78
12	28	6.01 ± 0.58	24.7 ± 3.5	4.11
Mezcla 1:1.5:3				
13	1	3.53 ± 0.14	9.5 ± 1.5	2.69
14	9	6.37 ± 0.5	17.9 ± 1.3	2.81
15	15	8.10 ± 0.72	21.4 ± 0.0	2.64
16	28	7.45 ± 0.67	25.4 ± 1.8	3.41
Mezcla 1:2:4				
17	7	4.93 ± 0.42	14.7 ± 1.3	98
18	14	7.50 ± 0.32	23.3 ± 1.9	11
19	21	8.54 ± 0.08	25.6 ± 0.6	10
20	28	9.30 ± 0.80	28.7 ± 1.7	9

Tuutti, quien llevó a cabo numerosos experimentos sobre corrosión utilizando una celda de corrosión y variando los parámetros tanto ambientales como del concreto, opinó que al medir la resistividad del concreto y el potencial del acero, se obtendría una mejor interpretación de los resultados. En dichos estudios electroquímicos, la medición de la resistividad eléctrica del concreto es esencial para tomar en cuenta la caída óhmica.

A partir de la discusión anterior, puede verse claramente que la resistividad eléctrica es un parámetro útil e importante de estudio, para comprender el comportamiento del concreto y para evaluar su calidad. Sin embargo, hasta la fecha no se han efectuado esfuerzos sistemáticos para relacionar la medición de la resistividad con los diversos parámetros que afectan la durabilidad del concreto. En este trabajo se examina la utilidad de la medición de la resistividad eléctrica como técnica de prueba no destructiva para estructuras de concreto.

Procedimiento experimental.

Para este estudio se fabricó y se empleó un medidor de resistividad digital, de lectura directa. El instrumento está integrado por una unidad fija con cuatro electrodos, de resorte y por circuitos electrónicos para convertir los datos del voltaje de la corriente en términos de resistencia y registrar los datos en forma escalonada para exponer la resistividad sobre un tablero de medición digital. Las puntas de los cuatro electrodos se envuelven en una esponja saturada de agua potable, para lograr un contacto efectivo con la superficie del concreto. El equipo se muestra en la figura 2.1. El medidor con electrodos interconstruido es muy sensible y sin embargo lo suficientemente resistente para usarse en el campo; es portátil y funciona con baterías. El método de medición no es

destruictivo y el medidor muestra directamente los valores de resistividad. Los efectos de polarización en la medición se evitaron con el empleo de corriente alterna.

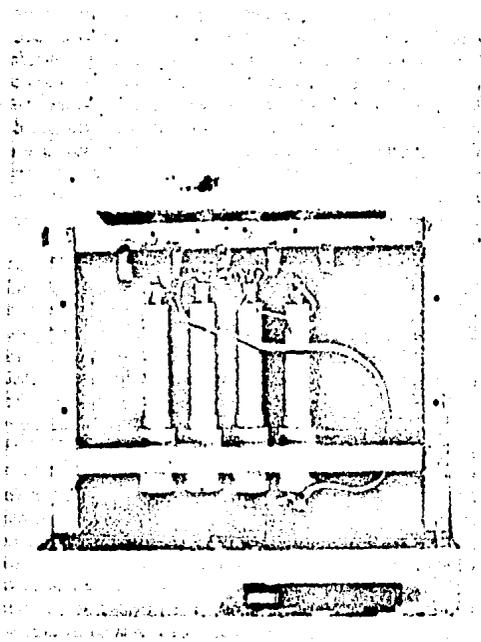


FIG. 2.1 - Medidor de resistividad de cuatro electrodos.

Las muestras para resistencia a la compresión fueron probadas en una máquina eléctrica de pruebas de compresión con capacidad de 2000-kN . Los tres medidores de presión montados en la unidad de bombeo eran de 2000, 1000, 500 kN, con capacidad mínima de 10, 5 y 2.5 kN respectivamente. La velocidad de carga fue de 140 kN/minuto.

Los cubos de concreto de 10x10x10 cm, con diferentes proporcionamientos de mezcla por peso, con y sin aditivos de cloruro de calcio, fueron preparados sobre una mesa vibradora que se empleo en los estudios. El curado se efectuó por inmersión de agua desionizada. Para la medición de resistividad se saca

ron los cubos del agua y su superficie se dejó secar durante 10 minutos. Las mediciones de resistividad se tomaron en las cuatro caras verticales de cada cubo y se registró el valor promedio.

Resultados y discusión.

- Resistividad versus resistencia a la compresión: Se prepararon cubos de concreto de mezclas con proporcionamientos diferentes y se curaron en agua durante 28 días. Al final de los 28 días se sacaron los cubos de agua. Se midió la resistividad e inmediatamente se probó la resistencia a la compresión. La relación entre la resistividad del concreto y la resistencia a la compresión a los 28 días se muestra en la figura 2.2. En el rango de resistencia de 10N/mm^2 a 30N/mm^2 se observa una relación lineal. La dispersión es de alrededor de 1N/mm^2 a 2N/mm^2 . En el rango de resistencia más elevada, de 34 a 52N/mm^2 , se advierte también una relación lineal pero la pendiente es diferente. La relación lineal sugiere que mediante la medición de la resistividad del concreto es posible conocer la resistencia a la compresión, con la cual se pueden evitar las pruebas destructivas.

En otra serie de experimentos, la resistividad y la resistencia fueron seguidas en el tiempo, para proporcionamientos especificados de mezcla que variaban desde la mezcla rica de 1:1:1, a la mezcla pobre de 1:2:4. Los resultados se presentan en la tabla 2.1. Se incluyen los diagramas en las figuras de la 2.3 a la 2.7. Se observa que se obtiene una relación lineal en todas las mezclas estudiadas, pero que las pendientes son diferentes para mezclas distintas. La tabla 2.1 muestra que el factor de multiplicación, f_{cu}/p , para obtener la resistencia f_{cu} del cubo de la resistividad p , es más o menos cons-

tante con el tiempo de curado pero varía para mezclas diferentes.

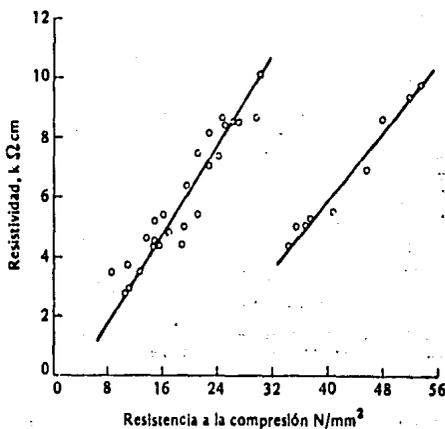


FIG. 2.2/- Gráfica típica de resistividad versus resistencia a la compresión a los 28 días.

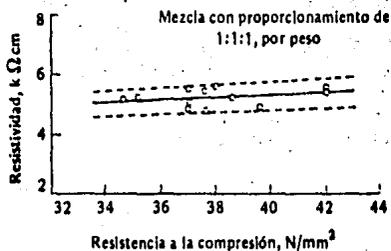


FIG.2.3/- Gráfica de resistividad versus resistencia a la compresión de un cubo para una mezcla con proporcionamiento de 1:1:1.

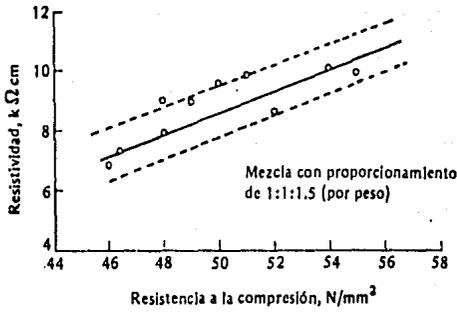


FIG. 2.4/- Gráfica de resistividad versus resistencia a la compresión de un cubo, para una mezcla con proporcionamiento de 1:1:1.5.

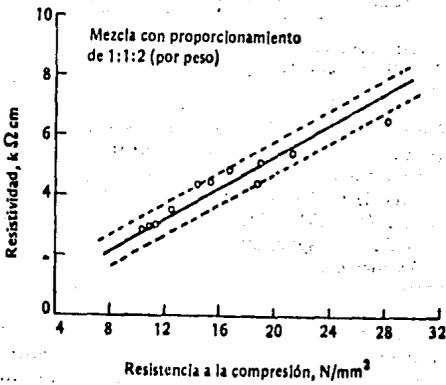


FIG. 2.5/- Gráfica de resistividad versus resistencia a la compresión de un cubo para una mezcla con proporcionamiento de 1:1:2.

En la tabla 2.2 se presentan factores de multiplicación para 9 mezclas diferentes. puede observarse que el factor de multiplicación disminuye al incrementarse la pobreza de la mezcla. Es importante señalar que una mezcla altamente porosa como la que se observó con un proporcionamiento de 1:4:8 mostró una resistividad muy elevada aunque su resistencia era muy baja. Otra observación es que la relación agua/cemento influyó en un grado importante sobre el factor de multiplicación. Una relación más baja de agua/cemento da como resultado valores más elevados de resistividad y de resistencia.

Así pues, conociendo el diseño de la mezcla y el factor correspondiente de multiplicación, puede obtenerse la resistencia a partir de las mediciones de resistividad. El incremento de la resistencia del concreto con el tiempo de curado se atribuye al proceso de hidratación que gradualmente reduce los poros del concreto; por lo tanto, la resistividad del concreto es una función de la saturación de agua y de la porosidad.

- Monitoreo continuo del desarrollo de resistencia:

Puesto que la medición de resistividad es una técnica no destructiva, la resistividad del concreto puede someterse a un monitoreo continuo, y utilizando la relación lineal, esto es el factor de multiplicación, puede seguirse en el tiempo el desarrollo de la resistencia a la compresión. En la figura 2.8 se muestra una resistividad típica versus una curva del tiempo de curado. Puede observarse que la resistividad se incrementa exponencialmente con el tiempo. En la figura 2.9 se presenta una resistencia a la compresión típica versus una curva de tiempo de curado, de la que puede concluirse que la resistencia también se incrementa exponencialmente con el tiempo. Es sabido que el incremento de la resistencia de compresión con el tiempo es de carácter exponencial. Por lo tan-

Prueba núm.	Propor- ciona- miento de la mezcla	Rela- ción agua/ cemen- to	Resis- tividad, ρ , k Ω cm	Resis- tencia a los 28 días f_{cu} N/mm ²	Factor de multi- plica- ción, f_{cu}/ρ
1	1:1:1	0.40	5,51 ± 0,07	40,2 ± 2,2	7,31
2	1:1:1.5	0.35	9,86 ± 0,05	54,5 ± 3,5	5,53
3	1:1.35:1.65	0.37	8,24 ± 0,32	46,5 ± 2,5	5,64
4	1:1.14:1.86	0.35	9,54 ± 0,42	48,0 ± 4,0	5,03
5	1:1.71:2.09	0.50	8,04 ± 0,26	31,5 ± 1,1	3,92
6	1:1:2	0.54	6,01 ± 0,58	24,7 ± 3,5	4,11
7	1:1.5:3	0.60	7,84 ± 1,44	25,4 ± 2,8	3,24
8	1:2:4	0.60	9,30 ± 0,80	28,7 ± 1,7	3,09
9	1:4:8	0.50	15,92 ± 1,06	6,45 ± 0,25	0,41

TABLA 2.2 - Factores de multiplicación para diferentes mezclas de concreto.

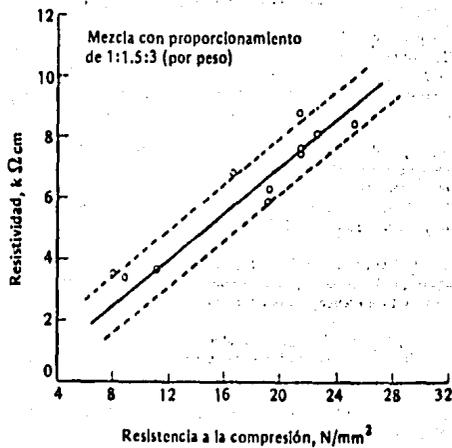


FIG. 2.6 - Gráfica de resistividad versus resistencia a la compresión de un cubo para una mezcla con proporcionamiento de 1:1.5:3.

to, las mediciones de resistividad pueden utilizarse como técnica para el monitoreo continuo de la resistencia.

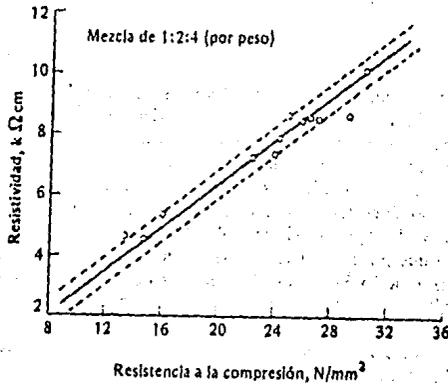


FIG. 2.7 - Gráfica de resistividad versus resistencia a la compresión de un cubo para una mezcla con proporción a-
miento de 1:2:4.

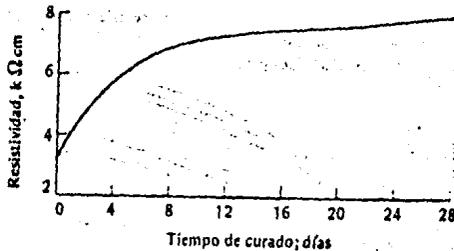


FIG. 2.8 - Gráfica de resistividad versus tiempo de curado, -
sin contenido de cloruros.

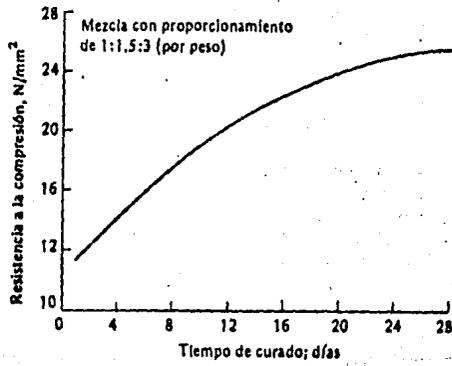


FIG. 2.9 - Gráfica de resistencia a la compresión versus tiempo de curado para una mezcla con proporcionamiento de 1:1.5:3.

2.2.2 DETERMINACION DE LA HUMEDAD DEL CONCRETO ENDURECIDO, POR MEDIO DE MEDICIONES DIELECTRICAS.

La necesidad de métodos no destructivos precisos para la determinación de la humedad del concreto endurecido, crece conjuntamente con los estudios de contracción y conductividad técnica del concreto.

Ya que las propiedades dieléctricas del concreto endurecido, al igual que las de una amplia variedad de materiales, varían con el cambio de humedad, varios investigadores emplean las mediciones dieléctricas para determinar la humedad del concreto. Los parámetros que definen estas mediciones dieléctricas son la constante dieléctrica y el factor de disipación.

La constante dieléctrica de cualquier material es la relación de la capacitancia entre dos placas con cierto material intermedio y la capacitancia entre las mismas placas separadas por la misma distancia al vacío.

La constante dieléctrica del aire a la presión de una atmósfera es igual a 1.00054.

La relación entre la magnitud de la corriente conducida y su desplazamiento se llama factor de disipación (D) o tangente de pérdidas.

En el reino unido, Hammond y Robson fueron los primeros en presentar un informe acerca de mediciones dieléctricas en el concreto. Los resultados de sus limitados estudios de laboratorio, a frecuencias de 50 a 25000 Hz, indicaron que los valores de las constantes dieléctricas fueron mucho mayores para pastas de cemento que para concreto, y estas constantes fueron diferentes para distintos tipos de proporcionamientos. También informaron que las constantes dieléctricas de todos los especímenes, independientemente del tipo de cemento, dis

minuyeron con la edad, aunque las frecuencias se incrementaron.

En Estados Unidos Bell y colaboradores midieron capacitancias y factores de disipación para especímenes de mortero y concreto de 7.6 cm de diámetro, con diferentes contenidos de humedad a una frecuencia de 10^6 Hz.

Estas mediciones indicaron contenidos de humedad por debajo del 6% con una aproximación de ± 0.25 %.

Bell y colaboradores también llevaron a cabo pruebas de conductividad de baja frecuencia en prismas de 0.9x2.5x5.0 cm y obtuvieron contenidos con una precisión de ± 0.5 %.

Las frecuencias usadas por Hammond y Robson, Bell y colaboradores eran relativamente bajas. Mas tarde, Jones demostró que cuando las mediciones de la constante dieléctrica se hacían a frecuencias de 10 a 100 MHz, los efectos de conductancia causados por sales disueltas y falsos contactos con electrodos eran mínimos.

A estas frecuencias altas, la constante dieléctrica del agua era cercana a 78, mientras que la constante dieléctrica de otros constituyentes variaba de 2 a 5.

Este método se basa en las modificaciones dieléctricas que sufre una pasta de cemento durante su fraguado y endurecimiento en efecto, ambos procesos tienen como consecuencia el paso progresivo del estado semisólido (pasta) al estado sólido, que constituye el cemento fraguado. Este proceso tenderá a provocar la inmovilización parcial de los dipolos del agua con lo cual, tanto la admitancia de la pasta como su constante dieléctrica disminuirán. Si tomamos en cuenta el primero de los parámetros citados, la admitancia, el esquema de la figura 2.10 dice como deben disponerse los aparatos para efec--

hacer una medición.

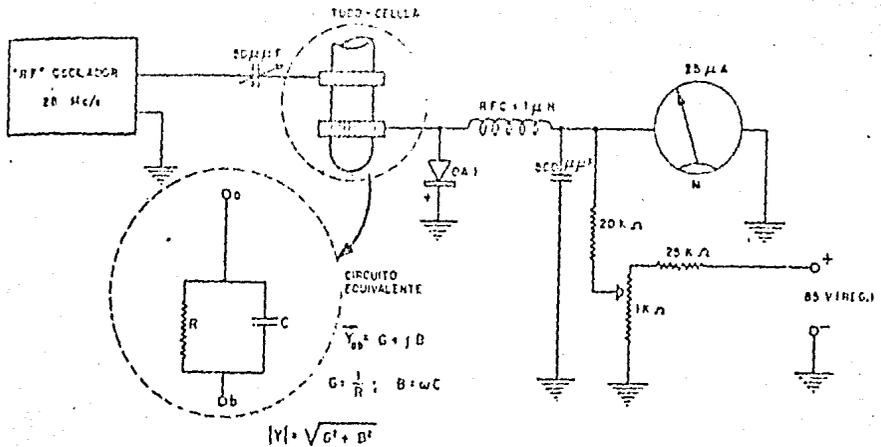


FIGURA 2.10.

Un oscilador estabilizado a 28 MHz/seg envía la señal a la célula de medición que consiste en dos anillos de cobre que rodean a un tubo de ensaye que contiene la pasta.

Esto forma un condensador, cuyo circuito equivalente puede verse en la figura 2.10, en la cual también se indica el sistema empleado para la medida de admitancia. Las curvas admittancia-tiempo que pueden obtenerse son como las de la figura 2.11. En ella pueden observarse unos puntos angulosos que representan el final del proceso de fraguado. El método constituye, como puede verse, un procedimiento para determinar el tiempo de fraguado con una gran exactitud.

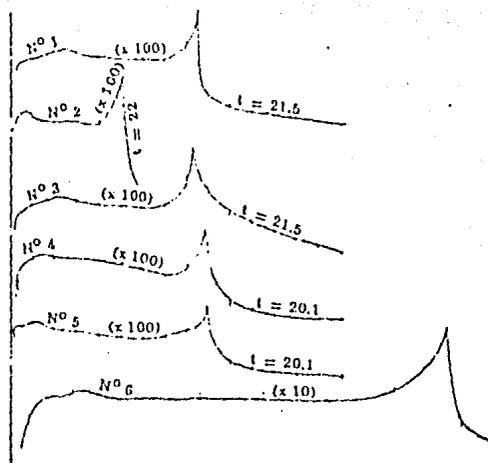


FIG. 2.11 - Curvas de admitancia de distintas pastas de cemento: en abscisas, tiempos, en ordenadas, admitancias (valor absoluto).

2.2.3 DETERMINACION DE LA PENETRACION DE HUMEDAD EN EL CONCRETO POR MEDIO DE LA RESISTIVIDAD ELECTRICA.

La resistividad eléctrica de los cuerpos es una constante física del material, independientemente de su forma y tamaño, pero que depende en alto grado de la temperatura, constitución cristalina del material, imperfecciones de la malla y estado de esfuerzos.

En 1970, Bracs y colaboradores, informaron del empleo de pruebas de resistividad eléctrica para determinar la penetración de humedad en concreto; en esta investigación se colaron especímenes cúbicos de concreto de 15 cm por lado, se curaron du-

rente períodos de 14 a 28 días y se secaron en un horno a una temperatura de 105° durante 24 horas. Después se colocó sobre los cubos un recipiente de polimetilmetacrilato con 5 cm de agua, y para prevenir la evaporación, las caras restantes de los cubos fueron cubiertas con una capa gruesa de parafina.

Se hicieron mediciones frecuentes de la resistividad eléctrica durante 120 días entre 11 pares de electrodos que habían sido ahogados en los especímenes cúbicos de concreto durante el colado.

El agua se repuso y registró cuantas veces fue necesario. La presencia de humedad abatió la resistividad local y así se pudo determinar el avance de la penetración del agua.

Los resultados indicaron que los especímenes secados al horno fueron completamente penetrados a los pocos días; sin embargo, después de un período de 120 días el endurecimiento del concreto dio como resultado cierta impermeabilidad.

Los resultados obtenidos por Bracs, se consideran cualitativos y permiten únicamente la clasificación de los especímenes según su calidad. En la figura 2.12 se muestran los resultados obtenidos sobre uno de los especímenes.

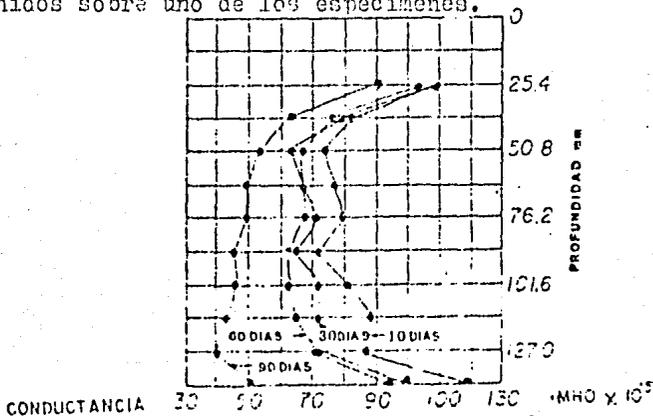


FIG. 2.12- Perfil de humedad de un espécimen cúbico.

2.2.4 INTERPRETACION DE RESULTADOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO POR MEDIO DE RESISTIVIDAD ELECTERICA.

Un pavimento de concreto tiene una resistividad caracteristica que generalmente difiere de la de estratos subyacentes, así, para estimar el espesor de dicho pavimento se emplea un cambio en la pendiente de la resistividad contra la escala de espaciamiento y parantes de la figura 2.13.

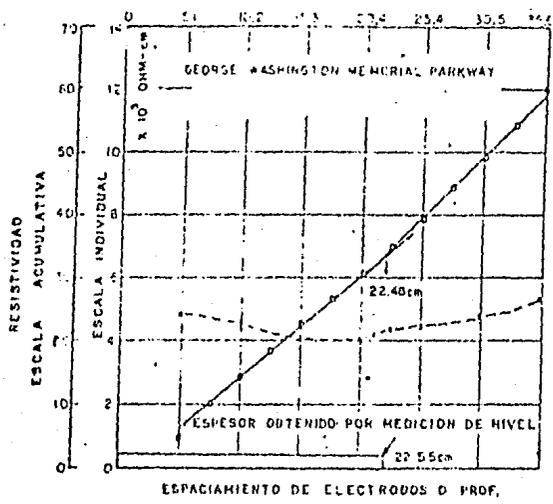


FIG. 2.13- Prueba de resistividad para estimar el espesor de una losa plana de concreto.

El método de prueba consiste en colocar cuatro electrodos a distancias iguales sobre una misma línea en el pavimento de concreto, como se ilustra en la figura 2.14.

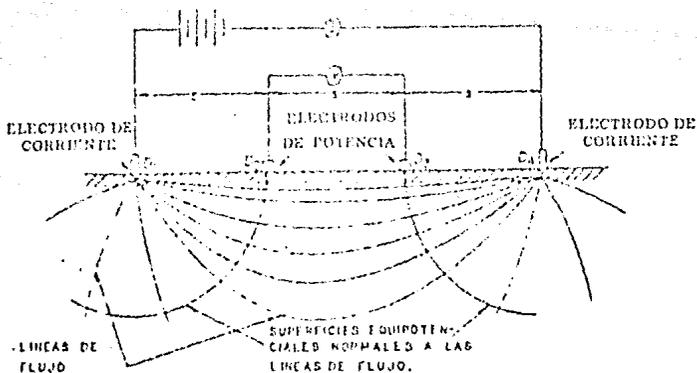


FIG. 2.14- Sección vertical a lo largo de la línea entre los dos electrodos, que muestra el flujo en un material homogéneo.

Moore usó satisfactoriamente como electrodos, pequeños tubos de plástico llenos de una solución saturada de sulfato de cobre en el cual se inserta un alambre de cobre tapados con barro recocido. Se mide la corriente I en amperes a través del concreto entre los electrodos de corriente D_1 y D_4 , y se anota la caída de potencial entre los electrodos D_2 y D_3 . En primer término, los electrodos se espacian a una distancia de 2.54 a 5.08 cm, incrementando gradualmente el espaciamiento para mediciones sucesivas, hasta que se alcanza una separación aproximada al peralte de diseño de la losa.

Después de haber obtenido los datos necesarios, la resistividad P se calcula con:

$$P = \frac{2 S E}{I}$$

donde:

I = Flujo de corriente entre los electrodos D_1 y D_4 .

E = Caída de potencial entre los electrodos D_2 y D_3 .

S = Separación entre electrodos, cm.

- Conclusión.

Este estudio demuestra que la mediciones de resistividad en el concreto es una técnica útil, no destructiva, para evaluar la calidad del concreto es una técnica útil, no destructiva, para evaluar la calidad del concreto. Existe una relación lineal entre la resistividad y la resistencia a la compresión; las mediciones de resistividad pueden emplearse para realizar un monitoreo continuo del desarrollo de resistencia en el concreto. La porosidad del concreto también puede evaluarse mediante las mediciones de resistividad en condición seca y en condición saturada. Puede estimarse rápidamente la influencia de diversos aditivos. Como el medidor de resistividad funciona con baterías y es portátil, su empleo es adecuado para mediciones en estructuras de concreto en obra.

CAPITULO III 3720

PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS CON ENERGIA LUMINOSA.

Existen varios tipos de pruebas de energía luminosa, pero las más importantes e interesantes son las pruebas de inspección visual y el análisis ultravioleta (UV), las cuales serán tratadas a continuación.

3.1 PRUEBA DE INSPECCION VISUAL.

Esta prueba consiste en iluminar el objeto que se va a examinar con una fuente apropiada, y observarlo mediante el uso de lupas, microscopios o visores micrométricos que son los más comunes.

Los visores micrométricos permiten medir anchos de fisuras en la superficie del concreto con aproximaciones hasta de 1 décima de milímetro. En la figura 3.1 se observa el uso de este dispositivo.



Esta simple operación resulta importante, ya que muchas ocasiones, por falta de luz apropiada (casos de sótanos y edificaciones análogas), El técnico no descubre a tiempo determinadas fallas.

Es quizás debido a la sencillez, facilidad de aplicación y bajo costo de esta prueba que muchas veces no se le toma en --

cuenta.

Además, de que las piezas de concreto bajo condiciones normales de servicio se encuentran generalmente fisuradas, sin que esto deba ser considerado como un hecho anormal e inquietante.

3.2 PRUEBA DEL ANALISIS CON ULTRAVIOLETA. (UV).

El análisis con luz fluorescente (UV) constituye una técnica físico química de tal magnitud que no cabe dentro de los límites de esta obra. Pero si conviene decir que la observación con luz ultravioleta, con equipos relativamente sencillos, permite investigar la presencia y calidad de las escorias en el cemento, la identificación de asfaltos, la determinación "a priori" de la calidad de cementos puzolánicos y de otros cementos mezclados.

CAPITULO IV

MÉTODOS RADIACTIVOS.

4.1

6. EMBUDO DE RAYOS X

El uso de los rayos "X" y rayos gamma como métodos no destruy-
tivos para medir las propiedades del concreto, es relativamen-
te nuevo. La distinción entre rayos "X" y rayos gamma es mas
bien de origen que de comportamiento, ya que ambos son compo-
nentes de la región de alta energía del espectro electromagné-
tico penetran la materia pero son atenuados en el proceso, ver
la figura 4.1

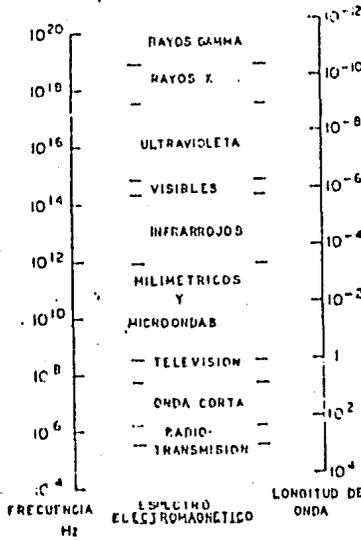


fig. 4.1 - Posición relativa de los rayos X y los rayos gamma en el espectro electromagnético.

El grado de atenuación depende del tipo y espesor de la materia que atraviezan y de la longitud de onda (energía) de la radiación.

La energía de los rayos X o rayos gamma se expresa generalmente en la unidad electrón-volt que es la energía cinética adquirida por un electrón acelerado por un potencial eléctrico de 1 volt. La energía de rayos X se expresa regularmente en kilo electrón-volt (kev) y la de los rayos gamma mega electrón-volt (Mev).

Las pruebas con rayos "X" tienen como principales limitaciones su alto costo inicial y la inmovilidad del equipo de prueba en el campo, en tanto, que los rayos gamma han tenido mayor aceptación debido a la existencia del cobalto 60, cesio 137, y a que el equipo es portable y fácil de usar sobre concreto "in-situ". A continuación se mencionan las pruebas.

4.2 METODOS DE PRUEBA
4.2.1 PRUEBAS DE RADIOGRAFIA X.

En 1949 Mullins y Pearson emplearon por primera vez rayos X en pruebas para determinar las variaciones de densidad y así localizar las varillas de refuerzo en el concreto. Desde 1955 que Evans y Robinsos hicieron pruebas en el concreto usando rayos X para pruebas no destructivas, desde entonces no se ha sabido de ningun otro trabajo realizado por estos métodos.

A continuación mencionaremos las tres técnicas mas importantes con rayos X que son :

- Técnica de Isenberg.
- Técnica de Bhargava.
- Técnica de Slate y Olsefski.

4.2.1 TECNICA DE ISENBERG.

Isenberg dio a conocer su estudio acerca de la relación entre el microagrietamiento y la ruptura total del concreto bajo --

tensión biaxial y compresión en 1960.

Isenberg obtuvo radiografías al someterse a esfuerzos máximos especímenes tubulares y hacerlos girar alrededor de un haz de rayos X.

El equipo de rayos X que se usó fue una unidad Müller MG 150 con una mira cuadrada de tungsteno de 1.5 mm, y pantallas de plomo de 0.1 mm de espesor entre el espécimen y la película. Después de examinar un buen número de radiografías, Isenberg concluyó que las partículas de agregado juegan un papel importante en el proceso del agrietamiento.

4.3.2 TECNICA DE BHARGAVA.

En 1969 Bhargava publicó los resultados de sus estudios experimentales en los que hizo uso de la radiografía X. Bhargava estudió el microagrietamiento de elementos no cargados, el agrietamiento y la propagación de grietas en el concreto bajo compresión.

Bhargava también perfeccionó el método de Slate y Olsefski el cual veremos más adelante, y así obtuvo resultados más precisos. Para estudiar el microagrietamiento de la aplicación de la carga, usó una unidad Müller MG 150. El tamaño del espécimen era de 2.54 mm. El estudio del agrietamiento y la propagación de las grietas durante la aplicación de la carga en prismas de 25.4 mm de espesor con un generador portátil de rayos X, fueron de suma importancia para Bhargava.

Los estudios de Bhargava van a confirmar como veremos adelante el trabajo de Slate y Olsefski respecto a la existencia de microgrietas antes de la aplicación de la carga y también revelan que al aplicar carga sobre los prismas de concreto, las grietas aparecían en los costados verticales de los agregados más grandes.

c) 4.2.3 TECNICA DE SLATE Y OLSEFSKI.

Slate y Olsefski sometieron especímenes de 3.79 ± 1.26 mm de espesor a radiografía X usando una unidad industrial de rayos X con una capacidad de 150 kilovolts (kv). El tubo tenía una mira de tungsteno y una longitud focal de 1m. Los especímenes se expusieron a los rayos X durante 2 minutos a 40 kv y 5 miliamperes y se usó un film teñido para hacer posibles las ampliaciones de las imágenes.

Las investigaciones incluyeron el estudio de:

- Observaciones directas del ordenamiento de las partículas - de agregado con atención especial en la separación y la película de pasta existente entre dichas partículas.
- Observación tridimensional de las cavidades de aire incluido.
- Efectos de segregación.
- La presencia de grietas.

4.2.2 ~~4.2.2~~ GAMMAGRAFIA (RADIOGRAFIA CON RAYOS GAMMA).

El principio de la gammagrafía, es muy sencillo, consiste en registrar sobre una placa o película fotográfica la imagen de un sólido "iluminado" por un haz de rayos gamma. Esto es posible gracias a que los rayos gamma al igual que los rayos X, tienen la facilidad de penetrar y traspasar cuerpos sólidos.

El paso de cualquier radiación a través de un sólido sufre una atenuación (o absorción) de energía radiante, debido a la interacción de los rayos con los átomos que componen el sólido. Dicha atenuación está en proporción directa de la densidad y espesor del material atravesado, así como de la longitud de onda (o energía) de la radiación.

El tiempo de exposición puede variar de 30 minutos a 30 horas de acuerdo al espesor del concreto, potencia de la fuente y -

distancia fuente-placa. Durante la realización de estas pruebas se presenta un efecto de penumbra el cual puede disminuir si incrementamos el tiempo de exposición, pero esto llega a ser en ocasiones prohibitivo.

Entre las aplicaciones más importantes de la gammagrafía tenemos las siguientes:

- Localización de Armado.

La gamma-radiografía permite obtener en vigas y losas, datos bastante exactos sobre la disposición de anclajes, corrosión de armaduras y recubrimiento de las mismas.

Respecto a la localización e identificación del armado, hay que tener en cuenta que, dado que los rayos gamma divergen -- desde la fuente, las zonas claras u oscuras (según se trate de negativas o positivas) del acero, serán de mayor diámetro que el suyo propio y que, además, para localizar su posición exacta es necesario obtener dos placas en planos ortogonales (cuando esto no sea posible, la solución es más complicada).

La localización de armado es posible gracias a que el acero de refuerzo es más denso y tiene un número atómico más alto que cualquiera de los constituyentes usuales del concreto.

La técnica no es muy sencilla pero, sin duda, el peor inconveniente es la dificultad en la interpretación de los resultados, y aquí, como en otros campos, la experiencia y buen sentido del investigador son las armas principales.

- Calidad del Concreto.

Es posible deducir, por medio de la gamma-grafía, ciertos defectos en el concreto tales como coqueas (huecos) y fisuras. Sin embargo hay que tener cuidado con el tipo de radiación gamma empleado, ya que en la mayoría de los casos, lo que es bueno para detectar armado no resulta conveniente para el fi-

suramiento.

- Inyecciones, juntas y calidad de vibrado.

La gamma-radiografía constituye un auxiliar importante cuando se estudia el rendimiento y eficacia de un sistema de vibración. Para ello se añaden a la masa unos pequeños cilindros de madera procurando que se parezcan, lo más que sea posible, en tamaño y densidad al árido, compuestos por una pequeña cantidad de plomo lo cual permite que sean fácilmente visibles a los rayos gamma.

El procedimiento consiste en tomar dos radiografías una antes y otra después del vibrado. La eficacia de la operación se determina observando el cambio de posición que sufrieron los cilindros "trazadores". Para ello es condición indispensable -- que sea posible hacer la exposición de la primera placa antes del fraguado. El empleo de película rápida, una fuente potente y quizá algún retardador de fraguado, pueden ser los elementos precisos para este ensayo.

- Densidad del Concreto

Existen tres métodos principales de prueba para determinar la densidad del concreto, los cuales describiremos a continuación.

a) Método de Smith y Whiffin.

En la figura 4.2 se muestra la disposición general para la medición directa de la densidad.

Smith y Whiffin emplearon esta misma disposición modificada para medir la variación de la densidad del concreto a cierta profundidad de una losa de concreto compactada con una máquina experimental vibradora.

Se hicieron perforaciones verticales de 5.1 cm de diámetro a intervalos de 30.5 cm a lo largo de 1.2 m y se introdujo en -

cada una de estas perforaciones una fuente de cobalto radiactivo de 100 milicurios. Se colocan contadores Geiger-Müller a la misma altura de la fuente de cobalto en cada una de las caras verticales de la losa. Para obtener un haz uniforme, es decir, para obtener un registro perteneciente completamente a la fuente de cobalto, los contadores Geiger-Müller se resguardan con placas gruesas de plomo. Estas tienen una abertura de 2.54 cm de diámetro y 15.2 cm de longitud en uno de sus extremos a través de la cual pasa la radiación.

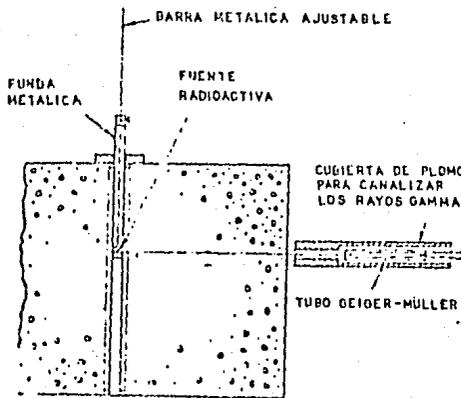


FIG. 4.2- Disposición general para medir la densidad del concreto por medio de rayos gamma.

b) Método de Brocard.

En la figura 4.3 se muestra la disposición empleada para determinar la densidad del concreto.

La fuente de radiación consiste en 10 milicurios de cobalto -

60 y un contador Geiger resguardado por un puzosa de placas - de plomo, que se emplea para medir la radiación. El espesor - máximo del concreto sometido a prueba se limita a 41cm.

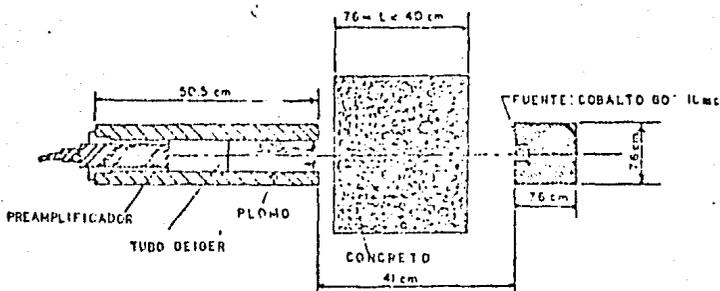


FIG. 4.3 - Disposición de la transmisión directa para medir - la densidad del concreto.

c) Método de Fraiss.

En la figura 4.4 se muestra la disposición directa entre la - fuente y el detector ubicados en perforaciones adyacentes. Es - ta disposición se empleó para determinar la densidad del con - creto de un pilote de cimentación de 1 m de diámetro y 18 m - de longitud.

La fuente consistía en 5 millicuries de cesio 137 y el detec - tor de centelleo de 5.1 cm de diámetro por 5.1 cm de espesor - de cristal NAI(Tl). La fuente radiactiva y el detector se co - locaron a un mismo nivel y se tomaron lecturas cada 30 segun - dos. A la profundidad de 9 m se observaron lecturas mayores -

que indican la existencia de concreto de baja densidad.

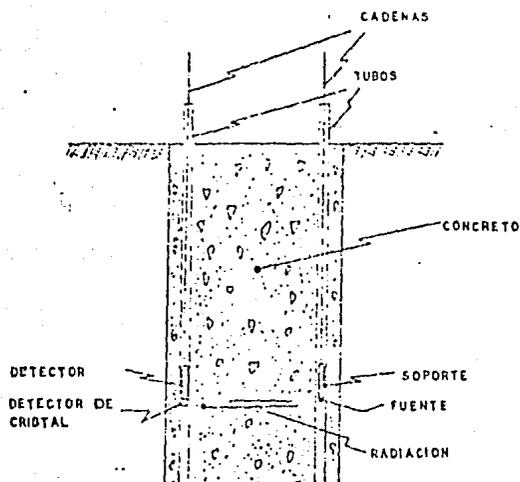


FIG. 4.4 - Disposición de transmisión directa en perforaciones adyacentes.

4.5 CONCLUSIONES

- Los ejemplos mostrados son tan sólo una indicación de las posibilidades que ofrecen los métodos radioactivos. Pero indudablemente al tratarse de un sistema de mediciones cuyos resultados no pueden darse en forma de números, la interpretación correcta de los mismos, requiere de personal altamente calificado y con varios años de experiencia.

El uso de la radiografía X se ve limitado por el alto costo del equipo y la dificultad para transportarlo.

Otro factor que limita el uso de los rayos gamma, es que el operador requiere de un equipo especial para no perjudicar su salud.

Sin embargo, la gammagrafía ha ido ganando mayor aceptación -- gracias a la existencia de equipos relativamente portables, ba ratos y principalmente a los valiosos resultados que se han - obtenido, mediante su uso, en el control de la calidad de ele mentos de concreto precolado.

CAPITULO V

PRUEBAS DE PENETRACION Y EXTRACCION.

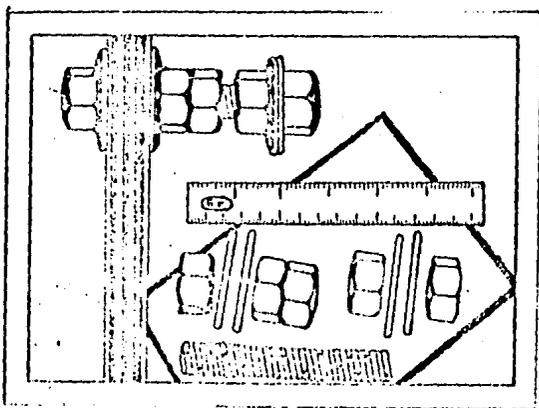
5.1 PRUEBA DE EXTRACCION O LE ADHERENCIA.

5.1.1 (5) En términos generales, la prueba de adherencia se encarga de medir, mediante una tensión hidráulica, la fuerza requerida para sacar del concreto una barra de acero (de forma especial) que ha sido colocada previamente dentro de él.

La fuerza obtenida se relaciona con la resistencia a la compresión del concreto y las pruebas de laboratorio que se han llevado a cabo indican que en realidad existe un alto grado de correlación entre la prueba de adherencia y las pruebas de resistencia a la compresión.

5.1.2 (5) El equipo de prueba está integrado por una barra de acero de alta resistencia (con un diámetro de 19mm y una longitud de 108 mm), discos de goma (con un diámetro de 57 mm y un espesor de 2.8 mm), y 5 tuercas.

En la figura 5.1 se ha utilizado un molde de madera para indicar la colocación que deben llevar dichas barras y se observa además, que la profundidad de la varilla empotrada es siempre constante (equivale a 55 mm.).



Debido a la forma que tiene la barra, al sacarla va acompañada de un cono de concreto como se muestra en la figura 5.2.

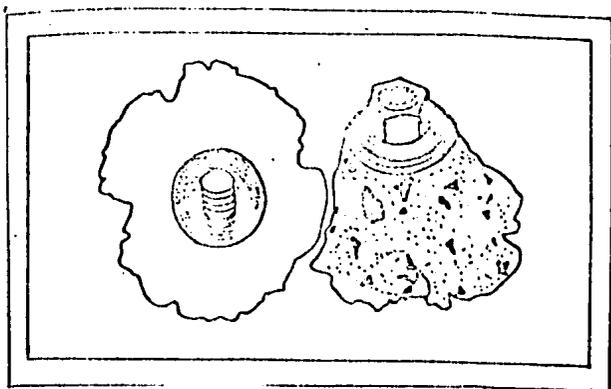


FIG. 5.2-

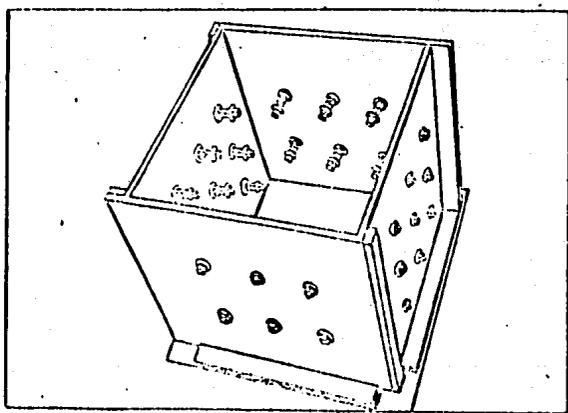


FIG. 5.3- Posición de ensamblado de la prueba de adherencia en un molde de madera.

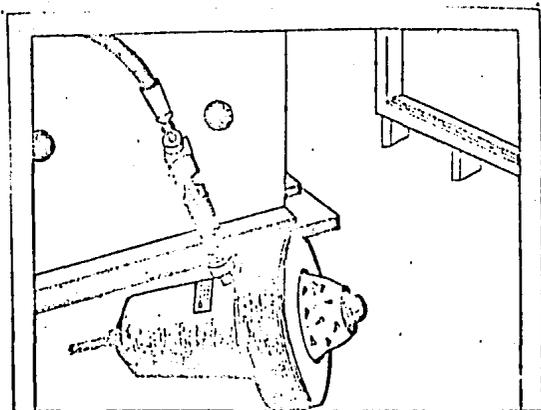


FIG. 5.4 - Ariete hidráulico inmediatamente después de la prueba de extracción.

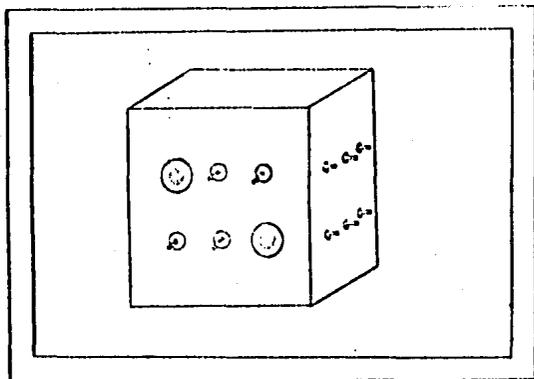


FIG. 5.5 - Cubo de concreto después de que han sido sacados 2 muestras.

Las formas en que se puede utilizar este método en el campo, son las siguientes: Una de ellas consiste en colocar el aparato en la cimbra del miembro estructural crítico (esta sería la forma ideal) y en la otra se procura 1 ó 2 largos bloques de concreto al mismo tiempo que el de la estructura. (Por supuesto deben ser razonablemente largos y recibir tanto compactación como curado idéntico al que recibe el miembro estructural en estudio).

- Ventajas de la prueba de adherencia.

Entre las ventajas de este método tenemos que el equipo usado es seguro, simple de ensamblar, fácil de operar y además las pruebas en el campo pueden llevarse a cabo en cuestión de minutos.

- Desventajas del método.

Una de ellas es el daño que causa a la superficie del concreto y el cual necesariamente debe ser reparado, esto ha hecho que algunos investigadores consideren que el método no es destructivo, sin embargo, se le ha considerado como tal, debido a que el miembro estructural no necesita ser descartado.

Otra desventaja consiste en que los datos que proporciona esta prueba, corresponden únicamente a la resistencia superficial del concreto, debido a que la distancia a que se propaga la barra dentro de él es muy corta. Y finalmente, diremos que la necesidad de incorporarlas dentro de la cimbra antes del colado, las hace menos conveniente que otros tipos de prueba no destructivas. De cualquier manera, los resultados de la prueba pueden correlacionarse a la resistencia del concreto con un grado aceptable de aproximación.

La tabla 5.1 y la figura 5.6 muestran los resultados obtenidos por Malhotra en una serie de pruebas, a la edad de 91 --

días, hechas con este método y cilindros sometidos a compresión.

TABLA 1.1

Muestra No.	Cilindro a compresión (15 x 30 cm)	Pull-out Test (Cubos)	Relación entre las 2 resistencias en %
	Resistencia Promedio de 2 Pruebas. (Kg f/cm ²)	Resistencia - Promedio de 6 Pruebas. Kg f/cm ²)	
1	365	70	19
2	306	62	19
3	207	53	26
4	143	41	29

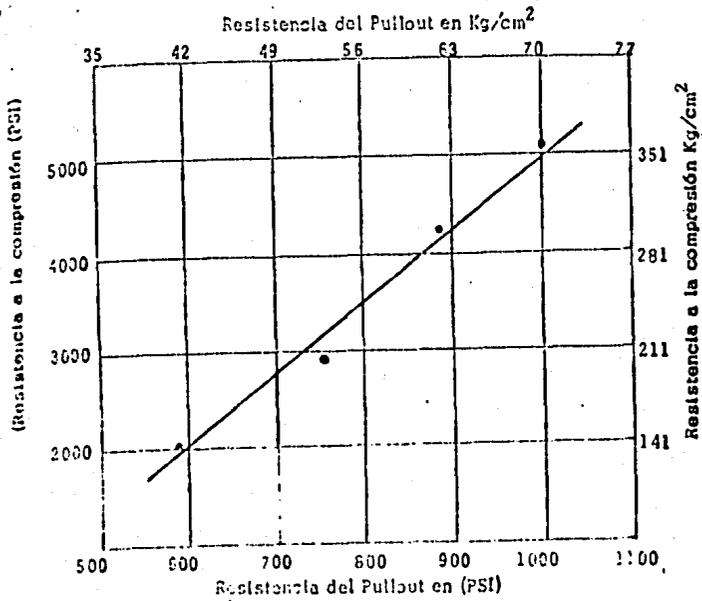


FIG. 5.6 -

5.1.3 CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas por Kullotra durante sus investigaciones fueron las siguientes:

- Que la prueba puede aplicarse tanto a concreto de baja como de alta resistencia, con un grado aceptable de aproximación en el cálculo de la resistencia a la compresión.
- Que la prueba es superior al martillo de rebote y a la sonda de Windsor, debido a que el concreto puede ser probado en gran volumen y con mayor profundidad que la obtenida por los otros métodos.
- Que puede usarse en el cálculo del tiempo mínimo para el descambrado. Esto es posible debido a que si aplicamos un mínimo de fuerza al tratar de sacar una varilla del concreto, esto indica que la estructura "In Situ" ha logrado ya cierta resistencia y si se considera que la resistencia que opone la varilla a ser sacada es suficiente, se puede empezar a descambrar. De esta manera ya no es necesario sacar completamente la varilla evitando así dañar el concreto.

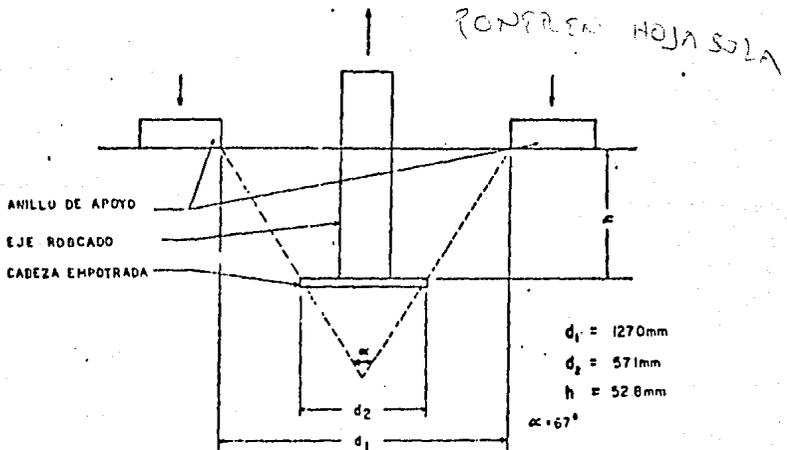


FIG. 5.7 - El esquema muestra la posición y dimensiones del anillo de apoyo y la cabeza empotrada.

5.2 PRUEBAS DE PENETRACION.

2.1 G.F.P.
Estas pruebas tienen mayor aceptación que las de dureza superficial, debido a que los datos que proporcionan se obtienen de la composición interna del concreto. Entre las más conocidas están las siguientes :

- Prueba del martillo de Simbi.
- Prueba de las agujas de Spit.
- Sonda o pistola de Windsor.

2.2 M.S.P.R.-
Las dos primeras técnicas fueron usadas por Vorllmy en 1954. La primera consistía en perforar el concreto por medio de un pequeño taladro y relacionar la profundidad obtenida con su resistencia a la compresión ver figura 5.8.

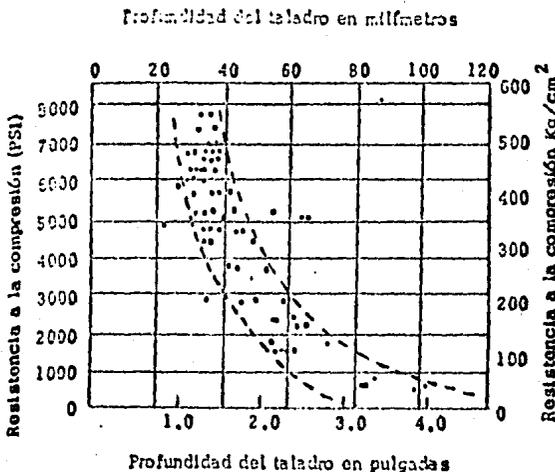


FIG. 5.8 -

En la otra técnica, la prueba consistía en disparar al concreto las agujas de Spit y al igual que en el caso anterior, la profundidad de penetración de las agujas se relaciona con la resistencia a la compresión del concreto.

En las investigaciones realizadas por Voellmy sobre cubos de concreto, encontró que las pruebas eran afectadas por la irregularidad del concreto y por tanto, es necesario tomar muchas precauciones.

5.23
Lond
Sus conclusiones fueron que: Con este tipo de pruebas se obtenían aproximaciones entre $\pm 25\%$ las cuales eran similares a las proporcionadas por los martillos de impacto.

La tercera técnica es la pistola de Windsor se basa al igual que los martillos de impacto y métodos de rebote, en la dureza superficial del concreto para calcular la resistencia a la compresión del concreto.

El equipo consta de una pistola de prueba, sondas, cartucho y un dispositivo medidor de la profundidad de penetración de la sonda. Esta técnica será tratada a fondo en el capítulo XIII.

CAPITULO VI.

PRUEBAS DE DUREZA SUPERFICIAL.

6.1 ^{6.1} ^{6.1} Debido al hecho de que el concreto se endurece e incrementa su resistencia al aumentar la edad, ha permitido el desarrollo de un número de pruebas para medir esta propiedad.

Estos métodos son un tipo de " Identificación " y consisten esencialmente en impactar la superficie de una estructura de concreto, usando una masa conocida que es activada por una energía que es conocida también y medir el tamaño de la identificación.

Realmente hay poca relación entre la resistencia del concreto y su dureza superficial pero de cualquier modo, bajo ciertos límites, se ha logrado establecer una relación empírica entre las propiedades de la resistencia y los datos obtenidos de las pruebas de dureza superficial.

Los tres métodos más conocidos empleados para la determinación de la resistencia a la compresión son:

- Método de la pistola de Williams.
- Método de el martillo de pendulo de Einbeck.
- Método del martillo de resorte de Frank.
- Método del martillo de Schmidt.

6.1 METODO DE LA PISTOLA DE PRUEBA DE WILLIAMS.

En 1936 Williams informó del desarrollo de una pistola de prueba que dispara un balín de acero y produce una hendidura en el concreto, a partir de la cual se puede determinar la resistencia a la compresión.

La bala es proyectada por medio de una pistola diseñada especialmente que mide 15.2 x 12.7 x 38.1 cm y pesa 0.9 kg.

Para realizar la prueba se coloca la pistola contra la superficie a probar la cual debiera ser lisa y se acciona el gati-

llo. El diámetro de la impresión hecha por la bala, se mide - por medio de una escala o cualquier otro dispositivo.

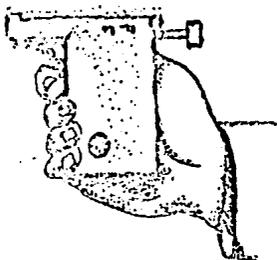


FIG. 6.1 -

La impresión es clara y bien definida, y la profundidad de la hendidura es de 1.5 mm para concretos con resistencias a la - compresión tan bajas como 70 kg/cm^2 .

La utilidad del método conforme a Williams se debe a que existe una relación aproximada entre la resistencia a la compré-- sión del concreto y la resistencia de su superficie al impac-- to. Con base en mas de 200 pruebas, Williams estableció la siguiente relación:

$$f_c = \frac{1}{Z} \quad Z = \frac{1}{4} (4h^2 + d^2)$$

Donde:

f_c = Resistencia a la compresión del concreto.

Z = Area de la curva de la hendidura.

h = Profundidad de la hendidura en su parte central.

d = Diámetro de la hendidura.

6.2,2 EL MARTILLO DE PENDULO DE EINBECK.

El martillo consta de una pierna horizontal, en cuyo extremo se encuentra un brazo cargado con un peso de casi 2 kg. La identificación se hace fijando la pierna horizontal contra la superficie del concreto en estudio y se levanta el brazo que el peso, para después soltarlo y que golpee a la estructura. La altura de caída del peso es variada y puede ser de impacto completo (180grados) o de medio impacto (90grados).

El diámetro y la profundidad de la identificación se realizan con la resistencia a la compresión del concreto.

El mayor inconveniente de este martillo es que solamente puede ser usado sobre superficies verticales. En la figura se muestra la utilización del martillo.

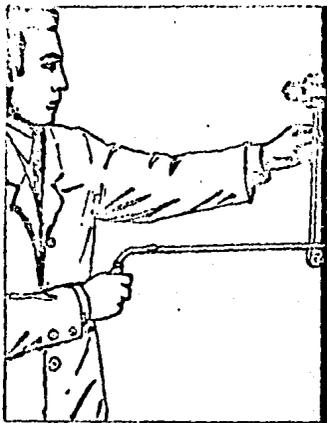


FIG. 6.2 -

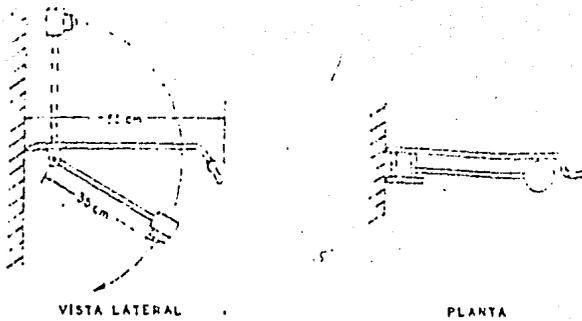


FIG. 6.3 - Vista lateral y planta del martillo pendular de Einbeck.

6.3 METODO DEL MARTILLO DE FRANK.

Consiste en un mecanismo de resorte colocado dentro de un armazón tubular. La boquilla del martillo puede adaptarse o ajustarse a diferentes diámetros de balas y el impacto se obtiene colocando el martillo contra la superficie del concreto y manipulando el mecanismo del resorte.

En la figura 6.4 se muestra el martillo en uso y en la figura 6.5 se observa el martillo y una gráfica en la que se ha correlacionado el diámetro de la identificación de la bala, con la resistencia a la compresión de cubos de concreto. Este método es más versátil que el martillo de péndulo de Einbeck, debido a que puede aplicarse tanto a superficies verticales como horizontales.

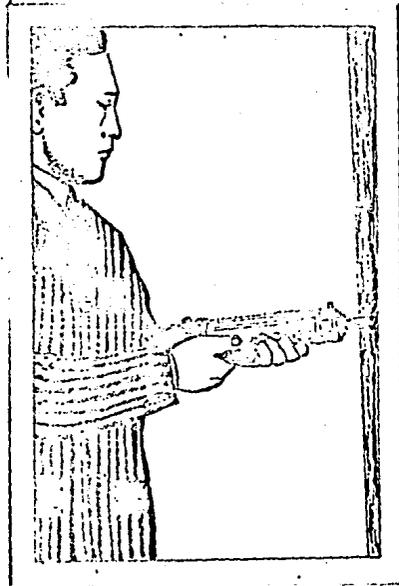


FIG. 6.4 - Martillo de resorte de Frank.

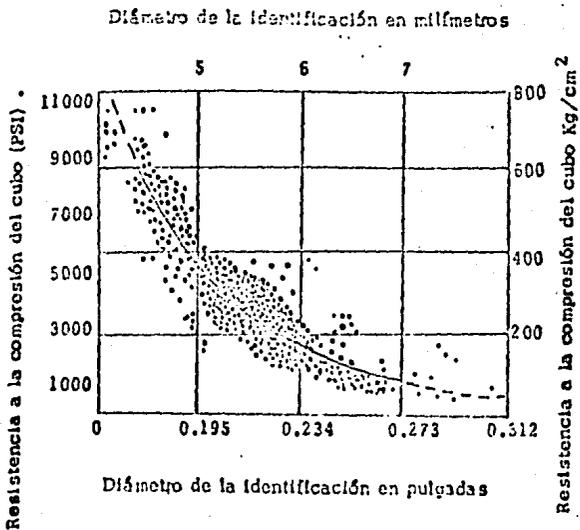


FIG. 6.5 - Relación entre el diámetro de la hendidura y la resistencia a la compresión.

6.2 METODO DEL MARTILLO SUIZO O DE SCHMIDT.

Esta prueba se basa en el principio de que el rebote elástico de una masa depende de la dureza de la superficie contra la cual la masa incide.

En la prueba del martillo de rebote una masa cargada por medio de un resorte recibe determinada cantidad de energía al extender este resorte a una posición determinada de antemano y que es constante; esto se lleva a cabo al presionar el embolo contra la superficie de concreto que se va a probar.

Al ser liberada la masa rebota el embolo, que sigue en contacto con la superficie de concreto, y la distancia recorrida -- por la masa se expresa como un porcentaje de la extensión inicial del resorte, a lo que se le llama número de rebote; este número queda señalado por un indicador móvil sobre una escala graduada.

El número de rebote es una medida que depende de la energía acumulada en el resorte y del tamaño de la masa, de ahí la importancia de la calibración del equipo, que nos permite obtener una relación entre el número de rebote y la resistencia a proximada. *EN EL CAPITULO 12 SE AMPLIARÁ*

6.3 CONCLUSION.

Como se puede observar los ensayos de dureza superficial tienen el grave defecto de intentar medir las propiedades del sólido a partir de la capa mas o menos profunda que lo recubre. Por tanto, para una correcta interpretación de los resultados es necesario conocer las proporciones de la mezcla, tipos de agregados, edad y condiciones de humedad del concreto.

A pesar de estas importantes limitaciones, las pruebas superficiales han ganado bastante terreno en los últimos años. Esto se debe sin duda, a que las aproximaciones obtenidas en el

cálculo de la resistencia a la compresión son de un 20 % a un 30 %. Y también a la facilidad, rapidez y bajo costo de los a paratos empleados para su realización.

CAPITULO VII

MÉTODOS MAGNÉTICOS.

7.1 ⁶⁹ ESTOS MÉTODOS DE PRUEBA
Estos métodos de prueba nos ayudan a determinar diversas cualidades y condiciones del concreto estructural, como es la de tección y condiciones del acero de refuerzo.

7.2 ^{MÉTODOS DE PRUEBA} PARA LLEVAR A CABO DICHA DETECCIÓN SE EMPLEA UN DETECTOR DE -
armado llamado R- meter ó Pachometro, el cual produce una corriente eléctrica que por medio de un electroimán se transforma en un campo magnético producido en un material diamagnético, que se detecta a su vez con otro electroimán a una distancia fija del mencionado anteriormente.

El esquema de funcionamiento del detector se muestra en la figura 7.1 en la que (P) es una pila eléctrica que, a través de un reóstato (R), envía corriente a un transformador (Q), que proporciona una corriente alterna de unas decenas de voltios. Esta corriente se envía a dos núcleos de hierro en (U)(C) y - (S), el último de los cuales constituye el localizador. La varilla de acero que se quiere localizar (A) va ahogada en el - concreto (B).

Los nucleos (C) (comparador) y (S) llevan unas bobinas suplementarias, dispuestas y conectadas en posición de fase. La corriente resultante se mide con el galvanómetro (G).

Cerrándose el circuito magnético de los nucleos a través del armado, será sencillo detectar éste, su posición, orientación e inclusive el diámetro de las varillas, en diferentes materiales como son: concreto, asfalto, madera, vidrio, aluminio, y algunos mas.

En el capítulo XI se tratará a fondo el uso del R- meter o pachometer.

73 CONCLUSIONES (VENT. Y DESU. R. 1050)

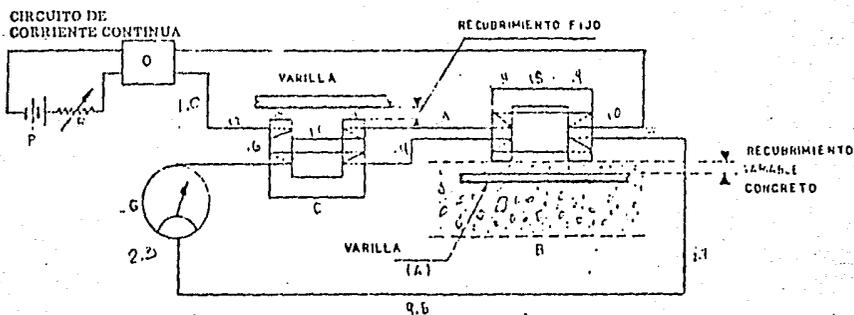


FIG. 7.1 - Esquema simplificado del R-meter o Pachometro.

CAPITULO VIII.

METODOS DINAMICOS O VIBRATORIOS.

6.1 ^{8.1} Para entender mejor estos métodos se muestra la división completa en la figura 8.1.

Los métodos que se fundan en la vibración estática de un sólido o en la propagación de una onda a través del mismo, son los de mayor interés en el estudio de los materiales de construcción.

Los principios fundamentales sobre los que se basan estos métodos fueron dados por Rayleigh en sus trabajos sobre la velocidad del sonido a través de un material. En ellos informó sobre la relación matemática existente entre la velocidad del sonido a través de un espécimen y su frecuencia resonante. Además explico la forma en que ellas se relacionan con el módulo de elasticidad del material.

La velocidad del sonido en un sólido la podemos medir determinando la frecuencia resonante del espécimen o registrando el tiempo de viaje de una pulsación pasando a través de la muestra. Esto da lugar a que dividamos los ensayos dinámicos en dos grupos principales que son:

- Métodos de frecuencia resonante.
- Métodos de velocidad de pulso.

A continuación se mencionan los más importantes.

8.1 METODOS DE FRECUENCIA RESONANTE.

El método consiste en someter algunas piezas de material (vigas, probetas prismáticas o cilíndricas) a vibración y encontrar su frecuencia de resonancia.

La forma en que se consigue la vibración del material es por medio de ondas de choque, ondas sometidas a impactos.

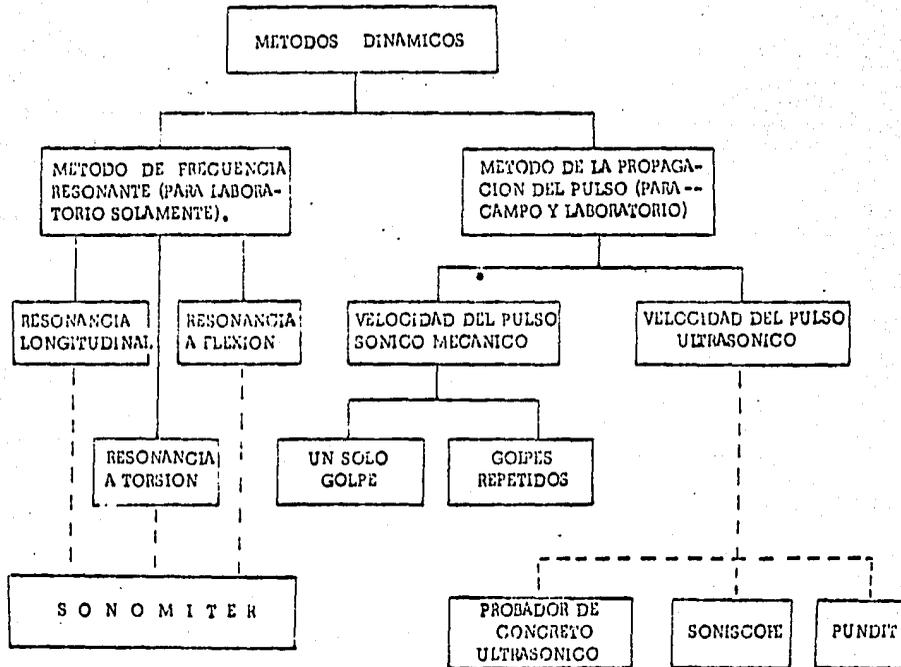


FIG. 8.1 - Clasificación de los métodos dinámicos.

La frecuencia de resonancia depende de las características - geométricas del espécimen, su peso específico y su módulo de elasticidad dinámico. Entonces determinando la frecuencia de resonancia y midiendo tanto el peso específico como las dimensiones del espécimen bajo prueba, se puede calcular el módulo de elasticidad dinámico y con éste el módulo de elasticidad - estático.

A continuación se mencionan las diferentes modalidades de este método.

- Resonancia Longitudinal.

El ensayo consiste en someter algunas piezas de material en una probeta en vibración en el sentido de su eje geométrico y detectar esa vibración.

La prueba puede llevarse a cabo sujetando la probeta por su parte media o simplemente depositándola sobre una lámina de caucho esponja tal como se ve en las figuras 8.2 y 8.3.

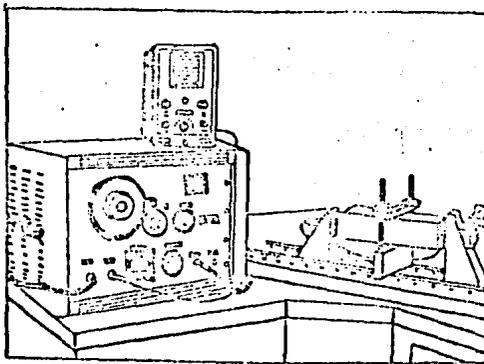


FIG. 8.2 - Resonancia longitudinal.

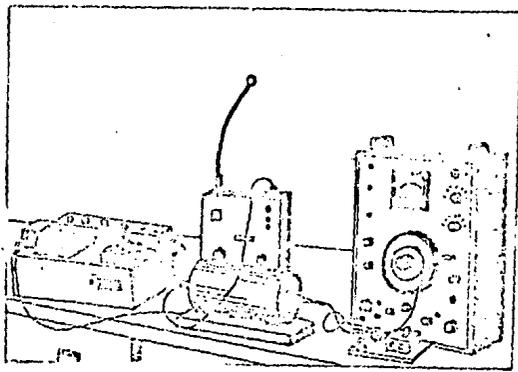


FIG. 8.3 - Resonancia longitudinal.

- Resonancia a Flexión.

En esta prueba, la probeta se soporta sobre dos apoyos, en tanto que la vibración y detección se realiza en la parte superior de la probeta.

- Resonancia a Torsión.

La prueba se realiza colocando el excitador en un vértice de la probeta y sujetando ésta por su parte media.

Estos métodos de resonancia se utilizan únicamente en laboratorio y con ellos el número de probetas que hay que emplear para determinar con gran precisión el módulo dinámico de Young es menor que en los ensayos estáticos. Si se quieren obtener datos concordantes al $\pm 1\%$ en los valores de "E" (en probetas de concreto de 10x10x30 cm) con el aparato de resonancia, se necesitaran 4 probetas. En cambio con presa para hallar el mismo valor hay que emplear 26 probetas ($E = E_s + 70.0 \text{ kg/cm}^2$).

Para determinar la resistencia del concreto se dispone de varias fórmulas, pero desafortunadamente, el grado de precisión no es muy bueno.

Lo que podemos concluir en términos muy generales, es que la frecuencia de vibración de una probeta sólida, es tanto más - alta cuanto mejor es su calidad.

8.2 METODOS DE VELOCIDAD DE PULSO.

Existen dos métodos principales dignos de mención y ambos presentan como característica esencial la posibilidad de ser aplicados al concreto "In Situ". Nos referimos a pruebas de la velocidad del pulso sónico mecánico y pruebas de la velocidad del pulso ultrasónico.

En los dos métodos el fundamento es el mismo: se colocan dos captadores sobre la superficie del material, a una distancia conocida y se envía a través de la masa una onda de choque o un impulso ultrasónico, el tiempo transcurrido entre el paso, por el primero y el segundo de los captadores se mide electrónicamente. La velocidad de propagación de onda se obtiene dividiendo la distancia que separa a los captadores entre el tiempo que tarda el impulso en pasar de uno a otro.

A continuación mencionamos algunas particularidades de estos métodos.

8.2.1 METODOS DE VELOCIDAD DE PULSO SONICO MECANICO.

La prueba consiste en provocar, mediante el golpe de un martillo o el uso de un explosivo, una onda de choque en el material y medir su tiempo de viaje a través del concreto.

La finalidad del ensayo es hallar el módulo de Young.

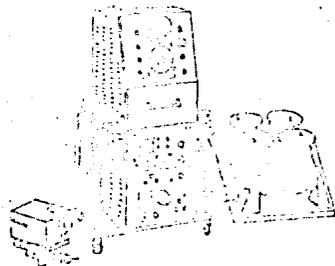


FIG. 8.4 - Aparato para auscultación sónica.

8.2.2 METODO DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO.

Si sustituimos el choque del martillo por el impulso corto (aproximadamente un microsegundo) de una onda elástica, sostenida o amortiguada, producido por un piezoelemento, llegamos a las pruebas de exploración ultrasónica.

De los dos métodos de la velocidad de pulso que hemos mencionado, este último es el que tiene mayor aceptación tanto en Europa como en Norteamérica. En el capítulo X trataremos muy a fondo esta prueba.

— CONCLUSIONES

CAPITULO IX. III

METODOS NUCLEARES.

1. GENERALIDADES
El empleo de técnicas nucleares para realizar pruebas no destructivas en el concreto es de origen reciente. Existen dos técnicas principales las cuales son :

- Método de dispersión de neutrones que nos sirve para determinar el contenido de humedad.
- Método de activación de neutrones para la determinación del contenido de cemento.

2. 3. 2. 1 METODO DE LA DISPERSION DE NEUTRONES.

La medición de humedad mediante dispersión de neutrones se basa en el principio de que los materiales contienen hidrógeno (en este caso el agua) actúan como moderadores de los neutrones rápidos. Es decir dichos materiales producen una disminución considerable de la energía cinética de los neutrones, dependiendo de la cantidad de humedad existente en los materiales en estudio.

Así mismo, el descenso de temperatura del espécimen, resultante de la interacción de los rápidos con el hidrógeno nos da a conocer el contenido de este último.

Este método se ha utilizado ampliamente para determinar el -- contenido de agua de los suelos. En el caso del concreto, el agua presenta en las diferentes fases actúa con la mayor fuente de hidrógeno. Para medir la humedad se utilizan generalmente las fuentes isotópicas más son las que producen neutrones indirectamente, mediante la interacción de las partículas al--fa, tal como el radio con el berilio.

Bhargava describió el empleo del método de dispersión de e--lectrones para determinar el contenido de humedad en columnas de concreto y de mortero de 15x30 cm y 150 cm de longitud. Las

columnas se curaron durante un día, posteriormente se retiraron las cintas y se tomaron lecturas con el dispositivo de medición en la parte inferior de cada una de las columnas. Para eliminar el efecto de la proximidad del piso, las columnas fueron colocadas 40 cm por encima de éste.

Mediante la comparación de las mediciones de la parte superior con las de la parte inferior y usando una tabla de valores de contenido de humedad correspondientes a diversas mediciones, Bhargava concluyó que la diferencia del contenido de humedad entre la parte superior y la parte inferior para columnas de concreto era de $5 \pm 0.5 \%$, y de $7 \pm 0.5 \%$ para columnas de mortero.

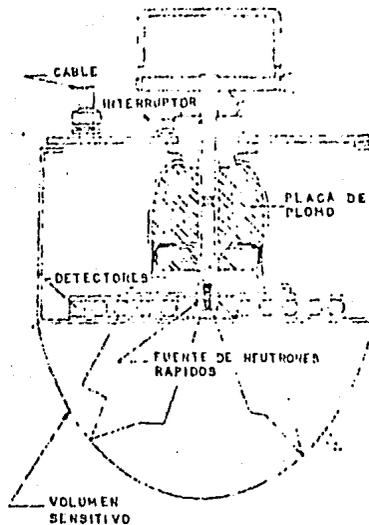


FIG. 9.1- Medidor nuclear de humedad.

3.2.2 METODO DEL ANALISIS DE ACTIVACION DE NEUTRONES.

El método del análisis de activación de neutrones se basa en el hecho de que la mayoría de los elementos llegan a ser radioactivos si son sometidos a bombardear neutrones. Los isótopos

pos radiactivos que se forman son inestables y disminuyen a un estado de campo estable con la emisión de energía en forma de radiación gamma o beta de energías características y vidas medias.

El método casi siempre se lleva a cabo con una base comparativa. Así mismo, un elemento que está siendo determinado se activa bajo las mismas condiciones de la muestra desconocida. Debe tenerse en cuenta que el análisis de activación de neutrones depende de la interacción entre un neutrón y un núcleo y es, por lo tanto, independiente del enlace químico (o estado físico) del elemento que es el objetivo.

Por otro lado, estos métodos no han sido suficientemente desarrollados para su aplicación al concreto. El mayor uso posible de estos métodos se encuentra en la determinación del contenido de cemento del concreto fresco o endurecido.

Ya que los contenidos de calcio y silicio del cemento Portland son relativamente altos en comparación con los demás constituyentes, estos elementos son útiles para determinar el análisis de activación de neutrones.

La activación térmica de neutrones con un reactor nuclear puede ser empleada para determinar el contenido de calcio cuya concentración varía directamente con el contenido de cemento. El contenido de silicio no puede determinarse con facilidad mediante irradiación del reactor, pero puede determinarse fácilmente usando irradiación de neutrones rápidos (14 Mev). Por el contrario, el calcio ofrece muy poca sensibilidad con una activación de neutrones de 14 Mev.

Entre 1960 y 1970 Covault y Poovey, Iddings y colaboradores, y Bhargava, informaron del uso de técnicas de activación de neutrones. Con excepción de Bhargava, quien usó las técnicas

de activación y para estudios de sedimentación de columnas durante el fraguado del concreto, todos los demás investigadores se concentraron en la determinación del contenido de cemento del concreto.

En la técnica de activación térmica de neutrones empleada por Idings y colaboradores, los especímenes de concreto fueron activados durante 1 segundo. Esto produjo el isótopo de calcio. Este produjo el isótopo de calcio de vida breve, calcio 49.

Los especímenes fueron contados durante 400 segundos después de una disminución de 720 segundos, empleando un detector de Germanio Litio derivado (Ge(Li)).

En la figura 9.2 se muestra un espectro de rayos gamma típico y en la prueba de análisis térmico de activación de neutrones se muestran los resultados de los especímenes como se ve en la figura 9.3.

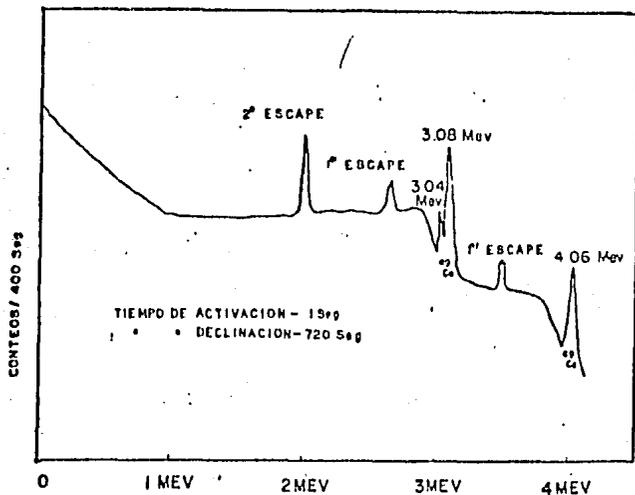


FIG. 9.2 - Espectro tipo de rayos gamma Ge(Li) de especímenes de concreto.

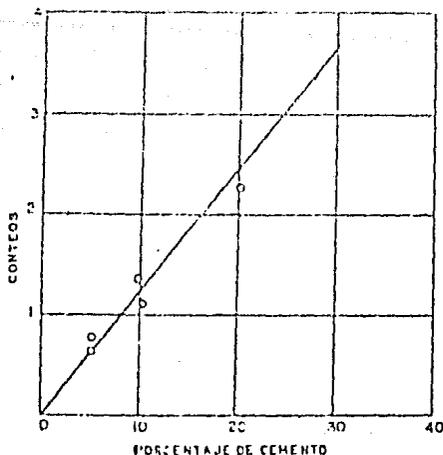


FIG. 9.3 - Resultados del análisis térmico de activación de neutrones.

Según Iddings y colaboradores, esta técnica puede usarse en el campo empleando una fuente de neutrones isótopos para la activación de especímenes grandes.

La determinación del contenido de silicio en el concreto mediante una activación de neutrones de 14 Mev, se lleva a cabo por medio de la formación del aluminio 28, el cual tiene una vida media de 2.3 min. Sin embargo, esta técnica solamente se ha empleado para estudios de campo de tipo exploratorio.

3.3 CONCLUSIONES

Los métodos nucleares para realizar pruebas en el concreto se encuentran todavía en su etapa exploratoria, pues el equipo requerido es relativamente complejo y caro; además, los métodos de prueba no se han perfeccionado y todavía tiene que comprobarse su función en el campo.

CAPITULO X

VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO.

GENERALIDADES

Este método nació casi al mismo tiempo en Canadá e Inglaterra alrededor de 1945, por la necesidad de examinar una presa sin destruirla. A partir de entonces, el uso de este instrumento se ha generalizado en todos los países, llegando a tener su mayor aplicación en los países de Canadá y Estados Unidos.

En general, el método de la velocidad del pulso ultrasónico - consiste en medir el tiempo de viaje de una pulsación ultrasónica a través del concreto que se está probando. Estas pulsaciones pueden ser generadas por el golpe de un martillo o por el uso de un transductor eléctrico, pero se prefiere, en general este último porque proporciona un mejor control sobre el tipo y frecuencia de las pulsaciones.

Los transductores eléctricos están constituidos por una serie de cristales piezoeléctricos que son los encargados de generar las pulsaciones. Los cristales piezoeléctricos provienen de la cristalización de algunas rocas y pueden fabricarse de cualquier forma y tamaño, pero los más empleados son los discos de caras paralelas y perfectamente planas, recubiertas de una fina capa de plata.

METODO

DE PRUEBA

10.1. CARACTERISTICAS DE LA PROPAGACION.

Cuando se aplican impulsos ultrasónicos a una masa sólida, la energía elástica se irradia en todas direcciones y se crean 3 tipos diferentes de ondas, las cuales son conocidas como onda longitudinal, onda transversal y onda superficial. A continuación se mencionan las características más importantes de cada una de ellas.

- Ondas longitudinales o de compresión.

Estas ondas viajan casi el doble de rápido que los otros 2 ti

pos y provocan, en el material, un desplazamiento de partículas en la misma dirección que en la que está viajando la onda durante la prueba.

- Ondas transversales o de esfuerzo cortante.

Son las siguientes en rapidez y provocan un desplazamiento de partículas en ángulo recto a la dirección del viaje.

- Ondas superficiales o de Rayleigh.

Son las más lentas de las tres y viajan a lo largo de la superficie provocando un desplazamiento elíptico de partículas.

10.2 METODO DE PRUEBA.

El método del pulso ultrasónico consiste en medir la velocidad de propagación de una onda a través del concreto. Para esto se colocan dos transductores sobre el concreto que se va a probar, siendo uno de ellos el transmisor y otro el receptor. El transmisor se encarga de generar una onda la cual viaja a través del concreto y finalmente es captada por el receptor, este último está conectado a un dispositivo que se encarga de medir electrónicamente, con una exactitud de $\pm 1\%$, el tiempo de viaje de la onda desde su arranque en el primer transductor hasta su llegada al segundo transductor.

Con el tiempo transcurrido y la longitud de separación de los transductores se obtiene la velocidad de propagación de la onda la cual, es el objetivo buscado en la aplicación de esta prueba.

10.3 TECNICAS DE MEDICION DE LA VELOCIDAD DE PULSO.

Existen tres formas para medir la velocidad de pulso a través del concreto, y son las siguientes:

- Transmisión directa.

Este caso se muestra en la letra "A" de la figura 10.1, y consiste en colocar los transductores sobre caras opuestas del -

espécimen que se está probando.

Esta forma de transmisión es la que se busca comunmente debido a que sus resultados son más sencibles y proporciona, además, una longitud de trayectoria bien definida.

- Transmisión semidirecta.

Algunas veces, por la naturaleza del concreto, se requiere -- que se utilicen métodos semidirectos como el mostrado en la 4 figura 10.1 letra "B".

Este caso es muy común cuando la trayectoria del pulso tiene que cruzar por la esquina de una estructura de concreto.

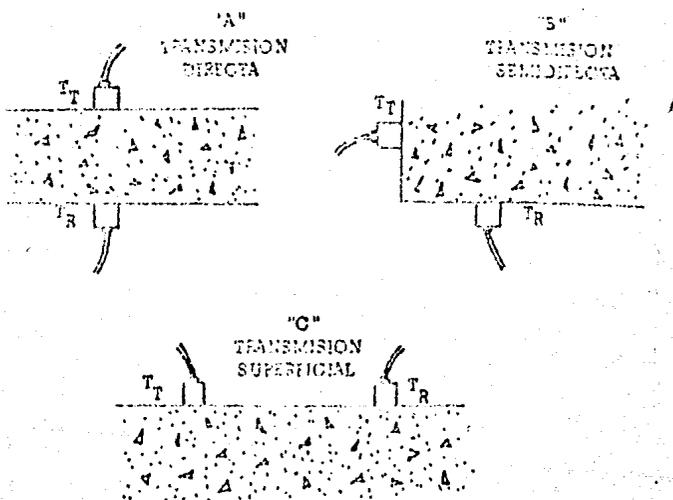


FIG. 10.1 - Tipos de transmisión.

- Transmisión superficial.

La transmisión superficial es usada cuando, solamente, es accesible una sola cara de la superficie del concreto. Este método es el menos satisfactorio de los tres, ya que las medidas que se obtienen de él, indican solamente la calidad de la superficie y no dan ninguna información acerca de las capas profundas del concreto. Consecuentemente el concreto de baja resistencia que puede estar bajo una superficie resistente puede no ser descubierto. Otra desventaja de este método es que la longitud de la trayectoria no queda definida con claridad y no es satisfactorio, tomar como tal, a la distancia que separa de centro a centro los transductores.

DESCRIPCION
10.4 GENERALIDADES DEL EQUIPO.

A continuación señalaremos las partes principales del equipo y el uso de cada una de ellas.

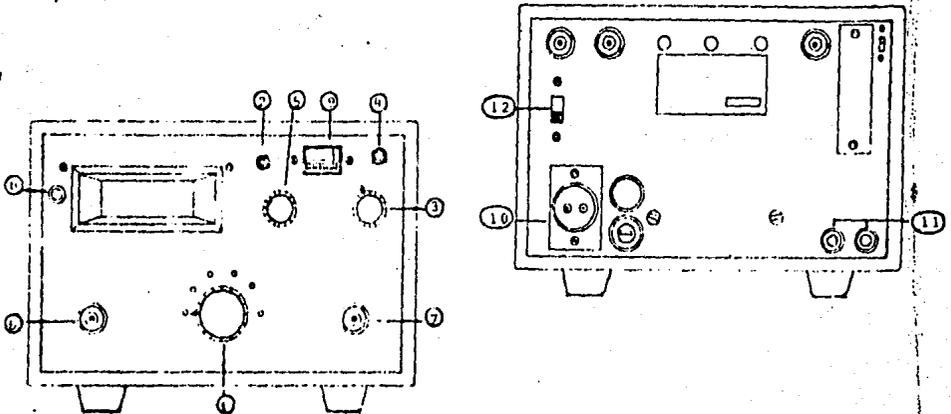


FIG. 10.2 - Pulso Ultrasónico.

Cara frontal .

- 1.- Botón de fuente de energía: Selecciona el tipo de fuente de energía con la que se va a operar el aparato, también sirve para poner a cargar la batería.
- 2.- Foco piloto indicador: indica cuando el aparato está funcionando con corriente alterna (AC) o cuando la batería está cargándose.
- 3.- Botón de rango: 0.1, 1.0 y 10 microsegundos en la carátula.
- 4.- Botón para indicar las lecturas: activa el circuito de -- conteo después de que se ha seleccionado la fuente de energía a utilizar.
- 5.- Botón de ajuste con patron de referencia: calibra el aparato.
- 6.- Contacto del receptor: en este sitio se conecta el cable del transductor receptor (REC).
- 7.- Contacto del transmisor: en este lugar se conecta el cable del transductor transmisor (TRAN).
- 8.- Foco piloto de verificación de rango O/R: se enciende -- cuando el tiempo de transmisión del ultrasonido sobrepasa el rango de lectura del aparato, o cuando no hay contacto entre el transmisor y el receptor debido al acoplamiento con la superficie del concreto.
- 9.- Indicador de carga de la batería: señala el nivel de carga de la batería interna.

Cara posterior.

- 10.- Contacto de 3 vías: contacto para corriente alterna de - 115 voltios o 250 voltios para cargar batería.
- 11.- Contacto de 1mm: entrada de corriente exterior de 11 a - 13 voltios.
- 12.- Botón lateral: sirve para seleccionar el número de pul---

... por segundo (de 3 a 10 pulsos por segundo).

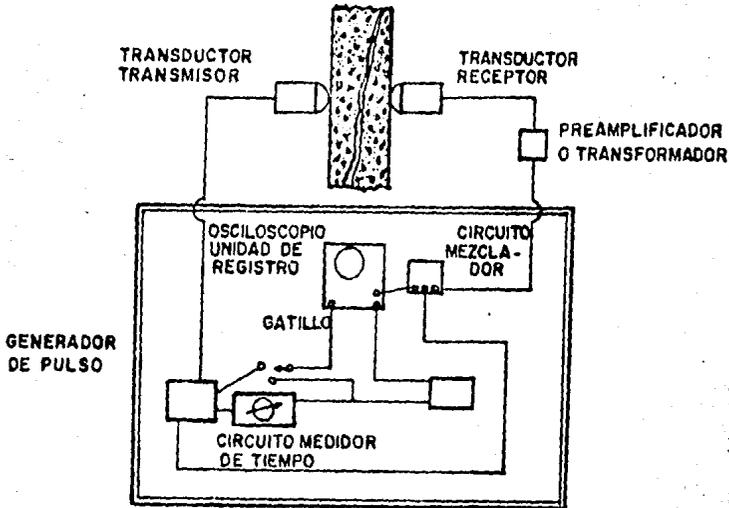


FIG. 10.3 - Pulso esquematizado.

10.5 FACTORES QUE AFECTAN LAS MEDIDAS DE LA VELOCIDAD DE PULSO.

Entre los factores más importantes que afectan la velocidad del pulso tenemos los siguientes:

a) 10.5.1 LA SUPERFICIE DEL CONCRETO.

Es muy importante mantener un buen contacto acústico entre la superficie del concreto y la de los transductores, ya que esto evitará que las lecturas obtenidas sobre el tiempo de viaje de la onda, de un transductor a otro, sean alteradas. Generalmente en superficies lisas esto no plantea ningún problema pero no sucede así, cuando la superficie es rugosa, ya que en este caso existen entre el concreto y el transductor varios -

espacios llenos de aire que ocasionan pérdidas de energía y -- consecuentemente dan una menor velocidad de propagación. Para evitar lo anterior, se recomienda que la superficie del con--: creto sea pulida con una piedra de carborundum antes de reali zar la prueba.

Aparte del estado liso de la superficie, tenemos por otro lado que la energía elástica producida por un piezocristal, nun ca debe aplicarse directamente sobre el concreto, sino por in termedio de una delgada película de aceite, glicerina, jabón o jalea que se encarga de rellenar los huecos superficiales - del concreto, favoreciendo así la transmisión de energía.

b) 10.5.2-LA LONGITUD DE LA TRAYECTORIA.

Hay diferencia de opiniones acerca de el efecto que tiene la longitud de la trayectoria recorrida por la onda, sobre la - velocidad de propagación de esta. Por ejemplo Mather, Mc-Coy, Roshore y sanderson, indican que, como el concreto es un mate rial inherentemente heterogeneo, es necesario que la trayecto ria recorrida sea suficientemente larga para evitar algunos e rrores debidos a su heterogeneidad. Estos cuatro investigado res obtubieron datos en los que se muestra que para un mismo concreto la velocidad de pulso disminuye cuando aumenta la tra yectoria(ver tabla 10.†).

Sin embargo se afirma que de acuerdo a pruebas realizadas en la Universidad de Tennessee la variación de la velocidad de -- pulso con la longitud de la trayectoria o de la dimensión del espécimen en dirección transversal a la trayectoria, no tie-- nen efecto importante sobre la velocidad de propagación del - pulso.

NOMENCLATURA DEL TIPO	VELOCIDAD DEL PULSO EN m/seg.		
	LONGITUD DEL ESPACIAMIENTO		
	15,2 cm	30,5 cm	61,0 cm
A	4785	4602	4339
B	4755	4491	4329
C	4563	4267	4139
D	4115	4054	3719

TABLA 10.1 - Influencia de la longitud de la trayectoria sobre la velocidad del pulso.

c) ~~10.5.3~~ LA HUMEDAD DEL CONCRETO.

El contenido de humedad que tiene el concreto influye sobre la velocidad del ultrasonido que pasa a través de él. La velocidad del pulso será mayor en un concreto cuyos poros estén llenos de agua que en aquel en que se encuentren llenos de aire. Esta influencia es más marcada para concreto de baja resistencia que para uno de alta resistencia. Se ha encontrado que la velocidad del pulso para un concreto saturado puede ser mayor al 2 % comparado con un concreto similar seco.

d) ~~10.5.4~~ LA TEMPERATURA DEL CONCRETO.

Se ha encontrado que cuando el concreto se encuentra a una temperatura ambiente, que varíe entre 5° y 30° C, las medidas de la velocidad de pulso no se afectan significativamente. Pero en cambio a una temperatura de -4°C, la velocidad del pul-

so. llega a incrementarse hasta en un 7.5 %, esto se debe a que bajo temperaturas de congelación, el agua libre que existe dentro del concreto se congela y se provoca que la velocidad del pulso viaje más rápidamente.

Se ha encontrado que cuando el concreto se encuentra a una temperatura ambiente, entre 30° y 60°C, la velocidad del pulso sufre una reducción hasta del 5 %. Esto es ocasionado, probablemente, por la iniciación de microgrietas en el concreto. Las correcciones para la velocidad de pulso, ocasionadas por cambios de temperatura, se dan en la tabla 10.2.

TEMPERATURA EN °C	CORRECCIONES EN % PARA	
	CONCRETO SECO	CONCRETO SATURADO
+ 50	+ 5.0	+ 4.0
+ 50	+ 3.5	+ 2.8
+ 40	+ 2.0	+ 1.7
+ 20	0.0	0.0
0	- 0.5	- 1.0
- 47	- 1.5	- 7.5

TABLA - 10.2

10.5.5 LA PRESENCIA DE ACERO DE REFUERZO.

La presencia de acero de refuerzo, en el concreto, afecta considerablemente las medidas de la velocidad de pulso. Se ha encontrado que la velocidad de pulso en el acero es casi el do-

ble de rápido que la del concreto. Por tanto, si las medidas de la velocidad del pulso se toman cerca de las varillas de refuerzo, las medidas obtenidas son muy altas y no representan la verdadera velocidad del pulso dentro del concreto.

Lo más conveniente sería escoger una trayectoria de pulso que evite la influencia del refuerzo, pero como no siempre es posible hacer esto, se han elaborado tablas con factores de corrección que toman en cuenta la proximidad, la cantidad, la orientación del acero con respecto a la trayectoria de propagación.

Los casos que pueden presentarse de acuerdo con la orientación del refuerzo son tres, y los mencionaremos a continuación dando a conocer también como se obtiene su factor de corrección.

F) 10.5.5.1 CUANDO LAS VARILLAS DE REFUERZO SON PERPENDICULARES A LA DIRECCION DE PROPAGACION.

Este caso puede corregirse siempre y cuando la cantidad de refuerzo sea pequeña, ya que de esta manera, la influencia que se tenga sobre la velocidad de pulso será también pequeña. Los factores de corrección con que se cuenta son del orden del 80% al 100%, dependiendo de la cantidad de concreto circunvecino y de la relación L_s/L . El procedimiento para obtener el factor de corrección es el siguiente:

1.- Se determinan los valores de L , L_s , V y V_c siendo:

L = Longitud total de la trayectoria.

L_s = Longitud total de la trayectoria a través de los diámetros de las varillas.

V = Velocidad del pulso en concreto sin refuerzo.

V_c = Velocidad del pulso en concreto sin refuerzo.

2.- Se calcula L_s/L .

3.- Se estima la calidad del concreto.

Será pobre para $V_c = 3$ km/seg.

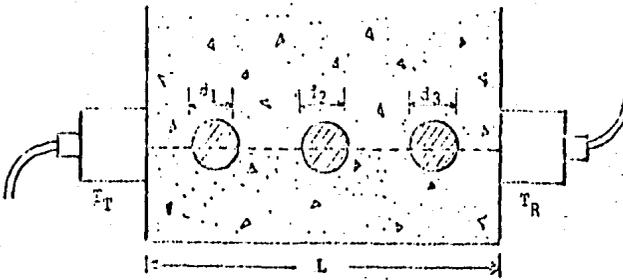
" regular " $V_c = 4$ km/seg.

" bueno " $V_c = 5$ km/seg.

4.- Con el valor de l_s/L , la calidad del concreto y la gráfica de la figura 10.4 podemos determinar el valor del factor de corrección (V_c/V).

Por ejemplo :

Si l_s/L es 0.2 y el concreto es considerado de una calidad pobre, el factor de corrección V_c/V , para tener en cuenta el efecto del acero de refuerzo en el concreto, es de 0.90. Así - la velocidad del pulso obtenida, será multiplicada por 0.90 - para obtener la verdadera velocidad del pulso en el concreto.



l_s = longitud total de la trayectoria a través de los diámetros de las varillas.

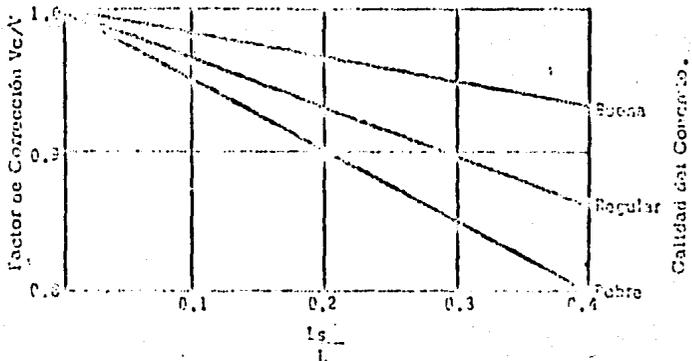


FIG. 10.4

g) 10.5.5.2 CUANDO LAS VARILLAS DE REFUERZO SON PARALELAS A LA VELOCIDAD O DIRECCION DE PROPAGACION.

En este caso la influencia del acero de refuerzo, sobre la velocidad del pulso, no se puede evitar fácilmente y por tanto, los factores de corrección con que se cuenta son solamente de naturaleza aproximada. El procedimiento para determinar el - coeficiente de corrección, es el siguiente:

1.- Se determinan los valores de L, a, V y Vc.

Siendo:

L = Longitud total de la trayectoria.

a = Distancia entre el canto de la varilla y el punto más cercano de los transductores.

V = Velocidad del pulso en el concreto reforzado.

Vc = Velocidad del pulso en el concreto sin refuerzo.

2.- Calcular a/L.

3.- Determinar la calidad del concreto.

Será pobre para un valor de Vc = 3 km/seg.

" regular " " " Vc = 4 km/seg.

" bueno " " " VC = 5 km/seg.

4.- Con el valor de a/L, la calidad del concreto y la gráfica de la figura 10.5 podemos determinar el valor del factor de - corrección (Vc/V).

Por ejemplo:

Si la razón a/L = 0.1 y el concreto se considera de calidad - regular, el factor de corrección Vc/V es 0.80. Así, si multi-PLICAMOS la velocidad encontrada en el concreto reforzado por 0.80, estaremos obteniendo únicamente la velocidad del pulso a través del concreto, es decir, como si no existiera refuer- zo.

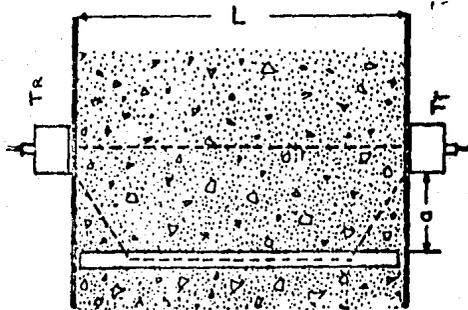
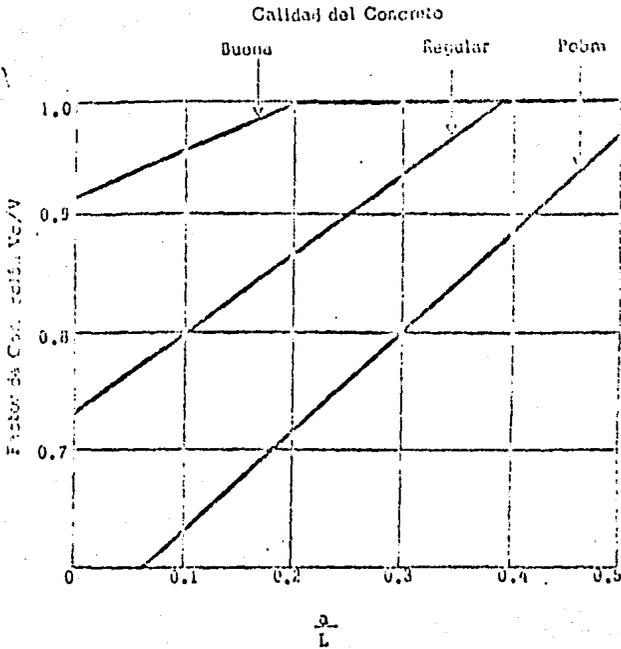


FIG. 10.5 - Varillas de refuerzo paralelas a la dirección de propagación.

A) 10.5.5.3 CUANDO SE TIENE REFUERZO EN DOS DIRECCIONES.

Para este caso, es realmente imposible hacer correcciones con fiables.

10.6 APLICACIONES.

Esta prueba tiene muchas aplicaciones y muy importantes, a -
continuación describiremos las más importantes.

10.6.1 ESTABLECER LA UNIFORMIDAD DEL CONCRETO.

Todos los aparatos que utilizan la velocidad del pulso ultra-
sónico, sirven para determinar la uniformidad del concreto.

El probador de concreto puede medir el tiempo de viaje del so-
nido a través de un espécimen hasta con una precisión de 0.1
microsegundos. Esto lo hace una herramienta ideal para contro-
lar, únicamente, estudios de laboratorio. Si examinamos ahora,
por medio del soniscope y el pundit, los mismos especímenes -
que se usaron para el probador de concreto, se encuentra que
la precisión obtenida, en la medición del tiempo, es del orde-
den de 0.5 microsegundos, esto hace que dichos instrumentos -
se utilicen comunmente para investigaciones de campo (donde la
longitud de la trayectoria es muy grande); pero también pue-
den ser utilizados en laboratorio.

El procedimiento para determinar la uniformidad de un concre-
to mediante el uso de la velocidad del pulso, es el siguien-
te:

- 1.- Se selecciona, dentro de una misma estructura o en estruc-
turas diferentes, varias zonas que tengan la misma fc de dise-
ño.
- 2.- Se traza sobre las áreas seleccionadas, una cuadrícula (cu-
yas dimensiones dependerán del tamaño de la zona que se este
examinando).
- 3.- Se tomara la velocidad de pulso en los puntos de intersec-
ción de la cuadrícula.

Si se encuentra que las velocidades obtenidas son muy diferentes entre si, sin que exista un motivo aparente, es decir, que no hubo cambio de materiales, ni en la dosificación del concreto, ni en los procedimientos de construcción, etc., tenemos una razón muy fuerte para presumir que en la zona donde la velocidad de pulso fue menor, están presentes algunos defectos que modificaron la velocidad del pulso ya que, como sabemos, un concreto de baja calidad implica que la velocidad ultrasónica sea también baja.

Para obras donde se han usado concretos con f' o revenimientos diferentes, la determinación de la homogeneidad deberá hacerse por separado para cada una de las diferentes zonas.

b) 10.6.2 ESTABLECER UN CRITERIO DE ACEPTACION.

Como se menciono anteriormente, una lectura alta en la velocidad del pulso indica una buena calidad del concreto.

Leslie y Cheesman han elaborado una tabla en la cual se tienen diferentes lecturas de la velocidad del pulso que tratan de dar una idea de la posible calidad que tiene el concreto de una estructura 10.3.

RELACIONAMIENTO DE UN CONCRETO EN
FUNCIÓN DE SU VELOCIDAD DE PULSO

VELOCIDAD DEL PULSO EN m./seg.	CONDICIONES GENERALES DEL CONCRETO.
MAYOR DE 4575	EXCELENTE
3650 - 4575	BUENO
2950 - 3650	CUESTIONABLE
2125 - 2950	POBRE
MEJOR DE 2125	MUY POBRE

TABLA 10.3

c) 10.6.3. DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD.

Se define como modulo de elasticidad a la relación que existe entre el esfuerzo unitario que se aplica a un material y la deformación unitaria que produce en él.

La ley de Hooke establece que, en un material perfectamente elástico, el modulo de elasticidad se conserva constante para cualquier valor del esfuerzo y es independiente de la velocidad a la cual se aplique este. Esta ley no puede aplicarse al concreto, ya que se trata de un material en el que se incrementan las deformaciones cuando el esfuerzo se conserva constante. Esto se debe a que al aplicar el esfuerzo, las deformaciones son, inicialmente, de tipo elástico, pero que al mantenerlo constante se generan otro tipo de deformaciones, debida a la fluencia y que originan que el modulo de elasticidad vaya disminuyendo con el transcurso del tiempo.

El cálculo del módulo de elasticidad, por medio del pulso ultrasónico, está basado en el hecho de que la velocidad a la que se propaga una onda elástica a través de un sólido, depende de sus propiedades elásticas y de su densidad. Por tanto, conociendo la velocidad de propagación y la densidad del sólido, se pueden determinar sus propiedades elásticas. Las ecuaciones con las que se cuenta para este fin son las siguientes.

1.- Para especímenes de laboratorio.

$$E_d = 1.02 V^2 W \times 10^{-5}$$

2.- Para losas.

$$E_d = 0.961 V^2 W \times 10^{-5}$$

3.- Para concreto masivo.

$$E_d = 0.886 V^2 W \times 10^{-5}$$

Donde :

E_d = Módulo de elasticidad dinámico del concreto (Kgf/cm^2).

V = Velocidad de pulso (m/seg)

W = Peso volumétrico del concreto (Kgf/m^3).

Se ha encontrado que el módulo dinámico de elasticidad (E_d), determinado a partir de las fórmulas anteriores, es mayor que el módulo estático (E_s); esto se debe a que la velocidad del pulso no produce deformaciones por fluencia, por consiguiente sólo se tienen deformaciones puramente elásticas que originan un módulo de elasticidad alto.

De acuerdo a un resumen de resultados realizados por Phileo, puede decirse que existe un coeficiente "K" que permite igualar el módulo de elasticidad obtenido por medio de la velocidad de pulso, con el módulo estático. Este coeficiente "K" es como sigue:

- 1) En vigas de $15 \times 15 \times 76$ cm y con una " E_d " entre 3.18×10^5 y 4.24×10^5 (Kgf/cm^2). $1.01 < K < 1.17$.
- 2) En cilindros de 15×30 cm y con una " E_d " entre 2.75×10^5 y 3.87×10^5 (Kgf/cm^2). $1.0 < K < 1.54$.

Por ejemplo, para un espécimen cilíndrico con una velocidad de pulso de 3500m seg y con un peso volumétrico de 2200 Kg/m^3 se tiene:

$$E_d = 1.02 V^2 W \times 10^{-5} = 2.75 \times 10^5 \text{ (Kgf/cm}^2\text{)}$$

$$E_s = \frac{1}{K} E_d \text{ para este caso } K=1$$

$$\therefore E_s = 2.75 \times 10^5 \text{ Kgf/cm}^2$$

d) 10.6.4 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.

Varios investigadores han intentado relacionar la resistencia a la compresión y flexión del concreto con la velocidad del pulso, entre los más notables están Jones, Gatfield, Kaplan y Chefdeville.

Jones ha mostrado que es posible obtener una buena relación entre la velocidad del pulso y la resistencia a la compresión

de un concreto, siempre y cuando se conserve constante el tipo de agregado, las proporciones de dosificación y además, que el compactado sea en la misma forma.

Solamente se pueden presentar 2 casos diferentes al tratar de determinar la resistencia de una estructura de concreto. El primero será cuando la estructura ya existe y el segundo cuando apenas se va a realizar dicha construcción. A continuación trataremos cada uno de ellos.

- 10:6.4.1 Se quiere determinar la resistencia que posee el concreto de una estructura en la cual se desconoce qué tipo de agregado se empleó, si se uso o no aditivo, como fue el colado y compactado del concreto etc.

Para poder calcular su resistencia mediante la velocidad del pulso es necesario hacer las siguientes suposiciones:

- 1). Que se haya empleado el mismo agregado para toda la estructura o gran parte de ella (lo cual es muy probable).
- 2). Que se haya usado también el mismo tipo de cemento en toda la estructura.
- 3). Que el concreto tiene la superficie edad como para evitar que la diferencia de edades entre un punto y otro de la estructura sean importantes.

Una vez hechas estas suposiciones el procedimiento es el siguiente:

- a). Se determina el valor de la velocidad de pulso en varios puntos de la estructura.
- b). Se escogen los valores más pequeños y más grandes que se hayan encontrado y se determina, mediante la extracción de razones, la resistencia que tienen dichos puntos.
- c). Los valores obtenidos anteriormente se relacionan con la expresión proporcionada por Chefdeville.

$$f'c = K(V + K_1)^6$$

donde:

K y K_1 son constantes que dependen del concreto en particular y " V " es la velocidad del pulso en m/seg.

Por ejemplo:

Si las velocidades menor y mayor del pulso, en dos puntos de una estructura de concreto, son 3300 y 3750 m/seg y su resistencia obtenida mediante la extracción de corazones, es 190 y 380 Kg/cm² respectivamente, entonces la ecuación que relaciona la resistencia con la velocidad del pulso para este concreto en particular es:

$$190 = K (3300 + K_1)^6 \quad - (A)$$

$$380 = K (3750 + K_1)^6 \quad - (B)$$

Multiplicando por 2 la ecuación (A) e igualandola con la ecuación (B) tenemos:

$$2 K (3300 + K_1)^6 = K (3750 + K_1)^6$$

$$K_1 = 374.6$$

$$K = 7.718 \times 10^{-20}$$

$$f'c = 7.718 \times 10^{-20} (V + 374.6)^6 \quad - (I)$$

Esta última ecuación permite conocer la resistencia aproximada en cualquier punto de la estructura a partir de su velocidad de pulso. Es decir, si tenemos un punto con una velocidad de 3465 m/seg y la sustituimos en la fórmula (I) tenemos lo siguiente:

$$f'c = 7.718 \times 10^{-20} (3465 + 374.6)^6 = 247 \text{ Kg/cm}^2$$

La resistencia es igual a 247 Kg/cm².

e) 10.6.4.2 CUANDO LA ESTRUCTURA APENAS SE VA A CONSTRUIR.

El procedimiento para poder determinar, por medio de la velocidad de pulso, la resistencia de una obra de grandes dimensiones que apenas se va a construir es el siguiente:

1.- De antemano se fabrican especímenes con los mismos agregados y el mismo tipo de cemento que se usará en la obra.

2.- La resistencia de los especímenes será tal que cubra el rango de las resistencias esperadas en la obra.

3.- A una edad determinada se medirá la velocidad de pulso de los especímenes y se probarán a compresión.

4.- Con los datos obtenidos en el paso 3, se dibujará una gráfica de resistencia a la compresión contra velocidad de pulso.

5.- Con la gráfica obtenida anteriormente y conociendo las velocidades de pulso en la estructura, se puede determinar la resistencia a la compresión para cualquier punto de la misma.

f) 10.6.5 MEDIDA Y DETECCIÓN DE GRIETAS.

El pulso ultrasónico se ha estado usando con buenos resultados para determinar la presencia de fisuras, grietas, burbujas y huecos en el concreto. La detección de estos defectos es posible debido a que la presencia de una fisura no es más que un caso particular de la transmisión a través de tres medios, en los cuales los materiales 1 y 3 son los mismos.

El uso de las técnicas de la velocidad del pulso para la detección de grietas, han sido descritas por Leslie y Cheesman.

El principio básico es el siguiente: Si una grieta tiene un ancho apreciable y una considerable profundidad (perpendicular a la trayectoria de la prueba) la onda del pulso será bloqueada y no se recibirá ninguna señal en el transductor receptor. Si por el contrario, la profundidad de la grieta es pequeña comparada con la distancia entre los transductores (longitud recorrida), el pulso pasará alrededor de la grieta y se recibirá una señal en el transductor receptor. De cualquier modo, en hacer esto, el pulso tendrá que viajar una distancia más larga que si lo hiciera en línea recta, esto incrementará

al tiempo y consecuentemente la velocidad del pulso se verá reducida en comparación con la obtenida de un concreto de la misma velocidad pero sin grietas. Esta diferencia de velocidades se usa para estimar la trayectoria recorrida y consecuentemente la profundidad de la grieta.

El procedimiento para determinar la profundidad de una grieta, considerando que no está llena de agua es el siguiente:

1.- Los transductores se colocan equidistantes a cada borde de la grieta (ver figura 10.6).

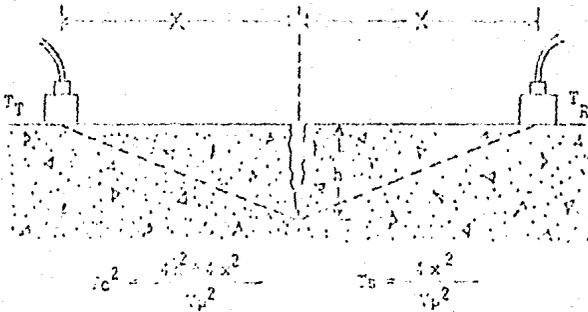


FIG. 10.6 -

2.- Se determinan los siguientes valores:

- Velocidad longitudinal del pulso = v_p
- Distancia recorrida sin grietas = $2x$
- Distancia recorrida con grieta = $2\sqrt{x^2 + h^2}$
- Tiempo de viaje en el concreto sin grietas.
- Tiempo de viaje en concreto con grietas.

3.- Con los valores obtenidos y aplicando la siguiente fórmula, obtenemos el valor de la profundidad de la grieta.

donde:

T_c^2 = Tiempo de viaje alrededor de la grieta.

T_s^2 = Tiempo de viaje a lo largo de la superficie del mismo tipo de concreto pero sin grietas.

$$h = x \sqrt{\frac{T_c^2}{T_s^2} - 1}$$

Este principio ha sido usado por la comisión Hidro-eléctrica de Ontario y han llegado a la conclusión de que el método de la velocidad de pulso diferencia entre grietas profundas y poco profundas. Además detecta grietas internas que sean lo suficientemente grandes como para causar un incremento en el tiempo de transmisión.

10.7 CALIBRACION Y MANTENIMIENTO.

Es de suma importancia que el pulso ultrasónico esté debidamente calibrado, ya que pueden tomarse lecturas que afecten en gran medida los resultados.

La calibración se hará de la siguiente manera: el equipo, cuenta con una barra de calibración, la cual tiene gravado en su costado el tiempo de tránsito del pulso por dicha barra; para calibrarse se colocarán los transductores debidamente engrasados en los extremos de la barra calibradora y por medio del botón de ajuste, que se encuentra al frente del aparato, se iguala la lectura de la barra calibradora. Esta operación se efectuará al iniciar las mediciones y estando en operación durante periodos de una hora.

El mantenimiento del aparato se debe hacer en forma regular; en general deben mantenerse limpios el aparato, los cables y

los transductores, ya que estos últimos al estar en contacto con grasa, acumulan polvo y tierra.

La batería siempre deberá estar cargada, de lo contrario podrían dañarse los circuitos internos del aparato. Se debe cuidar de no golpear el aparato ni los transductores, tanto al estar en uso como al transportarlo, ya que podría dañarse interiormente.

El cable de pelace entre el aparato y los transductores deberá doblarse, lo menos posible, sobre todo en las partes cercanas al aparato y a los transductores, ya que con el tiempo se producen falsos contactos y, por lo tanto, las lecturas resultarían erróneas.

10.8 10.7 LIMITACIONES Y UTILIDADES.

Desafortunadamente la posibilidad de aplicar este método para predecir la resistencia real a la compresión o flexión de un concreto no es muy recomendable, debido a que un gran número de variables afectan la relación entre los parámetros de la resistencia del concreto y de la velocidad de pulso. Por otro lado se acepta a la velocidad de pulso como una prueba de control, ya que puede ser usada, por sí misma, como un criterio para evaluar la calidad de una estructura de concreto.

Entre las principales ventajas de este método tenemos las siguientes:

- 1.- Se dispone de equipos de prueba que son pequeños, portátiles, relativamente baratos y fáciles de operar.
- 2.- Estas pruebas vienen a formar una nueva dimensión para el control de calidad del concreto en el campo, ya que pueden llevarse a cabo en especímenes de cualquier tamaño.
- 3.- Permiten detectar grietas tanto superficiales como internas.
- 4.- Como consecuencia de lo anterior tenemos que el pulso ul-

trasónico proporciona un exelente medio para establecer la uniformidad del concreto.

R - METER O LOCALIZADOR.

11165
La posición de una barra, un error en el diámetro de una varilla o simplemente el desplazamiento de una armadura en el interior del concreto, pueden cambiar por completo la forma de trabajo de una pieza respecto a la ideada por el proyectista. Por tanto, es necesario comprobar si el armado está en su posición correcta o no, después de construída la estructura.

Los aparatos destinados a este fin, son los detectores de armaduras los cuales funcionan mediante el principio de un campo magnético. Y a pesar de que existen otros métodos para la localización de armaduras, puede hacerse por gammagrafía; el uso de detectores se va extendiendo más y más cada día. Esto se debe a que son aparatos pequeños, de poco peso, fáciles de manejar y baratos.

11.7. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.

El R-Meter es un detector de armado por el que circula una corriente eléctrica, que por medio de un electroimán se transforma dicha corriente en un campo magnético.

El aparato registra en una escala los disturbios ocasionados por cualquier material magnético externo que se interne en el campo magnético.

Como se mencionó, la magnitud del disturbio se indica en la escala del instrumento, el cual ha sido calibrado para leer directamente el diámetro de la varilla o la distancia entre ésta y el detector (recubrimiento de concreto).

El aparato está formado básicamente por un cuerpo y un localizador. El cuerpo o detector tiene forma de prisma rectangular y consta de una escala para determinar diámetros de varillas o espesor de recubrimientos, una batería recargable y entradas -

para conectar el localizador y el cable toma corriente, así como los botones de encendido, calibración y revisión de batería. El localizador cuyos extremos están provistos de electroimanes, se conecta al receptor.

11.3 ^{OPERACION DEL RECEPTOR} OPERACION DEL RECEPTOR.

- a) Primero se conecta el cable del localizador en el enchufe - del lado superior izquierdo.
- b) En seguida se conecta el cable de suministro de corriente en el enchufe del lado superior derecho, y se gira la perilla del lado derecho a la posición de funcionamiento (RUN).
- c) Verificar la carga de la batería por medio del botón BTY -- CHECK. El medidor deberá tener una lectura por encima del índice BTY OK en el medidor; de no ser así se debe recargar la batería durante 16 horas aproximadamente; de esta manera el aparato tendrá carga suficiente para operar aproximadamente 18 horas.
- d) El localizador debe mantenerse alejado de cualquier material diamagnético (60 cm mínimo), y ajustar a cero la lectura en la carátula.

11.3 LOCALIZACION DE VARILLAS.

Cuando se necesita localizar la posición de las varillas de refuerzo o estribos, se debe mover el localizador en dirección perpendicular a la que supuestamente tienen las varillas, manteniendo el eje del localizador en dirección paralela a ellas. (Figura 11.1).

La aguja del cuadrante se moverá hacia la derecha conforme el eje del localizador se acerque al de la varilla, y se tendrá una lectura máxima cuando la distancia entre la varilla y el localizador sea mínima. Utilizando un marcador, se puede dibujar una línea sobre el concreto, que coincida con el eje del -

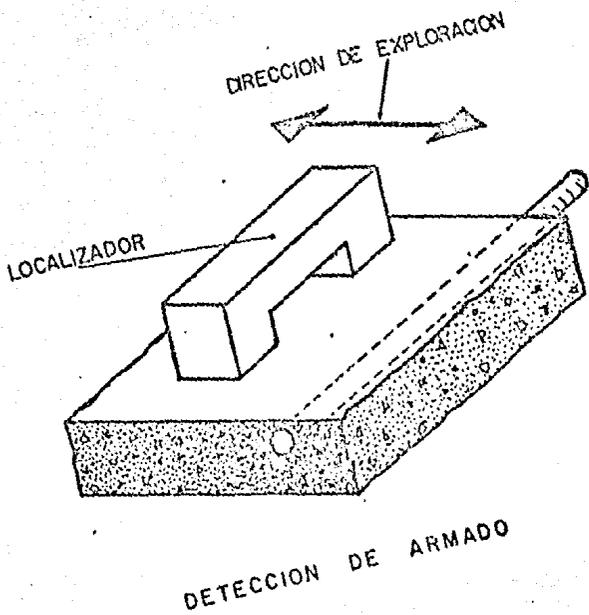


FIGURA 11.1 -

1. Localizador
2. Detector
3. Carátula con aguja indicadora
4. Enchufe del detector
5. Botón de encendido
6. Checador de batería
7. Botón de ajuste a cero (zero adj.)

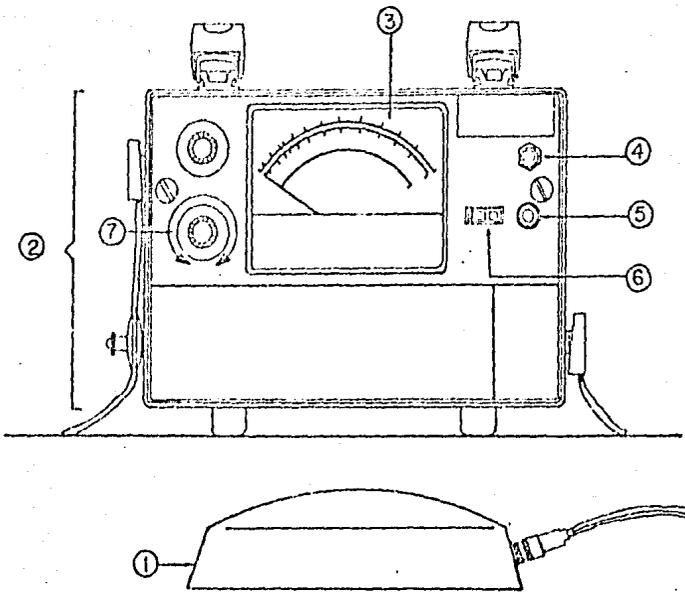


FIGURA 11.2 - Partes que integran el equipo.

localizador cuando haya una lectura máxima. Esta línea define la localización de la varilla.

11.4 11-3 DETERMINACION DEL RECUBRIMIENTO O DIÁMETRO DE LA VARILLA.

El detector debe estar ajustado a cero antes de hacer cualquier medición. Una vez ajustado se permite que se estabilice la corriente en la batería de modo que no haya movimientos en la aguja indicadora; cuando está se ha estabilizado, se coloca el estabilizador exactamente colineal con la línea de localización de la varilla previamente marcada. La posición del localizador se debe afinar para obtener una lectura máxima; la forma en que se hacen las lecturas es la siguiente:

Si se conoce el diámetro de la varilla, se entra con este diámetro en la escala de la derecha de 10 a 40 mm recorriendo las líneas circunferenciales hacia la izquierda hasta llegar a la aguja. En este punto se sigue por la línea quebrada hasta llegar a la escala de recubrimiento que es de 2 a 12 mm x 10; la lectura de esta escala es la distancia entre la cara inferior de los electroimanes de la superficie de la varilla. Si se conoce el recubrimiento y se desea conocer el diámetro de la varilla, entonces se entra en la escala de recubrimiento que va de 2 a 12 mm x 10, siguiendo luego la línea quebrada hasta cortar a la aguja.

En este punto se sigue por las líneas circunferenciales hacia la derecha hasta la escala de diámetros de varillas (10 a 40 mm o 3/8" a 16/8").

Si al tomar la lectura, la aguja indica 10 en la escala superior, quiere decir que el recubrimiento es despreciable o el localizador se está apoyando sobre un material diamagnético. Si la lectura es menor que 5 entonces el recubrimiento es muy grande (mayor que 120 mm) o el localizador no está colineal --

con un material diamagnético.

11.5.14.4. DETERMINACION DEL DIAMETRO Y RECUBRIMIENTO DE UNA VARILLA CUANDO AMBOS SON INCONOCIDOS.

Cuando no se conocen ni el diámetro ni el recubrimiento de una varilla en una estructura, éstos se pueden estimar utilizando un método de mediciones sucesivas como se muestra a continuación. Primero se localiza la varilla y se marca su posición en la superficie del concreto; posteriormente se toman lecturas del recubrimiento correspondiente a cada diámetro de varilla a apoyando el localizador a diferentes distancias de la superficie del concreto.

Para colocar el localizador a diferentes distancias, se deben utilizar láminas de material paramagnético (por ejemplo, aluminio o plástico) de diferentes espesores: 5, 10, 15 o 20 mm de la superficie del concreto. Con las lecturas obtenidas se forma una tabla en la que aparece el recubrimiento para cada diámetro y para cada espesor de lámina.

El diámetro con el que cambio de recubrimiento sea igual al es pesor de lámina usada, será el diámetro de la varilla, y ya co nocido éste, se puede determinar su recubrimiento.

Para ilustrar lo anterior se desarrolla el ejemplo siguiente: se desea determinar el diámetro y recubrimiento de una varilla ya localizada. Si se utiliza una lámina de 10 mm de espesor y se toman lecturas primero sin la lámina y después con ella, - los resultados son los siguientes:

Diámetro de la varilla	# 3	# 5	# 7	# 16	# 19
Lecturas de recubrimiento sin lámina (mm)	30	35	37	38	40
Lecturas de recubrimiento con lámina (mm)	36	43	47	49	53
Cambio de recubrimiento (mm)	6	8	10	11	13

Cuando se coloca la lámina, como ésta es de 10 mm de espesor, el cambio en el recubrimiento debe ser de 10 mm. El cambio en las lecturas de recubrimiento es de 10 mm para un diámetro del # 7, entonces el diámetro buscado es de $7/8"$ y el recubrimiento de 37 mm. Para obtener un resultado exacto deberán utilizarse varios espesores de lámina y hacer lecturas para cada uno de ellos.

FACTORES QUE AFECTAN LA MEDICIÓN
 11-5 EL EFECTO DE LAS BARRAS PARALELAS.

Si el operador tiene el localizador cerca de una sola varilla, se puede obtener directamente el espesor del concreto que la cubre, el cual se registra en la escala del marcador que corresponde al diámetro de la barra. Si otras varillas u otros objetos magnéticos se encuentran cerca, se obtendrá una medición imprecisa del instrumento.

Las curvas I, II y III de la figura 11.3 ilustran los efectos de las barras paralelas.

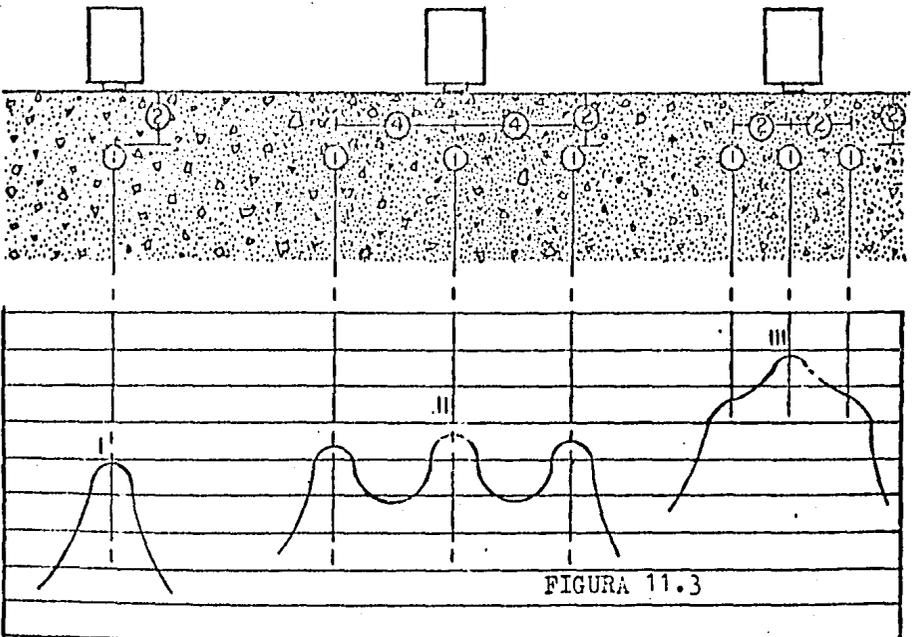


FIGURA 11.3

En teoría, la influencia combinada de las dos varillas puede omitirse únicamente en el caso de que sus ejes estén separados por lo menos tres veces el espesor del recubrimiento de concreto. En mediciones de rutina no es importante esta distancia. Si la aguja del medidor desciende a uno o menos sobre la escala del detector, cuando el localizador se encuentre entre dos varillas, puede omitirse su efecto.

Siempre que las varillas están en paquetes, el recubrimiento señalado en la escala es ligeramente menor que el indicado para una sola varilla. Puede aplicarse un factor de corrección para leer el recubrimiento desde una escala de una varilla de diámetro mayor.

Antes de realizar cualquier medición del recubrimiento de concreto, es necesario localizar cuidadosamente cada barra en el área sometida a prueba.

Para determinar los efectos o factores de corrección, hay que tomar en cuenta las siguientes reglas:

a) Aislar cada barra paralela a la superficie de concreto que este alejada más de 4" de la barra adyacente más cercana. (ver figura 11.4).

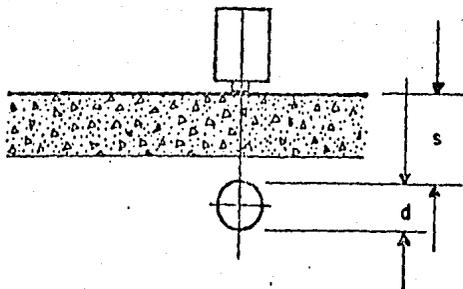


FIGURA 11.4

Interpretar la profundidad del recubrimiento a partir de la escala que corresponde al tamaño de la barra.

b) Cuando dos barras están estrechamente cercanas entre sí en un plano paralelo a la superficie del concreto, la lectura de la profundidad del recubrimiento de la escala corresponde a - la suma de los diámetros de las dos barras. (ver figura 11.5).

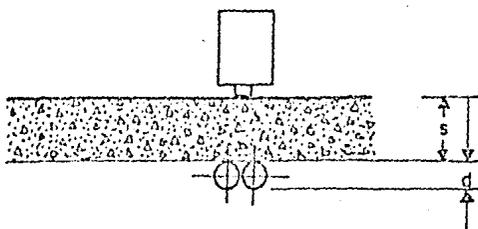


FIGURA 11.5

c) Cuando dos barras están estrechamente cercanas una de la otra en un plano perpendicular a la superficie del concreto, la lectura de la profundidad del recubrimiento de la escala corresponde a tres cuartas partes de la suma de sus diámetros. (ver figura 11.6).

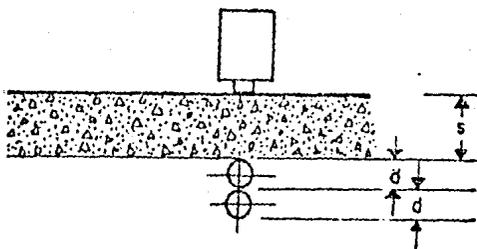


FIGURA 11.6

Estas reglas permiten obtener buenas estimaciones. Si se requieren mediciones más precisas, puede usarse el método comparativ

vo.

117) 11.6 EFECTO DE LAS VARILLAS PERPENDICULARES.

El efecto de las varillas perpendiculares, de las cuales se trata de obtener el diámetro o el recubrimiento, es menor que el de las paralelas, y si se toman las debidas precauciones -- puede despreciarse.

Para tener éxito en la medición sobre varillas perpendiculares, lo primero que se debe hacer es localizar cada una de ellas en ambas direcciones, siguiendo el procedimiento descrito anteriormente. Una vez dibujada la cuadrícula de refuerzo, encontramos tres casos:

- 1) a) Si la separación entre varillas perpendiculares en estudio es entre 15 y 35 cm, no se corregirán las lecturas si se hace coincidir el centro del localizador al centro de dichas varillas, como se muestra en la figura 11.7.
- 2) b) Si la separación entre las varillas perpendiculares en cuestión es mayor de 35 cm, las lecturas no se corregirán si se coloca el localizador al centro y entre dichas varillas, como se muestra en la figura 11.7.
- 3) c) Cuando el espacio entre las varillas es menor de 15 cm, entonces las lecturas del diámetro o del recubrimiento se ven afectadas por la presencia de las varillas perpendiculares con menor recubrimiento que las de interés; es preferible determinar el recubrimiento de las primeras.

Si el espacio es menor que 15 cm, las lecturas del diámetro y el recubrimiento no son correctas, por lo que se deberá seguir un método comparativo.

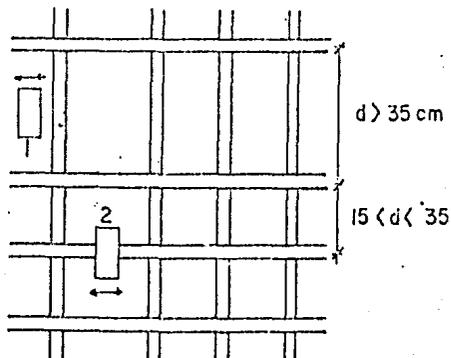


FIGURA 11.7

11.7 CORRECCIONES.

11.7.1 CORRECCION POR ESPACIAMIENTO REDUCIDO. METODO COMPARATIVO.

Primero se localizan las varillas en ambas direcciones marcando su posición, enseguida se miden las separaciones entre las varillas y se construye un modelo a escala 1:1 del refuerzo.

El localizador se coloca sobre la varilla de interes en la estructura, y se anota la lectura máxima. Se hace una segunda lectura, pero ahora sobre la varilla equivalente en el modelo. Utilizando láminas de diferentes espesores, se aumentará gradualmente la distancia entre la varilla y el localizador hasta que la lectura sea igual a la lectura máxima anotada. La suma de los espesores de las láminas será igual al recubrimiento de la varilla en la estructura (las láminas deben ser de un material no magnético).

b) 11.7.2 CORRECCION POR VARILLAS ADYACENTES.

Si hay dos o más varillas juntas, los recubrimientos leídos en la carátula deberán corregirse. La corrección se deberá hacer de la manera siguiente:

Si hay dos varillas colocadas una junto a la otra en un mismo plano paralelo a la superficie del concreto, entonces debe leerse el recubrimiento correspondiente a un diámetro igual a la suma de los diámetros de las varillas.

Si las varillas adyacentes están en un plano perpendicular a la superficie del concreto, entonces el recubrimiento debe leerse para un diámetro igual a $3/4$ de la suma de los diámetros de las varillas.

c) 11.7.3 CORRECCION POR CONCRETO MAGNETICO.

Si el concreto está mezclado con materiales diamagnéticos como puzolana, cenizas volantes etc., el detector indicará una lectura determinada aun cuando el localizador se coloque sobre el concreto simple, cuando no existe acero de refuerzo cercano. Esto no afecta en ninguna forma cuando se localiza el acero de refuerzo, pero cuando se desea conocer el recubrimiento es necesario hacer una corrección como se describe a continuación:

- 1 a) Se ajusta a cero la lectura del cuadrante, manteniendo el localizador alejado de cualquier material diamagnético.
- 2 b) Se coloca el localizador sobre el concreto, cuidando que esté lejos del acero de refuerzo. En esta posición se toma la lectura sobre la escala, anotándola como L_1 .
- 3 c) Se toman las lecturas de recubrimientos como si el concreto no fuera magnético. (Las lecturas se deben hacer sobre la escala, anotándolas como L_i .)
- 4 d) Por consiguiente, la lectura correcta será:

$$L = L_i - L_1$$

11.7 CALIBRACION Y MANTENIMIENTO.

a) ~~11.7.1~~ CALIBRACION DEL EQUIPO.

El R-Meter es un aparato de gran precisión que excepcionalmente necesitará de un ajuste mayor de calibración.

Para verificar que el aparato se encuentre calibrando correctamente se recomienda probarlo en alguna estructura, ya sea real o construida específicamente para ello, en la que se conozca con exactitud la localización tanto del acero longitudinal como transversal, el diámetro de las varillas y el espesor de los recubrimientos.

Si el aparato se encuentra correctamente calibrado, al colocar el localizador donde se haya una varilla, se deberá obtener de la lectura de la carátula, con el diámetro conocido de la varilla, el recubrimiento y viceversa. En caso contrario deberá solicitarse la ayuda de un técnico calificado para llevar a cabo la revisión y la separación del aparato.

b) 11.8.2 MANTENIMIENTO.

El detector de armado no requiere de mucho mantenimiento, sólo se necesita limpiar periódicamente y ajustar a cero la aguja de la carátula, como se explica a continuación:

- 1 a) Encender el aparato y verificar el nivel de carga de la batería.
- 2 b) Dejar funcionar el aparato unos segundos hasta que se estabilice la aguja, manteniendo el localizador alejado de cualquier material magnético.
- 3 c) Girar el botón de ajuste a cero hasta que la aguja marque cero.
- 4 d) Apagar el aparato y verificar que la aguja regresa a una posición ligeramente debajo de cero.

11.8 CONCLUSIONES

~~11.8~~ ~~CONCLUSIONES~~

El detector de armado proporciona resultados satisfactorios si los elementos estructurales están ligerusamente reforzados y si las varillas no se encuentran a más de 20 cm de profundidad.

En secciones con altas concentraciones de refuerzo es prácticamente imposible determinar el recubrimiento de concreto del acero y la cantidad y diámetros de éste, debido a que el efecto del refuerzo secundario no puede ser eliminado.

Además si la distancia entre varillas es menor que 2 o 3 veces la magnitud del recubrimiento, el efecto de las varillas paralelas a la varilla en cuestión influye de tal manera que las lecturas no pueden ser confiables.

~~11.10~~ UTILIDAD.

Con algo de práctica, el detector de armado se puede usar para determinar el recubrimiento y el diámetro de las varillas que no estén más allá de 20 cm de profundidad o que estén demasiado cerca una de la otra.

También se puede usar para encontrar las características del armado de losas, columnas y vigas, cuando este es totalmente desconocido.

La importancia que posee la localización del armado, en una estructura terminada, se comprende cuando es necesario hacer sondeos, como sacar corazones, en algunos puntos de la estructura pero sin tener que perjudicar su armado. Por lo tanto la principal utilidad del detector radica, en ser un valioso auxiliar tanto para llevar a cabo la extracción de corazones como para una mejor aplicación de otro tipo de pruebas no destructivas.

CAPITULO XII.

ESCLEROMETRO O MARTILLO DE SCHMIDT.

GENERAL 12.1 CARACTERISTICAS DEL APARATO. GENERALIDADES.

La laboriosidad de los procedimientos para obtener la resistencia del concreto ha llevado a desarrollar distintos métodos para probar el concreto en la obra, de tal suerte que la parte probada no reciba ningún daño.

El martillo de Schmidt es un método de dureza superficial, que consiste en golpear, mediante una masa constante, la superficie de concreto que se está probando, y medir, posteriormente, la magnitud del rebote de dicha masa.

El martillo fue desarrollado en 1948 por el ingeniero suizo - Ernest Schmidt, y desde entonces, ha ido ganando día con día, mayor reconocimiento tanto en laboratorios como en sitios de construcción e industrias de concreto precolado.

Los martillos de rebote se clasifican en varios tipos, de acuerdo a su uso, y entre ellos tenemos el tipo "M" usado para concreto masivo; el tipo "L" usado en concretos sensibles al impacto; el tipo "P" para concreto de peso ligero y el mostrado en la figura 12.1 que corresponde al tipo N-2 y es el que se usa para cualquier tipo de concreto.

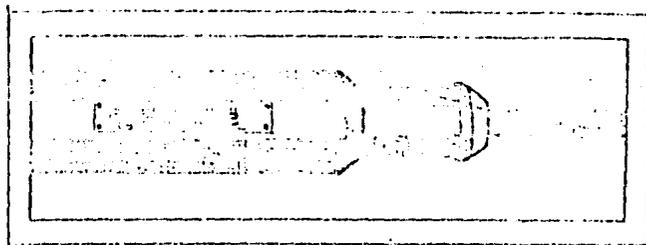


FIG. 12.1

12.2 DESCRIPCION DEL EQUIPO

El esclerómetro es un instrumento cilíndrico de 30 cm de longitud y 1.8 Kg de peso aproximado. A continuación se enumeran las partes que componen el aparato.

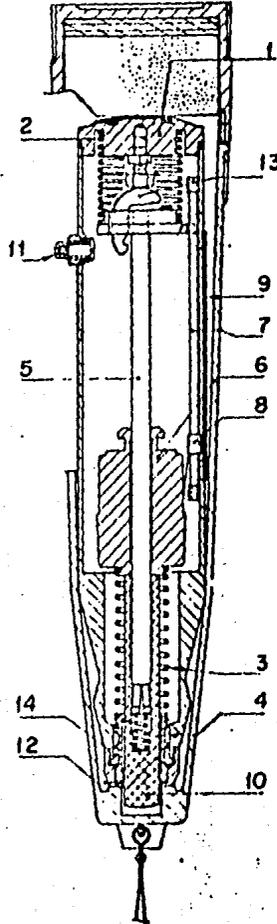


FIG. 12.2

1. Tapa posterior
2. Resorte
3. Resorte percusión
4. Resorte de absorción del impacto
5. Barra guía
6. Martillo
7. Guía del indicador
8. Indicador
9. Escala
10. Embolo
11. Botón disparador
12. Tapa del émbolo
13. Seguro
14. Empaque

Esta prueba determina en forma aproximada la dureza superficial del concreto y; aun cuando no existe una relación simple entre la dureza y la resistencia del concreto, se pueden determinar relaciones empíricas para concretos similares, curados de manera tal que tanto las superficies probadas con el martillo, como las regiones centrales, cuya resistencia nos interesa, tengan la misma resistencia.

Es posible equalizar las pruebas en superficies con cualquier ángulo de inclinación, sin embargo, se recomienda utilizar el esclerómetro en posición horizontal o vertical, ya que el número de rebote cambia con la inclinación del martillo, como se verá posteriormente.

12.23 METODO DE PRUEBA.

El procedimiento consiste en apoyar el pivote del martillo contra la superficie del concreto que se va a ensayar y haciendo una ligera presión sobre el cuerpo del aparato se lo--

gra, al mismo tiempo, que el pivote se vaya introduciendo y - que el resorte, dentro del martillo, empiece a comprimirse, - cuando en su introducción progresiva, el pivote llega al final de su recorrido, el pivote se libera y la masa resulta -- proyectada con una fuerza constante sobre un resalte del pivote apretando a éste contra el concreto. A consecuencia del impacto, la masa rebota hacia la parte final del aparato, arrastrando en su ascenso un índice que se desplaza a lo largo de una escala graduada. A este índice que va de 20 a 50 se le denomina " índice esclerométrico " o " número de rebote " (NR), y el cual queda registrado sobre la escala del aparato, cuando apretamos el botón fijador que éste posee.

El número de rebote será mayor o menor dependiendo de la dureza del concreto.

12.4 NORMAS PARA EL USO DEL APARATO.

El uso del esclerómetro se encuentra reglamentado en la norma NOM-C-192-1979 disponible en la Dirección General de Normas - (Concreto endurecido: Determinación del índice de rebote), en donde los puntos más importantes son:

7 Este método no se debe emplear como alternativa para la determinación de la resistencia del concreto. Dentro de sus limitaciones es confiable para la evaluación comparativa de resistencias.

- Se deben tomar 16 lecturas por cada superficie de prueba.
- La separación mínima entre dos impactos debe ser de 25 mm.
- Se deben eliminar las lecturas que difieren del promedio de 16 lecturas en más de 5 unidades, y se determina el promedio final de las lecturas restantes. Si más de cuatro lecturas difieren de 6 unidades de promedio, se deben descartar todas -- las lecturas y habrá que repetir el ensaye.

- Las lecturas que van a ser comparadas deben corresponder a pruebas efectuadas en la misma dirección de impacto: Horizontal, vertical o inclinadas con el mismo ángulo.

12.4 UTILIZACION DEL EQUIPO.

Se recomienda seguir los siguientes pasos para realizar las - pruebas con el esclerómetro:

- Hay que cerciorarse de que la superficie que se va a probar esté limpia y sea uniforme. Superficies rugosas dan resultados más altos en el número de rebote que superficies uniformes del mismo espécimen. Además, las propiedades del material de recubrimiento influyen en el rebote en el concreto cubierto.

- Si el concreto que se va a probar no forma parte de una masa firme, tiene que sostenerse de modo que no ceda al impacto, pues si se mueve durante la prueba el número de rebote será menor de lo debido.

Los especímenes delgados menores de 10 cm de espesor, que se deforman elásticamente bajo el impacto del martillo, darán un número de rebote que no es comparativo con el que se obtendría de un espécimen de mayor masa y del mismo concreto.

- Una vez revisados los dos puntos anteriores, se coloca el esclerómetro en forma perpendicular a la superficie que se va a probar y se ejerce una ligera presión sobre éste, quedando libre el émbolo, se deja que éste alcance su máxima extensión eliminando la presión sobre el martillo. Una vez hecho esto, se vuelve a aplicar presión sobre el martillo, cuidando siempre que se conserve la perpendicularidad y que la presión sea uniforme hasta que la masa interna del martillo golpee la superficie del concreto.

El botón disparador no debe ser oprimido en ninguna circunstancia mientras se hace lo anterior, sino hasta que la masa haya

golpeado la superficie. Este boton fija el indicador en la es-
cala integrada al esclerómetro, facilitando así la toma de --
lecturas.

- Una sola prueba de rebote no es suficiente, por lo que de--
ben realizarse cuando menos 16 lecturas para obtener una mues-
tra representativa.

- Se debe evitar muestrear zonas que presenten huecos o áreas
porosas. Hay que tener cuidado con muros menores de 10 cm de
espesor y columnas de menos de 12 cm de espesor, debido a que
pueden presentar problemas de deformación elástica.

- En concretos viejos y consecuentemente afectados por intem-
perismo, la superficie que se va a probar se hallará aproxima-
damente a 10 mm de profundidad.

Lo expuesto con anterioridad es de suma importancia ya que si
no se toma en cuenta, los resultados obtenidos con el escleró-
metro pueden no ser representativos de la resistencia real de
el elemento estudiado.

^{FACTORES QUE AFECTAN LA MEDICION}
12.6 VARIABLES QUE AFECTAN EL NUMERO DE REBOTE.

a) ~~12.5.1~~ TIPO DE CEMENTO.

Conforme a Kolek, el tipo de cemento afecta significativamen-
te las lecturas del número de rebote. Por ejemplo, si tenemos
tablas de calibración de concretos hechos con cemento portland
ordinario y las comparamos con las obtenidas de concretos he-
chos con otros cementos, las variaciones serían las siguien-
tes:

- Las tablas para cementos tipo III muestran números de rebo-
te más altos.

- Las tablas para cemento tipo V muestran números de rebote -
más bajos.

En la figura 12.3 se muestra la variación del número de rebo-

te, y consecuentemente de la resistencia dependiendo del tipo de cemento que se use.

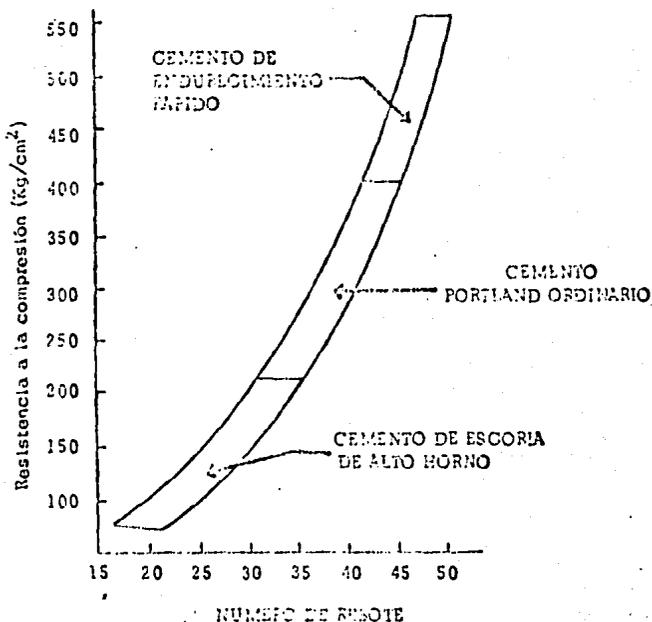


FIGURA 12.3

b) 12.5.2 TIPO DE AGREGADO GRUESO.

De acuerdo a Klieger, para concretos de igual resistencia a la compresión pero unos hechos con piedras calizas y otros con gravas como agregado grueso, se obtuvieron números de rebote diferentes.

El concreto con piedra caliza mostró un número de rebote aproximadamente 7 puntos más bajo que aquel concreto hecho con grava.

Esto representa aproximadamente una diferencia a la resistencia de 70 Kg/cm^2 .

Green, encontró resultados similares a los de Klieger, pero - él utilizó concretos con arcilla esquistosa y piedra pomez como agregado grueso.

Grieb ha mostrado que, aún cuando se use el mismo tipo de agregado, si éste es obtenido de diferentes fuentes, será necesario hacer otras curvas de calibración.

En la figura 12.4 se muestran resultados de una prueba, en la cual, para fabricar los cilindros, se usaron gravas de 4 fuentes diferentes.

Los resultados mostraron que para el mismo número de rebote, correspondían diferencias de resistencias del orden de 18 a 42 Kg/cm^2 .

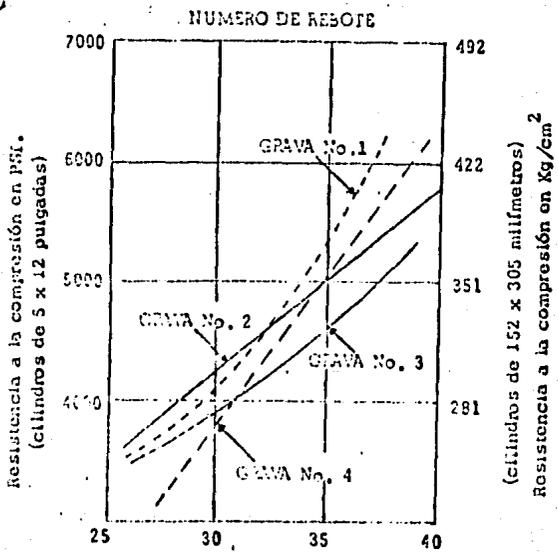


FIGURA 12.4

c) 12.5-3 TIPO DE MOLDE.

El mismo concreto pero colado en diferentes moldes mostró que hubo ciertas diferencias en los números de rebote. Para aquellos cilindros colados en acero y latas de estaño, la variación fue pequeña, en cambio, para los colados en papel cartón los números de rebote fueron más altos. Esto se debe probablemente al hecho de que el molde de papel quita humedad del concreto plástico, por consiguiente baja la relación agua-cemento en la superficie y provoca una alta resistencia en esa área.

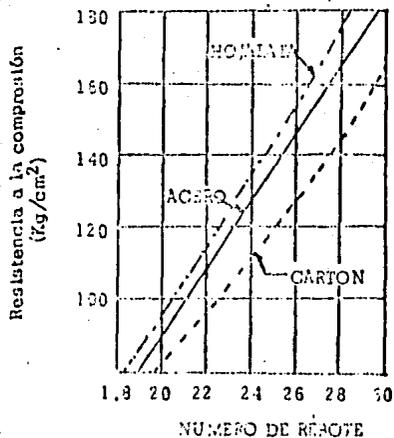


FIGURA 12.5-

d) 12.5-4 RIGIDEZ DE LOS ESPECIMENES.

Esto no tiene importancia cuando se trata de elementos de concreto colados en una estructura. Pero cuando se están probando especímenes de masa relativamente pequeña (vigas delgadas, cubos de 15 cm o cilindros de 15x30 cm), se puede presentar un amortiguamiento al impacto del esclerómetro y en consecuencia un número de rebote menor.

Entonces es necesario que los especímenes sean fijados de al-

guna manera a una masa pesada, se puede utilizar una máquina de pruebas a compresión como se muestra en la figura 12.6, es to eliminará movimientos apreciables e incrementará la masa efectiva del espécimen.

Michell y Hoagand encontraron que la carga efectiva de fijación debe ser de alrededor del 10 ó 15 % de la resistencia última del espécimen.

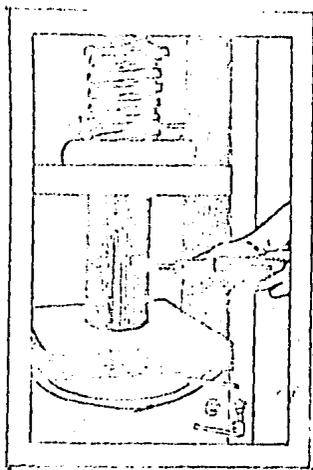


FIGURA 12.6 -

e) 12.5.5 EDAD DEL CONCRETO.

La edad del concreto influye en el grado de hidratación de éste y consecuentemente en su resistencia. Así mismo la dureza de la superficie se incrementa con la edad.

Sin embargo Kolek ha encontrado que este incremento es más rápido durante los primeros 7 días que durante el resto de la vida del concreto, en la cual la dureza superficial se incrementa muy poco o no se incrementa. Esto ha sido comprobado -- por Zoldners y Víctor que muestran en la figura 12.7 como, para concretos de igual resistencia, se obtienen valores de re-

bote más altos a los 7 que a los 28 días. Por consiguiente se recomienda que cuando se vaya a probar concreto viejo, es conveniente hacer una correlación directa entre los números de rebote y los corazones de concreto tomados de la estructura.

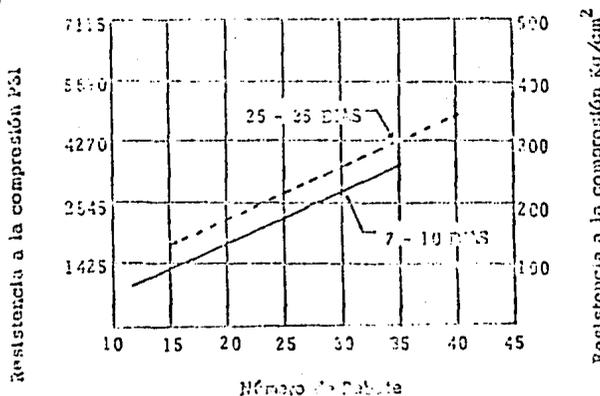


FIGURA 12.7 -

12.5.6 TEXTURA DE LA SUPERFICIE.

Si la superficie es aspera, las lecturas son menores que las reales siendo estas últimas las obtenidas sobre una superficie pulida. Para evitar errores, debido a esto, se debe pulir con una piedra de carborundio el área donde se apoyará el martillo y tratar de dejarla lo mas plana y lisa que sea posible. La extensión del área pulida deberá ser tal que permita hacer 10 lecturas con el martillo de rebote.

12.5.7 FORMA DE LA SUPERFICIE.

Para resistencias iguales, las superficies planas dan índices esclerométricos más altos que las cilíndricas. Esto hace que, si se tiene una curva de correlación, "resistencia-número de rebote", construída a partir de especímenes cilíndricos y se quieren calcular con ella, las resistencias de estructuras -

con superficies planas, éstas serán un poco mayores que las reales.

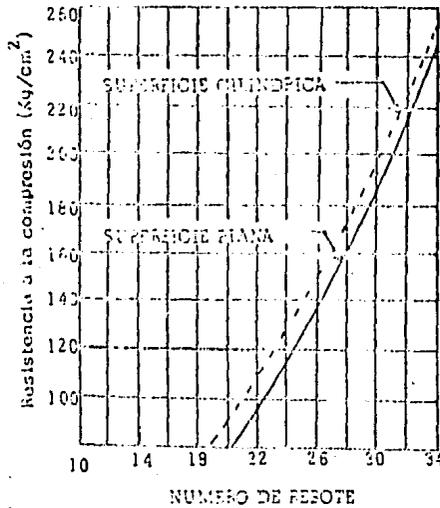


FIGURA 12.8 - Relación entre la resistencia a compresión y el índice esclerométrico.

b) 12.5.8. CARBONATACION DE LA SUPERFICIE.

El efecto de carbonatación crea una costra de gran dureza sobre la superficie del concreto y por tanto las lecturas del esclerómetro no corresponden a las condiciones reales de la masa interna.

Este efecto de carbonatación es mas severo en concretos viejos, donde la capa carbonatada va desde algunos milímetros de espesor hasta casos extremos en donde llega a ser mayor de 2 centímetros. Esto provoca que los números de rebote sean demasiado altos, comparados con los obtenidos sobre superficies de concreto sin carbonatación. Por tanto, se deben establecer adecuados factores de corrección, de lo contrario, resultará

sobre-estimada la resistencia del concreto.

1) ~~12.5.9~~ TIPO DE CIMBRA.

El material usado para la cimbra, también influye en el número de rebote.

Por ejemplo:

- Si se emplea madera no bien tratada y seca, ésta absorbe el agua de la pasta que está junto a ella y hace que la relación agua-cemento disminuya y se incremente al mismo tiempo tanto la resistencia superficial del concreto como su número de rebote.

- Si las juntas entre las piezas de la cimbra no están bien selladas, por ellas se perderá lechada quedando muy pobre la parte expuesta del concreto.

- Si la textura de la cimbra no es buena, esto, producirá una textura similar en el concreto.

2) ~~12.5.10~~ CONDICIONES DE HUMEDAD.

El grado de saturación del concreto y la presencia de humedad superficial tienen un efecto decisivo sobre la evaluación de los resultados del martillo de prueba.

Zoldners ha demostrado que especímenes probados en condiciones de saturado con superficie seca, muestran lecturas de 5 puntos más bajos que cuando se probaron completamente secos. Cuando los mismos especímenes fueron dejados en un cuarto a 21.1° C y secados al aire, ellos recobraron 3 puntos en 3 días y 5 puntos en 7 días.

Se recomienda no aplicar la prueba del martillo en concretos mojados, debido a que se cometen errores apreciables en las lecturas.

3) ~~12.5.11~~ INCLINACION DEL MARTILLO.

La aceleración de la gravedad hace que el número de rebote sea

mayor o menor dependiendo de que dicha lectura se toma en sentido vertical u horizontal. Esto debe tenerse en cuenta cuando se hagan lecturas sobre una estructura (posición vertical) y se intentan relacionar con los datos obtenidos de especímenes probados en dirección horizontal.

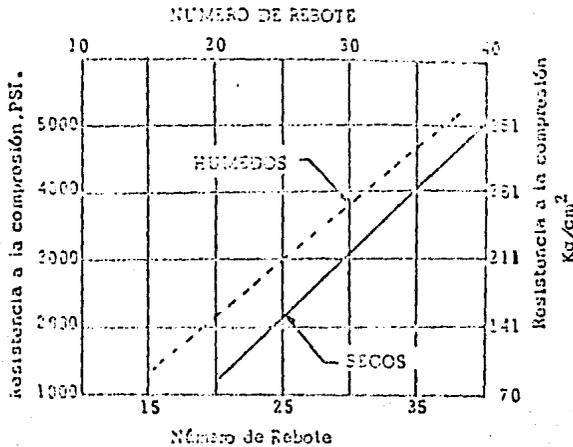


FIGURA 12.9 -

1) ~~12.5.12~~ LA PRESENCIA DE ARMADO.

Cuando el martillo golpea un punto donde existe armado las lecturas son demasiado altas, por tanto, debe evitarse esto.

Para ello podemos auxiliarnos de otra prueba no destructiva - que es el detector de armado y del cual ya hablamos en el capítulo I.

12.7 APLICACIONES DEL MARTILLO DE SCHMIDT.

a) 12.6.1 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO.

El aparato lleva una tabla que permite pasar fácilmente del índice esclerométrico a la resistencia a la compresión (Kg/cm²), hallando al mismo tiempo, en otra parte del nomograma, la dis

persión media.

Debido a que el martillo se ve influenciado por muchas variables, como se indicó anteriormente, ésto hace que la exactitud en la predicción de la resistencia a la compresión no sea muy buena. Pero tal aproximación se puede mejorar si se tiene una calibración adecuada entre el martillo de Schmidt y una serie de especímenes con características iguales al concreto que se está probando. Es decir, obteniendo una gráfica "resistencia a la compresión - número de rebote" para un cierto tipo de agregado, cemento, aditivo, curado y edad bien definidos.

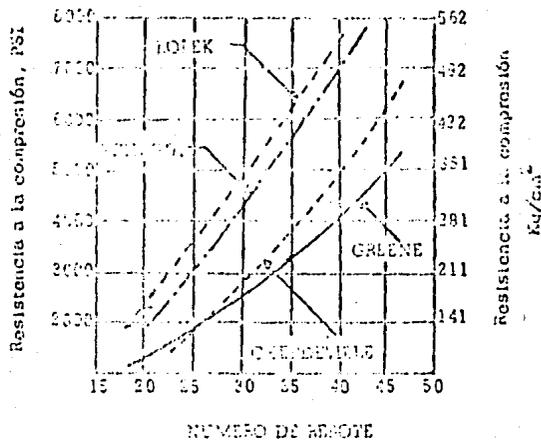


FIGURA 12.10 -

La figura 12.10 muestra varias curvas de calibración obtenidas por diferentes investigadores. Como se observa, hay una gran variación entre ellas y esto se debe a que usaron agregados de diferentes fuentes, diferentes tipos de cementos y en general a que no se tomaron en consideración, todas las varia

bles que afectan el número de rebote.

Por acuerdo general, entre varios investigadores, se ha concluido que la aproximación en el cálculo de la resistencia de especímenes colacos; curados y probados bajo condiciones de laboratorio, está situada entre ± 15 y ± 20 %, en tanto que la probable aproximación en una estructura es de ± 25 %.

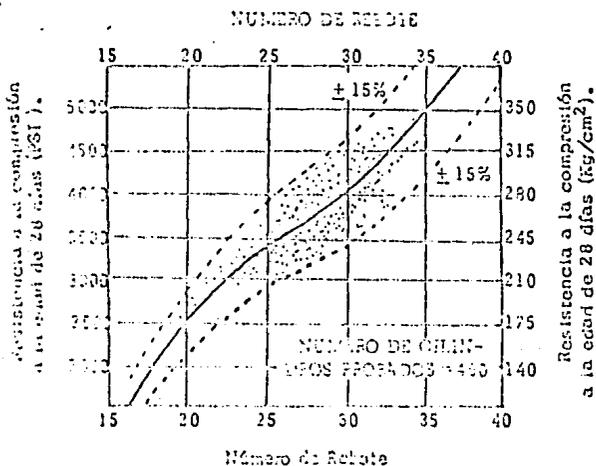
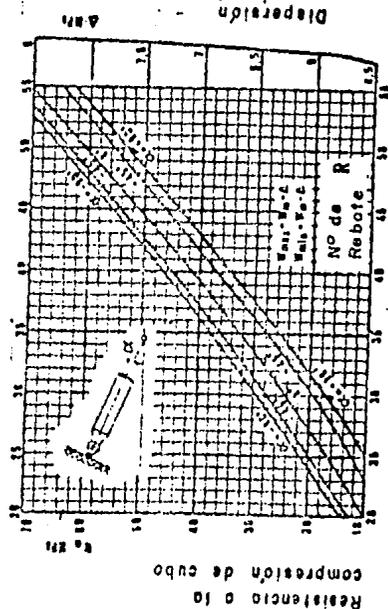
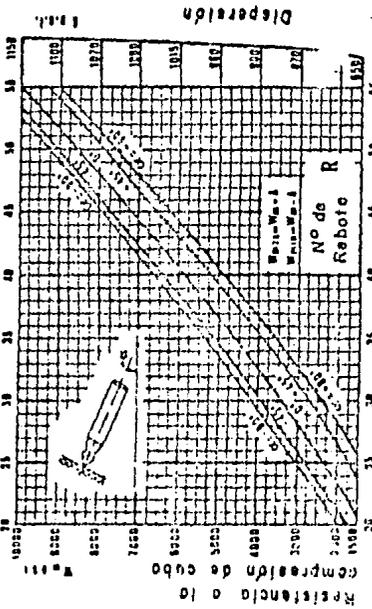
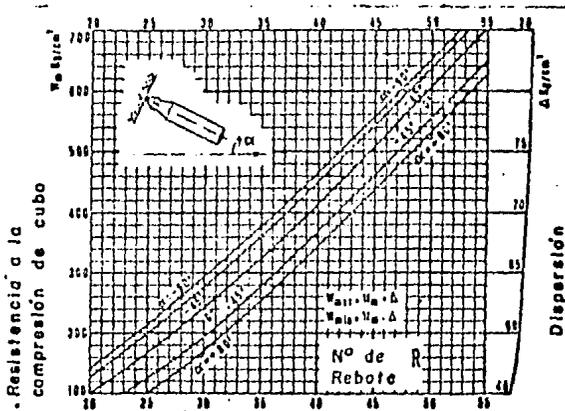


Fig. 12.11 - Gráfica obtenida por medio del martillo de rebote tipo N-2, de la relación existente entre la resistencia a la compresión y su número de rebote.

Recientemente, Bound y Hondros han sugerido un método rápido y convincente para calcular la resistencia y calidad esperadas de los especímenes de concreto y consiste en usar el martillo de rebote en conjunción con algún método de curado acelerado.

Para obtener la resistencia aproximada del concreto en estudio es necesario recurrir a las gráficas f_c en función del nú

mero de rebote, identificando la curva que representa la posición del esclerómetro en la que fué tomada la muestra.



FIGURAS 12.12 - Gráficas para correlacionar los datos obtenidos.

El hecho de que haya distintas curvas, dependiendo de la posición del esclerómetro, se debe a que la fuerza de gravedad afecta al número de rebote; es por esto que un espécimen de concreto probado con $\alpha = 90^\circ$ dará un número de rebote mayor que el mismo espécimen probado con $\alpha = -90^\circ$.

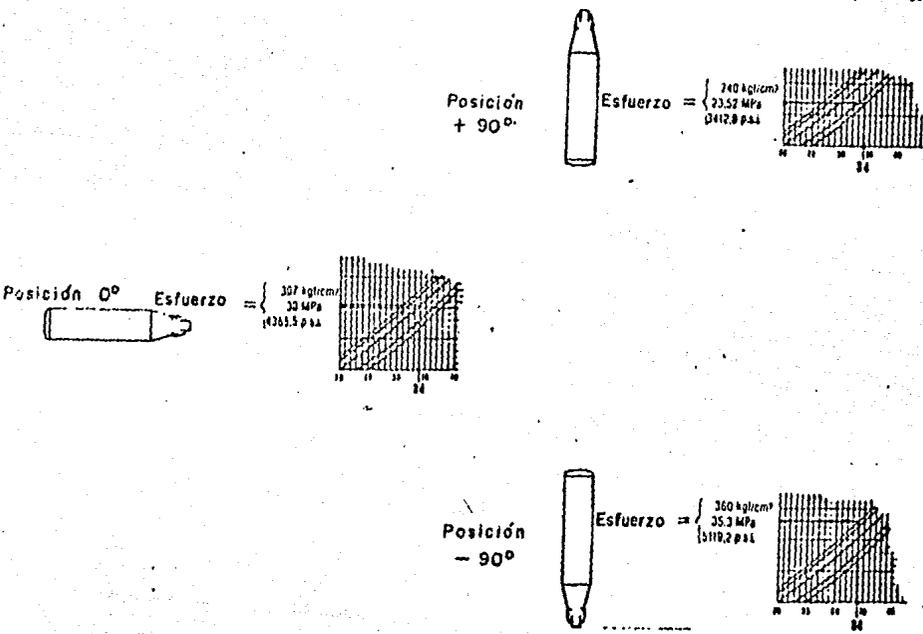


FIGURA 12.13 -

Estas curvas pueden obtenerse de la calibración del equipo o ser proporcionadas por el fabricante y, en este caso, se debe tener especial cuidado en observar si las curvas que se consultan se hicieron con base en resultados obtenidos en pruebas de cubos o cilindros de concreto.

b) 12.6.2 DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A LA FLEXION Y EL MÓDULO DE ELASTICIDAD DINAMICO.

Se han tratado de establecer correlaciones empíricas que permitan calcular la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad dinámico del concreto a partir de su número de rebote. Sin embargo, se ha encontrado que la dispersión de los resultados es mayor a la obtenida en la resistencia a la compresión. Por lo tanto, hasta el momento -dentro de límites razonables- relacionar el índice esclerométrico con la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad dinámico del concreto, no es muy recomendable.

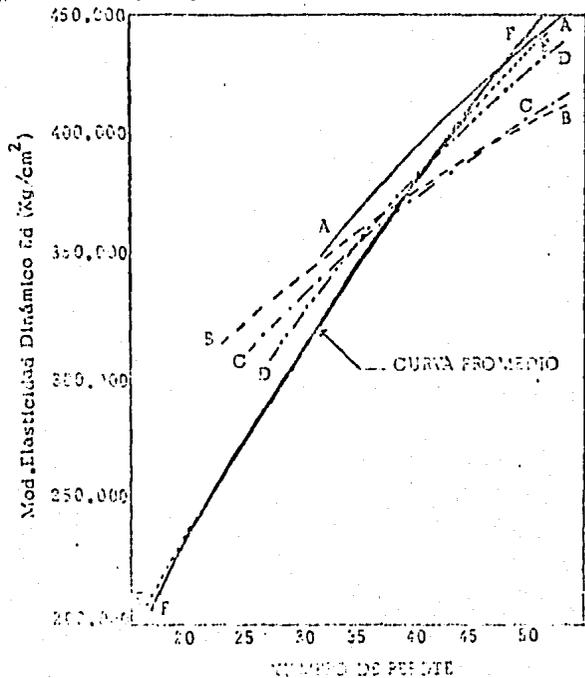


FIG. 12.14

c) 12.6.3 HOMOGENEIDAD DEL CONCRETO.

Si bien, las resistencias absolutas encontradas con el martillo de Schmidt no son muy exactas, las resistencias relativas si se pueden medir con bastante aproximación y servir de base para cuantificar la homogeneidad del concreto. Esto es posible siempre y cuando se tomen las precauciones necesarias, entre ellas las más importantes serán que las zonas muestreadas tengan la misma f_c de proyecto, que estén lisas, que tengan el mismo grado de carbonatación y humedad, que el martillo se apoye con la misma inclinación, que todas las lecturas sean hechas por el mismo operador y además, que el número de rebote, en un punto determinado del concreto, sea el promedio de 10 lecturas.

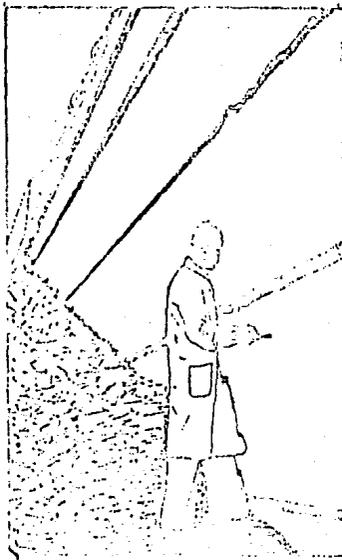


FIGURA 12.15-

d) 12.6.4 CALIDAD DE LAS ZONAS.

El martillo también sirve para delimitar zonas en donde el -- concreto sea de mayor o menor calidad. Si se quiere conocer -- la resistencia a compresión en cada punto muestreado, se de-- ben extraer 2 corazones en el punto donde el rebote fue más ba-- jo y otros 2 para el rebote más alto, después, se prueban a -- compresión y se localizan sobre un plano los puntos (NR_1^1, f_1^1) y (NR_2, f_2^2). Si unimos estos 2 puntos con una recta, obtenemos una gráfica que nos permite calcular las resistencias a -- compresión en todos los puntos de una estructura, a partir, ú nicamente, de su número de rebote.

Aunque la exactitud obtenida con el martillo de Schmidt, no -- es muy buena, si es, un medio rápido, económico y no destruc-- tivo para evaluar la calidad del concreto endurecido.

12.8 CALIBRACION Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.

a) 12.8.1 PROCESO DE CALIBRACION.

Cuando se desea calibrar el martillo que se va a utilizar en una obra específica, es recomendable el siguiente método :

- Preparar varios cilindros de 15 X 30 cm que se encuentren -- dentro del rango de resistencia del proyecto de la obra, uti-- lizando el mismo tipo de cemento, agregados y proceso de cura-- do de la obra.

- Colocar en una máquina de prueba a una compresión correspon-- diente al 15 % de la compresión de ruptura, después de cabe-- cear los especímenes. Se debe asegurar de que los cilindros es-- tén saturados y superficialmente secos.

- Trazar líneas a cada 120° de los cilindros y hacer 15 lectu-- ras con el esclerómetro, 5 en cada una de las líneas. Cuando se trate de cubos, háganse 5 lecturas en cada una de las 4 ca-- ras verticales que estuvieron en contacto con el molde.

- Sumar las lecturas y dividir la suma entre el número de impactos; considerar el promedio como única lectura.

- Repetir el procedimiento anterior para todos los cilindros o cubos.

- Someter a la compresión los especímenes hasta el estado de ruptura, y gratificar los valores en función del número de rebote.

- Ajustar la curva o línea por el método de los mínimos cuadrados.

Si queremos saber si al esclerómetro está trabajando dentro de límites aceptables, se utiliza el método del yunque de calibración.

Cuando el martillo de rebote se aplica contra el yunque, que debe colocarse sobre una superficie sólida, las lecturas que se obtengan deben variar entre 78 y 82. Si el esclerómetro da lecturas menores que 78, es probable que el instrumento esté sucio y no que requiera calibración. Si los números de rebote difieren considerablemente del valor de 80, la siguiente fórmula debe utilizarse para interpretar los resultados de la prueba:

$$R = \frac{\sum r}{n} \cdot \frac{80}{R_a}$$

donde:

n = Números de lecturas realizadas

R_a = Número de rebote obtenido en el yunque

Σr = Suma de los números de rebote obtenidos en la superficie de concreto en estudio

R = Número de rebote.

b) 12-8-2 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.

El instrumento en sí no requiere de ningún mantenimiento en particular, sin embargo, es conveniente evitar la acumulación de polvo en el émbolo. Después de cierto tiempo de utilización alrededor de 20 000 impactos, el instrumento debe limpiarse de la siguiente manera:

(- Presionar la cabeza del émbolo (10) hasta que quede libre y permitir que salga hasta el tope. Desatornillar la tapa del émbolo (12) y remover las partes internas. Quitar la tapa posterior (11), extraer el resorte de absorción de impacto (4) y todas las partes móviles.

2 - Golpear la cabeza del émbolo (10) ligeramente con el martillo (6), separándolo de la barra guía (5) y del resorte de absorción del impacto (4). Separar el resorte de percusión (3) sólo del final del martillo (6), dejándolo sujeto de la manga del extremo opuesto.

3 - Limpiar cuidadosamente las partes móviles, la barra guía (5), la superficie de golpe del martillo así como la cabeza del émbolo (10). Cepillar los residuos de la cabeza del émbolo con un cepillo de alambre.

4 - Proceder a armar el instrumento en forma inversa, recordando montar el resorte de absorción del impacto (4) y el empaque (14). La barra guía debe ser lubricada ligeramente con vaselina, aceite o un producto similar.

5 - El indicador (8) y la guía de éste (7) nunca deberán ser lubricados ya que esto afectaría las propiedades de deslizamiento y, consecuentemente, se obtendrían lecturas incorrectas.

CAPÍTULO VIII.

SONDA O PISTOLA DE WINDSOR.

13.1 CARACTERÍSTICAS DEL ARMAMENTO.

Entre 1954 y 1965 surgió una técnica para probar concreto, tanto en laboratorio como "in situ", a la que se le conoce como la sonda o pistola de Windsor. Debido a lo fácil de su aplicación, día con día, un mayor número de organizaciones está utilizando esta técnica para llevar a cabo sus estudios de investigación.

DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO
El equipo de la sonda de Windsor consta de una pistola especial (A), sondas de acero (B), un templete para una sola prueba (C), una placa para aplicar 3 sondas al mismo tiempo, una escala para medir la profundidad (D) y una serie de accesorios para la limpieza del equipo. (ver figura 13.1)

Todo este equipo es resistente, está bien hecho y, en general, necesita poco mantenimiento (limpiar ocasionalmente el cañón de la pistola).

Las sondas vienen en dos colores, una de color plateado que se utiliza para probar concreto de peso normal y la otra de color dorado para concreto de peso liviano. Sus características más importantes son las siguientes :

Tiene una longitud total de 79.4 mm, una punta truncada con un diámetro de 6.3 mm y una distancia para atornillarse al impulsor de 25.4 mm.

En la figura 13.2 se observa la sonda "antes y después" de ser ensamblada en la pistola.

13.2 MÉTODO DE PRUEBA.

El método de prueba es relativamente sencillo y está dado en el manual que suministra el fabricante. Brevemente diremos que consiste en impulsar balísticamente una sonda de acero dentro -

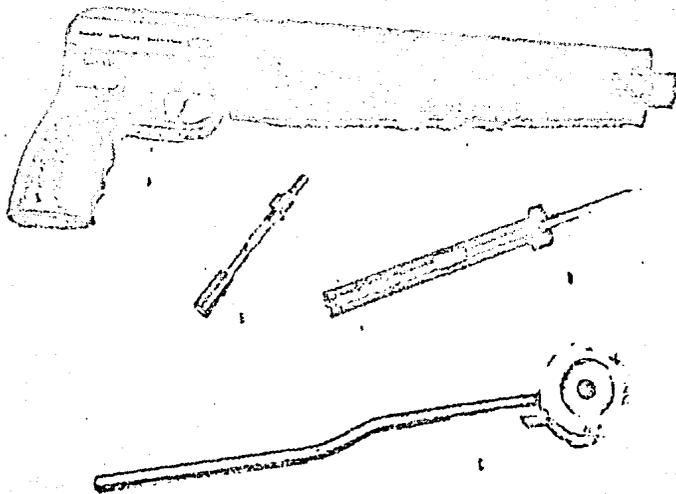


FIGURA 13.1 -

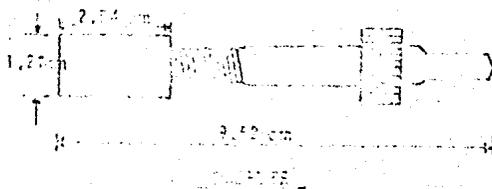
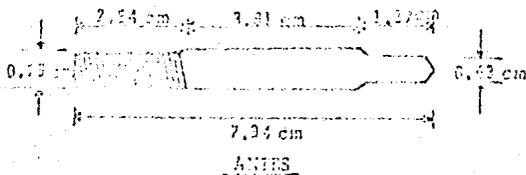


FIGURA 13.2 -

del concreto endurecido.

La pistola de Windsor tiene un dispositivo que le permite trabajar con dos diferentes niveles de energía. Uno de ellos se conoce como energía normal y se utiliza para probar concreto a edades mayores de 8 días, y el otro como energía baja y es utilizado para concreto nuevo, es decir, menos de 8 días.

Para evitar que el proyectil se dispare accidentalmente, la pistola de Windsor tiene un sistema de seguridad el cual deja de funcionar, únicamente, cuando se encuentra apoyada sobre el templete o placa triangular que son proporcionados por el fabricante. (Ver figura 13.3).

La prueba puede hacerse, según se desee, en forma individual o en grupos de tres. A continuación mencionaremos estas modalidades.

UTILIZACIÓN U OPERACION
a) 13.2.1 PRUEBA INDIVIDUAL O SENCILLA.

Se utiliza cuando solo se va a hacer un disparo sobre el concreto y los pasos son los siguientes:

- 1 a) Se mete el cilindro en un aparato de fijación. El aparato es suministrado por el fabricante y sirve para proporcionar mayor rigidez al espécimen. (ver figura 13.4).
- 2 b) Se coloca el templete sobre la superficie del concreto que se va a probar.
- 3 c) Se ensambla la pistola en el templete. De no hacerlo, es imposible disparar la sonda.
- 4 d) Se dispara la sonda.

El disparo se produce de la misma manera que si se tratara de una pistola normal, es decir, presionando el gatillo. De esta manera la sonda queda situada dentro del concreto. (Ver figura 13.5).

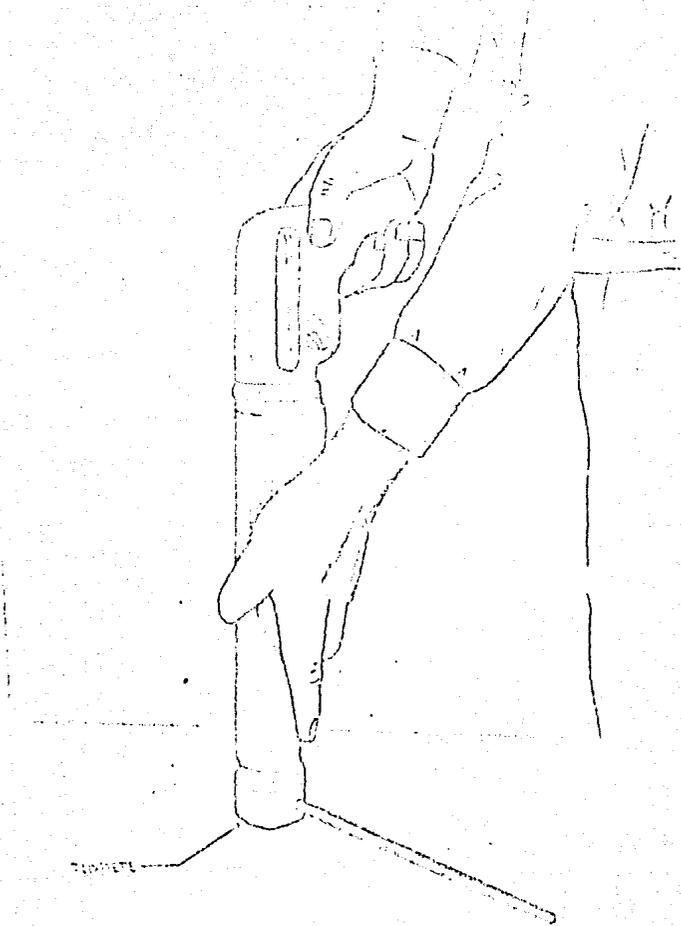


FIGURA 13.3 -

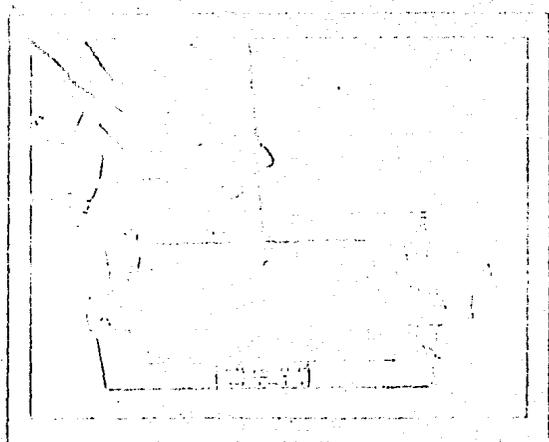


FIGURA 13.4 -

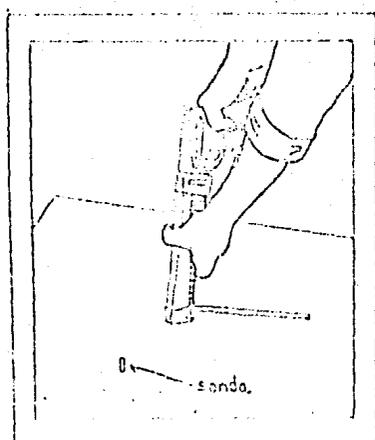


FIGURA 13.5 -

5 a) Se mide la longitud expuesta de la sonda.

El fabricante proporciona una tapa y una escala para este propósito. (ver figura 13.6).

6) 13.2.2 PRUEBA CON TRES SONIDAS.

Las variaciones, con respecto a la prueba anterior, son las siguientes :

1 a) El template se substituye por una placa triangular, la cual da un espaciamento entre las sondas de 7 pulgadas.

2 b) El impulsor se carga por separado para cada disparo de la sonda.

En la figura 13.7 se observan 2 sondas ya disparadas.

3 c) Se coloca la placa medidora de base sobre las 3 sondas disparadas.

Esta placa tiene la forma de un triángulo equilátero de aproximadamente 9 pulgadas por lado y está compuesta de 3 orificios a través de los cuales se extienden las sondas (Ver figura 13.7).

4 d) Se coloca la placa superior medidora sobre las 3 sondas.

Esta placa proporciona un promedio mecánico de las 3 sondas -- (ver figura 13.8).

5 e) Se inserta, a través del orificio de la placa medidora superior, el medidor de profundidad el cual se encarga de registrar la altura expuesta de la sonda. Esta altura se relaciona con una gráfica suministrada por el fabricante.

El tiempo que toma hacer la prueba, con las 3 sondas, es de aproximadamente 5 minutos.

De los 2 procedimientos de prueba, mencionados anteriormente, el más utilizado es el primero. Ya que en el 2º el artificio mecánico para medir la longitud promedio de las 3 sondas, proporciona resultados falsos y consecuentemente es menos recomen

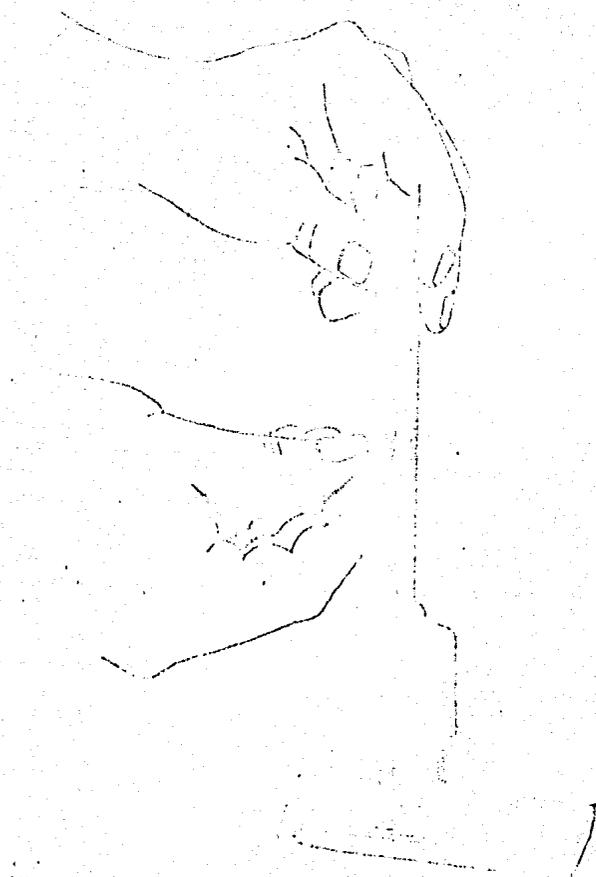


FIGURA 13.6 - Método para medir una sonda sencilla.

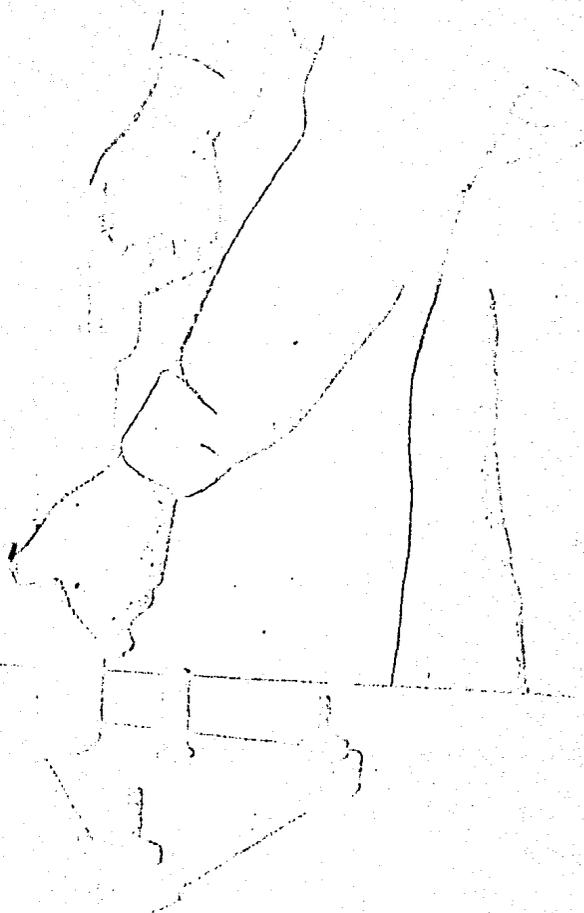


FIGURA 13.7 Método para colocar tres sondas en una configuración triangular.

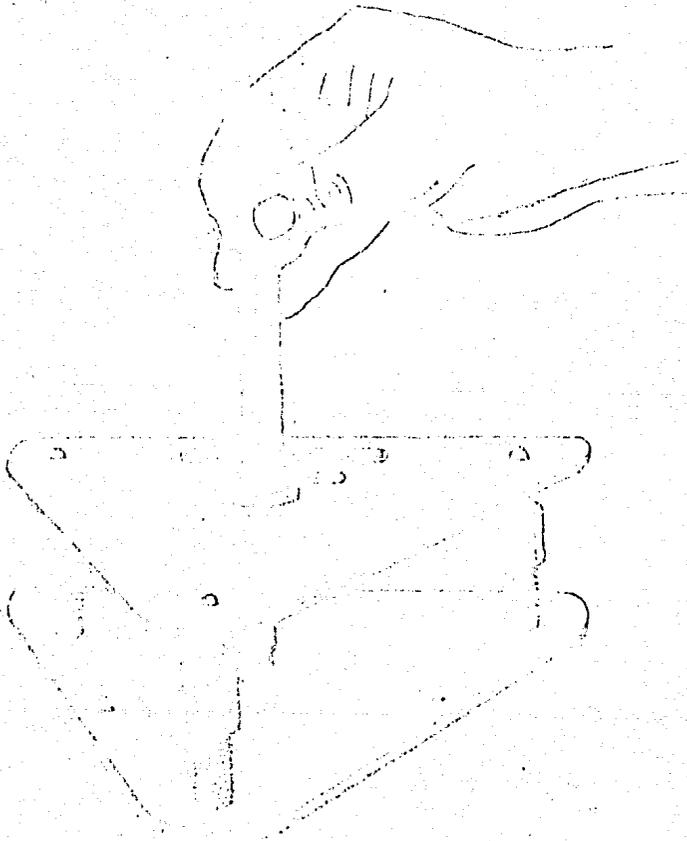


FIGURA 13.8 -

13.5 FACTORES QUE AFECTAN LA MEDICION

el equipo de L. S. de Windsor proporciona un medio rápido - para comprobar la calidad del concreto "in situ". Pero tiene ciertas limitaciones que deben ser reconocidas y que mencionaremos a continuación.

a) 13.3.1 FALTA DE EXACTITUD EN EL CALCULO DE LA RESISTENCIA.

Algunos investigadores consideran que la prueba con la sonda de Windsor, mide la exacta resistencia a la compresión del área de concreto sobre la cual se está aplicando. Pero, en realidad, esto no es cierto ya que la confiabilidad de tales resultados no es muy buena y las razones que se tienen para afirmar lo anterior son las siguientes:

b) 13.3.1.A LA FACILIDAD CON QUE SE OBTIENEN LOS RESULTADOS.

El fabricante de la sonda ha publicado tablas de calibración - que relacionan, directamente, la longitud expuesta de la sonda con la resistencia, a la compresión del concreto. Estas tablas se muestran a continuación y son las tablas 13.1 y 13.2, se observa que el cálculo de la resistencia se hace a partir, únicamente, de la dureza del agregado y de la profundidad de la sonda (la dureza del agregado se obtiene mediante la escala de dureza de Mohs, la cual varía de 1 a 10 para todos los minerales de la tierra).

Esta forma de calcular la resistencia es, sin duda, muy fácil y consecuentemente no podemos aceptar que los resultados obtenidos sean verdaderos.

c) 13.3.1.B LA FALTA DE DIAGRAMAS DE CALIBRACION ADECUADOS.

Los proporcionados por el fabricante no son satisfactorios ya que de acuerdo con Gaynor, Arni y Malhotra, algunas veces los diagramas sub-estiman la resistencia actual del concreto y en

otros casos la sobre-estimari. Es conveniente, por esto, que pa-
ra cada uso de la sonda se prepare su propio diagrama de cali-
bración. Hay que tener en cuenta, también, que si se usan dife-
rentes tipos de agregados, o aun, cuando el agregado sea el --
mismo, pero provenga de diferente fuente, es necesario elabo-
rar un nuevo diagrama de calibración.

~~13.3.1.3~~ LA VARIACION DE LOS RESULTADOS.

Si elaboramos una serie de especimenes, con el mismo concreto,
pero unos los probamos con la sonda de Windsor y otros a com-
presión, encontramos que la variación de los resultados de la
sonda es más grande que la obtenida en pruebas a compresión.
Gaynor, Arni y Maintra han encontrado, en sus investigacio-
nes, que esta variación es 2 ó 3 veces más altas.

También se ha encontrado que para pruebas realizadas, únicamen-
te con sonda de Windsor, pero en concretos de bajas y altas re-
sistencias, las variaciones de los resultados son más altas pa-
ra estos últimos. Esto es debido, probablemente, al hecho de -
que el concreto aumenta su dureza superficial con la edad y la
resistencia, por ese motivo se tiene una mayor variación en es-
tos resultados que si se trabajara con pruebas de compresión =
en donde no interviene la dureza superficial del concreto.

~~13.3.1.4~~ LA COMPLEJA NATURALEZA DEL CONCRETO.

Teniendo en cuenta la compleja naturaleza del concreto y de a-
cuerdo con Arni:

" Los esfuerzos o efectos que tienen lugar cuando una sonda a-
traviesa una masa de concreto no son simples, y ninguno de es-
llos representa la verdadera resistencia a la compresión.

Si no, por el contrario, tales efectos constituyen una comple-
ja combinación de fuerzas debidas a compresión, tensión, esfuer-
zo cortante y fricción ".

	Ms. 6	Ms. 7	Ms. 8	Ms. 9	Ms. 10
4.10	315	313	310	313	319
4.15	314	313	310	310	311
4.20	313	313	310	311	313
4.25	312	312	310	312	315
4.30	311	312	310	313	317
4.35	310	311	310	314	319
4.40	310	311	310	315	321
4.45	309	311	310	316	323
4.50	313	310	310	317	325
4.55	317	310	310	318	328
5.00	315	310	310	319	330
5.05	315	313	310	320	332
5.10	315	319	310	322	334
5.15	314	318	310	323	336
5.20	313	318	310	324	338
5.25	312	318	310	325	340
5.30	311	317	310	325	342
5.35	310	317	310	327	354
5.40	310	317	310	328	356
5.45	319	316	311	329	358
5.50	318	315	311	330	360
5.55	317	316	311	331	362
6.00	315	315	311	332	364
6.05	315	315	311	333	366
6.10	314	314	311	335	368
6.15	313	314	311	336	373
6.20	312	314	311	337	375
6.25	311	313	311	338	377
6.30	311	313	311	339	379
6.35	310	312	311	340	381
6.40	310	312	311	341	383
6.45	310	312	311	342	385
6.50	310	312	311	343	387
6.55	310	312	311	344	389
7.00	310	312	311	345	391
7.05	310	312	311	346	393
7.10	310	312	311	347	395
7.15	310	312	311	348	397
7.20	310	312	311	349	399
7.25	310	312	311	350	401
7.30	310	312	311	351	403
7.35	310	312	311	352	405
7.40	310	312	311	353	407
7.45	310	312	311	354	409
7.50	310	312	311	355	411
7.55	310	312	311	356	413
8.00	310	312	311	357	415
8.05	310	312	311	358	417
8.10	310	312	311	359	419
8.15	310	312	311	360	421
8.20	310	312	311	361	423
8.25	310	312	311	362	425
8.30	310	312	311	363	427
8.35	310	312	311	364	429
8.40	310	312	311	365	431
8.45	310	312	311	366	433
8.50	310	312	311	367	435
8.55	310	312	311	368	437
9.00	310	312	311	369	439
9.05	310	312	311	370	441
9.10	310	312	311	371	443
9.15	310	312	311	372	445
9.20	310	312	311	373	447
9.25	310	312	311	374	449
9.30	310	312	311	375	451
9.35	310	312	311	376	453
9.40	310	312	311	377	455
9.45	310	312	311	378	457
9.50	310	312	311	379	459
9.55	310	312	311	380	461
10.00	310	312	311	381	463

	10.3	10.4	10.5	10.6	10.7
4.20	172	181	189	194	194
4.25	177	186	195	199	199
4.30	181	190	199	203	203
4.35	185	194	203	207	207
4.40	190	199	208	212	212
4.45	195	204	213	217	217
4.50	199	208	217	221	221
4.55	203	212	221	225	225
4.60	207	216	225	229	229
4.65	211	220	229	233	233
4.70	215	224	233	237	237
4.75	219	228	237	241	241
4.80	223	232	241	245	245
4.85	227	236	245	249	249
4.90	231	240	249	253	253
4.95	235	244	253	257	257
5.00	239	248	257	261	261
5.05	243	252	261	265	265
5.10	247	256	265	269	269
5.15	251	260	269	273	273
5.20	255	264	273	277	277
5.25	259	268	277	281	281
5.30	263	272	281	285	285
5.35	267	276	285	289	289
5.40	271	280	289	293	293
5.45	275	284	293	297	297
5.50	279	288	297	301	301
5.55	283	292	301	305	305
5.60	287	296	305	309	309
5.65	291	300	309	313	313
5.70	295	304	313	317	317
5.75	299	308	317	321	321
5.80	303	312	321	325	325
5.85	307	316	325	329	329
5.90	311	320	329	333	333
5.95	315	324	333	337	337
6.00	319	328	337	341	341
6.05	323	332	341	345	345
6.10	327	336	345	349	349
6.15	331	340	349	353	353
6.20	335	344	353	357	357
6.25	339	348	357	361	361
6.30	343	352	361	365	365
6.35	347	356	365	369	369
6.40	351	360	369	373	373
6.45	355	364	373	377	377
6.50	359	368	377	381	381
6.55	363	372	381	385	385
6.60	367	376	385	389	389
6.65	371	380	389	393	393
6.70	375	384	393	397	397
6.75	379	388	397	401	401
6.80	383	392	401	405	405
6.85	387	396	405	409	409
6.90	391	400	409	413	413
6.95	395	404	413	417	417
7.00	399	408	417	421	421
7.05	403	412	421	425	425
7.10	407	416	425	429	429
7.15	411	420	429	433	433
7.20	415	424	433	437	437
7.25	419	428	437	441	441
7.30	423	432	441	445	445
7.35	427	436	445	449	449
7.40	431	440	449	453	453
7.45	435	444	453	457	457
7.50	439	448	457	461	461
7.55	443	452	461	465	465
7.60	447	456	465	469	469
7.65	451	460	469	473	473
7.70	455	464	473	477	477
7.75	459	468	477	481	481
7.80	463	472	481	485	485
7.85	467	476	485	489	489
7.90	471	480	489	493	493
7.95	475	484	493	497	497
8.00	479	488	497	501	501

Por todo lo mencionado anteriormente, se hace dudoso que la resistencia a la corrosión pueda ser predicha con una razonable precisión, sin recurrir, a un gran número de pruebas sucesivas. Por tanto se concluye que : La utilidad de esta prueba consiste en determinar la calidad relativa del concreto y no debe ser usada como un medio para predecir cuantitativamente la resistencia a corrosión del concreto a la edad de 28 días.

f) ~~13.3.2~~ LA DESTRUCTIBILIDAD DE LA PRUEBA.

Algunos investigadores no están de acuerdo en considerar a la sonda de Windsor como una prueba no-destructiva, debido, al grave daño que causa sobre la superficie del concreto al que se le está aplicando. Esto hace que una vez probados los cilindros, no exista ni la mas remota posibilidad de que puedan ser usados nuevamente.

Sin embargo, la mayoría de los investigadores argumenta que el único inconveniente de la prueba, es que, al sacar la sonda -- del concreto, la superficie afectada necesita ser resanada y -- esto origina un incremento en los costos de la prueba. Pero, -- que, en general, cuando la prueba se lleva a cabo sobre extensas zonas de concreto "in situ", tales como paredes o bases de losas, que van a ser recubiertas, el daño causado es muy pequeño y deja de ser importante. En consecuencia, los miembros estructurales no necesitan ser descartados y esto viene a favorecer la aceptación de la sonda de Windsor como una prueba no-destructiva.

13.4 COMPARACION DE LA SONDA CON OTRAS PRUEBAS.

a) 13.4.1 SONDA DE WINDSOR CONTRA EL MARTILLO DE SCHMIDT.

Por el hecho de que la sonda puede penetrar arriba de 50mm, dentro del concreto, sus resultados son más significativos que -- los del martillo de Schmidt, el cual solamente es una prueba -- de dureza superficial.

Entre las ventajas derivadas de esta mayor penetración, vemos que los resultados de la prueba con sonda son influenciados en menor grado por la humedad superficial, textura y efectos de carbonatación que en el martillo. Pero que, por el contrario, el tamaño y distribución de los agregados alteran notablemente sus resultados.

En la figura 13.11, de acuerdo con Malhotra, se muestra la corrección existe entre el número de rebote y la longitud expuesta de la sonda, para concretos hechos con grava y piedra caliza.

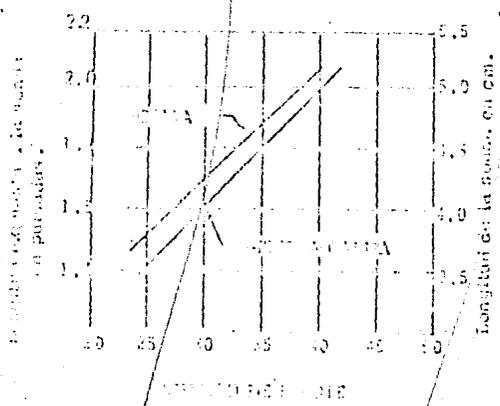


FIGURA 13.11 -

Algo que es muy importante y que, en parte, puede disminuir -- las ventajas de la sonda, es que el costo inicial de su equipo es 3 veces más alto que el martillo y dicho costo todavía, se incrementa más al tener que comprar continuamente las sondas -- para las pruebas.

Tanto la sonda como el martillo afectan la superficie del concreto, pero como en realidad los daños causados son muy peque-

Los, a saber, no los consideramos como auténticas pruebas no-destru-
ctivas.

b) 13.4.2 SONDA DE WINDSOR CON UNA PRUEBA DE CORAZONES.

Se ha llegado a considerar a la sonda de Windsor como una prueba superior a la de corazones por el hecho de que la sonda puede llevarse a cabo en cuestión de minutos, en tanto que los corazones, como son de áreas expuestas, tienen que ser remojados por 40 horas, conforme a la ASTM C 42-63, además, deben ser transportados a un laboratorio para poder probarse y, por consiguiente, todo esto causa una mayor demora en la obtención de los resultados.

La pistola de Windsor, al igual que el martillo de rebote, no proporciona una exacta estimación cuantitativa de la resistencia a la compresión del concreto, por consiguiente no puede reemplazar a las pruebas tradicionales de corazones. Sin embargo, es muy útil para localizar áreas de diferentes resistencias relativamente altas o bajas, dentro de una misma estructura de concreto.

13.5 APLICACIONES DE LA SONDA.

Entre las principales aplicaciones, de esta prueba, tenemos las siguientes:

a) ~~13.5.1~~ DETERMINA LOS REQUISITOS DE RESISTENCIA PARA LA REMOCION DE MOLDES.

La prueba de Windsor redujo por varias semanas el tiempo de erección de un hotel de concreto armado, moldeado in situ, de 12 pisos de altura; ahorrando así de un 5 a un 12% muchos de los costos fijos relacionados con el tiempo de ejecución de este trabajo. Estos costos incluyen el arrendamiento de moldes y equipos así como gastos generales.

Cada colado de aproximadamente 100 yardas cúbicas fue sometido

REVISION 17 DE 1974
EN UN MISMO LUGAR

a) series de pruebas (cada una por 3 cilindros). Los resultados de cada construcción fueron promediados, a menos que una penetración indique una desviación anormal respecto a las demás. Originalmente, el itinerario de la rasadura de moldes se hizo para un ciclo de 6 días, los cuales se consideraron cómodos y con base en un tiempo de curación de 5 días. Sin embargo, por encima del tercer piso, pruebas repetidas del concreto permitieron el rasuramiento de los moldes en 4 días y algunas veces en 3 días.

Un punto muy importante a favor del método de penetración es que esta prueba es no-destructiva, de tal manera es que si se ejecuta una prueba prematuramente, ésta puede ser repetida, más tarde, tan a menudo como sea necesario con el fin de asegurarnos, sin pérdidas de tiempo, de que se cuenta con la resistencia requerida.

Miracle, el superintendente del proyecto, dijo que él no había empleado los cilindros como base del rasuramiento a corto plazo. Debido a que pueden suceder demasiadas cosas a un cilindro que no le suceden al concreto, el cual es el que en realidad nos interesa. El hace notar que los cilindros, en general, son sometidos a condiciones que difieren de aquellas que tiene el material in situ. Y respalda su declaración recordando que de acuerdo con la estación del año y las condiciones del medio ambiente, un concreto puede acelerar o retardar el tiempo en que obtenga la resistencia especificada y después de todo, nosotros estamos rasurando placas de piso, no cilindros, de tal manera que nos resulta mejor probar las placas.

- b) ~~13.5.2~~ OPERA COMO ADICION A LA PRUEBA DE CORAZONES.
- c) ~~13.5.3~~ CONFIRMA O RECHAZA DATOS DUECOS.

En consecuencia ayuda a un mejor control en la calidad de la obra.

d) ~~...~~ EN SU PRIMA PARTE.

beneficios los hacer para probar concreto, en el campo, en --
forma económica ya que su costo es menor que los métodos tradi-
cionales.

CONCLUSIONES /

Por todos los beneficios que se derivan de estas aplicaciones,
se ha llegado a considerar a la sonda de Windsor como una herra-
mienta útil e indispensable para el buen control, tanto en la-
boratorio como en el campo, de la calidad de una obra.

VIBRÓMETRO.

Es común que en las estructuras se presenten vibraciones, ya -
 sen por causas naturales, tales como sismos, vientos etc., o -
 por acciones provocadas por el hombre como explosiones, opera-
 ción de máquinas, entre otras. Dichas vibraciones pueden alcan-
 zar ciertos valores y resultar peligrosas; por lo tanto, es ne-
 cesario conocer su intensidad, ya sea para diseñar estructuras,
 o bien, para conocer su comportamiento en condiciones de servi-
 cio y poder tener la seguridad que cumplirán satisfactoriamente
 con el objetivo para el cual fueron diseñadas.

El vibrómetro, aparato que se utiliza para medir estas vibra-
 ciones, indica la magnitud de éstas de la siguiente forma:

Medición del desplazamiento:

el valor de "A" se indica con unidades de mm p-p (milímetros pi-
 co a pico).

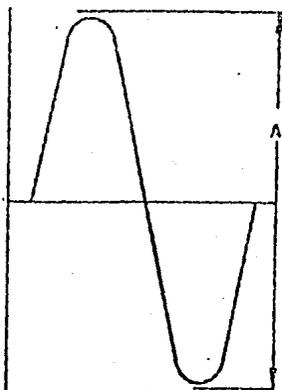
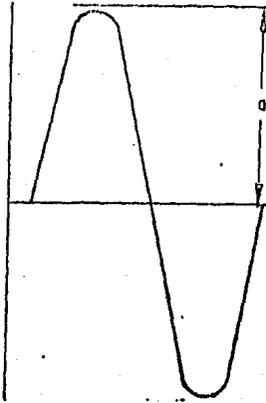


FIGURA 14.1 -

Medición de la aceleración:

el valor de "a" se indica con unidades de g.



9
 FIGURA 4.2 -

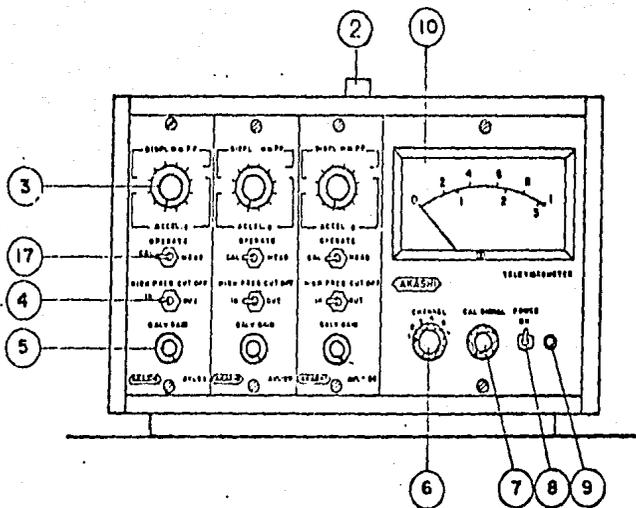
3.14.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO.

El aparato esta compuesto por el equipo siguiente:

- Detector de vibraciones.
- Amplificador de vibraciones.
- Accesorios tales como cables del detector, de corriente, para grabadora, para galvanómetro y base para instalar el detector.

1. Caja
2. Asa
3. Disco de rangos
4. Interruptor de filtros
5. Botón "Galv Gain"
6. Selector de canal
7. Botón "Cal Signal"
8. Interuptor de energía

9. Lámpara indicadora
10. Indicador
11. Conector
12. Fusible
13. Terminal para conector de la pila exterior
14. Interruptor de filtro
15. Conector Galv
16. Conector del detector
17. Interruptor de cambio para calibración y medición
18. Interruptor AC, DC
19. Conector del filtro
20. Conector de gravadora



9
 FIGURA 2.3- Vista frontal del amplificador de vibraciones.

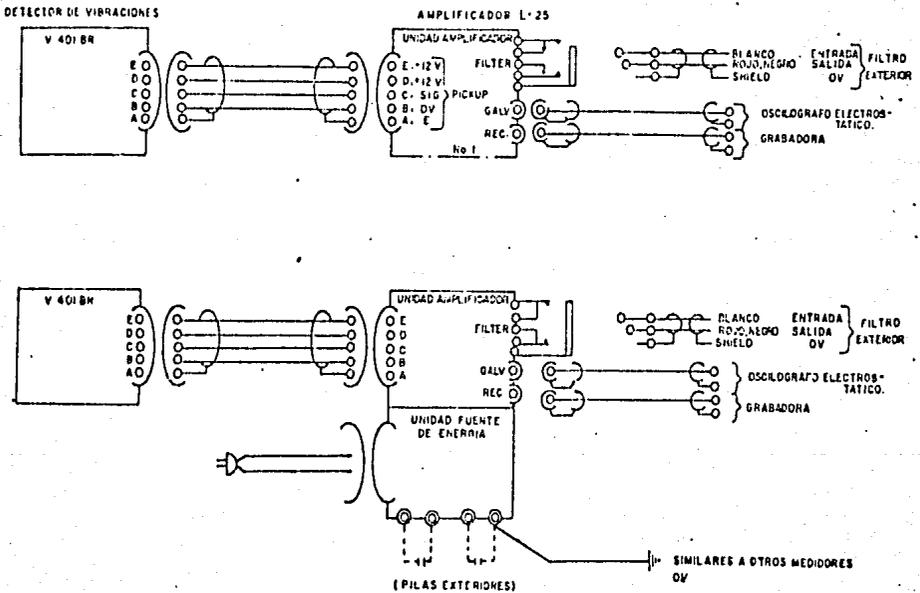
plis.

Es recomendable gravar tanto aceleraciones como desplazamientos ya que en las aceleraciones se obtiene un menor rango de error y la señal de desplazamiento es más amplia; por lo tanto resulta más sencillo su análisis.

9.14.3 UTILIZACION DEL EQUIPO.

a) Conexión.

El primer paso es conectar cada uno de los cables del detector de vibraciones y el cable de corriente conforme al diagrama de conexiones.



5

FIGURA 14.5 - Diagrama de conexión entre los aparatos.

En caso de registrar las señales por medio de un oscilógrafo electrostático, hay que utilizar el cable de los accesorios en el conector 15 de GALV.

Además, cuando se conecta el oscilógrafo electrostático, para evitar pequeñas vibraciones se debe girar completamente el botón 5 de GALV-GAIN en sentido contrario a las manecillas del reloj.

En caso de realizar observaciones de las ondulaciones por medio de la grabadora o del osciloscopio, se debe utilizar el cable accesorio en el conector 20 de REC.

Si se conecta el filtro en la parte exterior, se debe hacer con el cable accesorio. En este caso, hay que conectar el cable blanco donde entra la corriente, el rojo donde sale y el otro a tierra. Hay que hacer que la resistencia de la corriente que entra al filtro sea mayor que $10\text{ K}\Omega$ y que la resistencia de la corriente que sale sea de 100Ω . Si conecta un filtro, utilícelo colocando el interruptor del FILTER 14 en posición "ON". Si no se emplea filtro, el interruptor debe estar necesariamente en posición "OFF".

Quando se opere el amplificador con fuente de corriente directa (pilas), conforme a la línea de conexión entre los aparatos, conéctese $\pm 18\text{ V } 24\text{ V} \times 2$. En este caso hay que tener mucho cuidado de no equivocarse en los polos.

b) Medición.

Quando se utiliza una fuente de corriente alterna, el interruptor de conversión 18 debe estar en posición "AC". Si se opera con fuente de corriente directa, el interruptor debe colocarse en posición "DC".

El disco de rango 3, en todos los canales, debe estar en la posición de sensibilidad mínima.

En seguida se coloca el interruptor de energía 8 en posición - " ON ". Si se emplea corriente alterna (AC) la lámpara indicadora 9 enciende, pero si se opera corriente directa (DC) - la lámpara no enciende.

La señal del canal seleccionado mediante el disco selector de canales 6 aparece en la ventanilla indicadora 10. El disco de rango 3 se debe cambiar de uno a uno a una posición de alta -- sensibilidad y efectuar las mediciones (debe tenerse cuidado de que en cada uno de los canales la indicación no sobrepase -- la escala).

c) Ajuste del " CAL "

El " GAIN " de este vibrómetro está fijo en el momento de hacer las pruebas, por tanto, no se pueden hacer correcciones en los valores indicados, sino que hay que hacer corresponder los niveles de las indicaciones del vibrómetro y de los registros (oscilógrafo electrostático u otros).

Al colocar el interruptor 17 en posición "CAL" y ajustar el botón " CAL SIGNAL" 7, se puede cambiar manualmente el valor indicado. Si en esta situación se establece el nivel de registro se puede hacer que corresponda la magnitud de vibración con la de registro.

14.4 CALIBRACION Y MANTENIMIENTO.

a) 14.4.1 CALIBRACION.

Existe un gran número de formas para calibrar los sensores. Una de ellas, la más indicada para este tipo de aparatos, es en la que se utiliza un calibrador de acelerómetros, el cual manda una señal de 1 g, hay que ajustarlo si este no detecta exactamente 1 g, esta señal es recibida por el sensor.

Es conveniente calibrar el equipo para cada medición ya que éste, debido a su gran sensibilidad, se desajusta fácilmente.

b) 14.4.2 MANTENIMIENTO DEL EQUIPO.

Estos aparatos están diseñados para trabajar satisfactoriamente sin necesidad de un mantenimiento especial. En caso de tener alguna falla, se recomienda regresar el equipo a la fábrica para su reparación.

14.5 UTILIDAD. *CONCLUSION*

Como se puede ver , la utilización del vibrómetro es bastante sencilla; además de esta cualidad, tiene la ventaja de que es fácil de transportar, rápido de colocar y muy sensible.

Otra gran ventaja es que se puede conocer la amplitud de las vibraciones en el momento de realizar el ensaye; además, si se realiza con ayuda de un analizador se puede conocer la frecuencia y la forma de las vibraciones.

La desventaja que posee este aparato es que no proporciona la magnitud del desplazamiento, sino únicamente su frecuencia.