

81  
29



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

## “CAMBIO DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO DEBIDO A SU EDAD”

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
ROBERTO ANGEL B. LAGUNES RAMIREZ

MEXICO, D. F.

1988



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis 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.

# I N D I C E

## 1. Introducción

## 2. Pruebas no destructivas

### 2.1. Esclerómetro

#### 2.1.1. Introducción

#### 2.1.2. Descripción del equipo

#### 2.1.3. Descripción del ensayo

#### 2.1.4. Criterios para el registro y muestreo de datos

#### 2.1.5. Interpretación de datos

#### 2.1.6. Calibración

#### 2.1.7. Mantenimiento del equipo

#### 2.1.8. Ventajas y desventajas del equipo

#### 2.1.9. Obtención de la gráfica de calibración

### 2.2. Pulso ultrasónico

#### V-Meter

#### 2.2.1. Introducción

#### 2.2.2. Descripción del equipo

#### 2.2.3. Descripción del ensayo

#### 2.2.4. Utilización

##### 2.2.4.1. Como usar el equipo

##### 2.2.4.2. Operación y carga de la batería interna

##### 2.2.4.3. Operación con batería externa

##### 2.2.4.4. Operación con corriente alterna

- 2.2.5. Alternativas de posición de los transduc  
tores
- 2.2.6. Criterios para la selección de puntos de  
ensaye
  - 2.2.6.1. Método para determinar la dis-  
tancia con arreglo indirecto
- 2.2.7. Interpretación de datos
- 2.2.8. Calibración y mantenimiento
  - 2.2.8.1. Proceso de calibración del - -  
equipo
  - 2.2.8.2. Cuidados y mantenimiento

### 2.3. R-Meter

- 2.3.1. Introducción
- 2.3.2. Descripción del equipo
- 2.3.3. Utilización
- 2.3.4. Localización del acero de refuerzo
- 2.3.5. Determinación del recubrimiento o - -  
diámetro del acero de refuerzo
- 2.3.6. Criterios de selección de puntos de prue  
ba
- 2.3.7. Interpretación de datos
  - 2.3.7.1. Efecto de las barras paralelas
  - 2.3.7.2. Efecto de las barras perpendi-  
culares
- 2.3.8. Método comparativo
- 2.3.9. Corrección por concreto magnético
- 2.3.10. Calibración y mantenimiento

2.3.10.1. Proceso de calibración del - -  
equipo

2.3.10.2. Cuidado y mantenimiento

2.3.11. Ventajas y desventajas

2.4. Resultados obtenidos

2.4.1. Resistencia

2.4.2. Calidad

2.4.3. Recubrimiento y disposición del acero

3. Pruebas destructivas

3.1. Introducción

3.2. Objetivos

3.3. Estructura de núcleos de concreto

3.3.1. Descripción del equipo

3.3.2. Descripción de la prueba

3.4. Normas

3.5. Utilización

3.5.1. Como usar el equipo

3.5.2. Criterios de selección de puntos de ensa  
ye y obtención de núcleos de concreto

3.6. Registro de datos

3.7. Interpretación de datos

3.8. Ventajas y desventajas

3.8.1. Calibración y mantenimiento

3.9. Extensómetros eléctricos

3.9.1. Introducción

3.9.2. Descripción del equipo

3.9.3. Principios de la extensometría

- 3.9.4. Pruebas con extensómetro
- 3.9.5. Colocación de bandas extensométricas
- 3.9.6. Colocación de ejes de referencia
- 3.9.7. Pegado de extensómetros
- 3.9.8. Soldadura de cables
- 3.9.9. Circuitos de medida
  - 3.9.9.1. Puente de wheatstone
- 3.9.10. Módulo de elasticidad

#### 4. Pruebas en un concreto nuevo

##### 4.1. Resultados

- 4.1.1. Esclerómetro
- 4.1.2. V-Meter
- 4.1.3. Núcleos de concreto

#### 5. Conclusiones

#### 6. Bibliografía

## 1). Introducción

Desde que el hombre se vuelve sedentario, busca refugios - seguros, es entonces cuando surge la necesidad de conseguir materiales adecuados para la construcción de dicho refugio.

Según la zona geográfica en que se encuentre, el hombre usa diferentes materiales para su refugio. Así en las zonas - tropicales usa caña, palmas o carrizo; en el polo norte usa hielo para levantar iglúes. De esta forma evoluciona y hace cabañas de troncos, chozas de pieles, casa de barro, - etc., hasta llegar a la construcción de rascacielos.

Para que el hombre llegará a levantar estructuras de concre to fué necesario el desarrollo de las matemáticas y la fisi ca, para que a su vez sirvieran de apoyo a la Ingeniería - Civil y a todas las ramas que de ella derivan como lo son: el estudio de los materiales, la mecánica de suelos y el - análisis estructural entre otros.

El estudio de los materiales que intervienen en la formación del concreto es una de las partes más interesantes de la - Ingeniería Civil, ya que los resultados de las diferentes - pruebas de control de calidad, podrán suponer o afirmar - ciertos parámetros que permitirán al ingeniero estructurista realizar un diseño óptimo.

Este trabajo pretende dar a conocer los resultados obtenidos en las diferentes pruebas de control de calidad efectuadas, presentando los parámetros y criterios que permitieron evaluar dichos resultados, así como mostrar un panorama del concreto y sus posibles cambios de resistencia o de calidad que se presentaron a través del tiempo; es decir, plantea la problemática de conocer la calidad o capacidad de los materiales con los que están construidos los diferentes edificios.

Para ello, el estudio está dividido en tres partes. Las dos primeras describen los tipos de pruebas en un concreto "viejo" como los son: las pruebas no destructivas y las pruebas destructivas. La tercera parte muestra los resultados obtenidos en un concreto nuevo, no con fines comparativos, sino para corroborar que los resultados obtenidos correspondan con el tipo de concreto probado.

La correcta realización de las pruebas de control de calidad del concreto permitirán evaluar los resultados de una manera objetiva, es decir, existen numerosos factores externos que afectan el resultado de los mismos y van desde el operador de el aparato de prueba hasta el ingeniero encargado de evaluar dichos resultados.

Cada aparato es distinto y por lo mismo siempre debe tenerse cuidado en su calibración y en su mantenimiento. El operador deberá ser un técnico capaz de respetar y comprender la



importancia de las pruebas, ya que una leve variación o falta de aplicación de los mismos, producirá distintos resultados. El ingeniero que evaluará los resultados tendrá que conocer la Patología del concreto, con el fin de detectar posibles fallas al aplicar las pruebas o bien si la zona probada tiene problemas de calidad a la esperada, con el fin de ordenar más pruebas en ese sitio, o bien dar por concluido el estudio.

### Pruebas no destructivas

Al hablar de las pruebas destructivas y no destructivas, se están tomando dos parámetros distintos, pero muy válidos; las pruebas no destructivas como su nombre lo indica se aplican directamente sobre la estructura para determinar la resistencia del concreto y su calidad sin peligro de dañar a la estructura.

En primer lugar se hablara del Esclerómetro. La prueba consiste en golpear la superficie de concreto para obtener un número de rebote; y su magnitud será el indicador de la resistencia del concreto.

Con la ayuda del V-Meter o Pulso Ultrasónico se medirá el tiempo de paso de una vibración ultrasónica a través del concreto o de otro material y su magnitud será el indicador de la resistencia del concreto. Con esta medida de tiempo (seg) y la distancia medida físicamente, será posible obtener la velocidad de vibración y con ella evaluar la calidad del

concreto o del material probado.

El R-Meter o Pachómetro ayudará a conocer la colocación y diámetro del acero en la estructura, así como también el espesor del recubrimiento; todo mediante la formación de un arco magnético que produce el aparato.

Para la pruebas destructivas será necesario tener una máquina extractora de corazones, que proporcionará una muestra del concreto de la estructura a probar, posteriormente se le aplicarán otras pruebas, por ejemplo: los extensómetros eléctricos y la de resistencia a la compresión. De estas pruebas se obtendrán los resultados más directos y representativos del control de calidad en el concreto.

Con los extensómetros eléctricos será posible evaluar el módulo de elasticidad del concreto ya que se establece una relación de esfuerzo-deformación mediante impulsos eléctricos.

La prueba de resistencia a la compresión es la prueba tradicional aplicada al concreto, y de ella será posible obtener dicha resistencia de una manera directa; para esta prueba es necesario observar una serie de normas y especificaciones que marca ASTM para poder, en todo momento, hacerla válida.

Las pruebas realizadas en un concreto nuevo son las mismas-

que se efectuaron para el concreto estudiado en la primera parte de este trabajo, con el fin de establecer la relación de: resultado-tipo de concreto, en cuanto a calidad.

Con el transcurso del tiempo el concreto se ve afectado por innumerables factores que hacen cambiar su estado original y es por esto que no se podrá comparar un concreto viejo con uno nuevo, ni una estructura contra otra, ya que cada concreto es distinto, por lo cual se podrá llevar un registro de calidad obtenida más no una estadística de resistencia obtenidas, entre diversas estructuras.

#### Descripción de la Estructura.

A raíz de los sismos ocurridos en México, en septiembre de 1985, surge la necesidad de realizar una serie de estudios y pruebas a los edificios que resultaron afectados, con el fin de determinar su estabilidad, el grado de daños sufridos y su posible reparación o, en su caso, su demolición total.

La estructura escogida fue el edificio Tamaulipas de los llamados tipo "C", que está ubicado en la parte sureste del conjunto habitacional Nonoalco Tlatelolco, localizado al norte de la Ciudad de México.

El edificio Tamaulipas consta de 3 cuerpos, cada uno con 14 niveles y 288 departamentos; fue construido durante los años de 1959 a 1964. Las áreas que tiene son las siguientes:

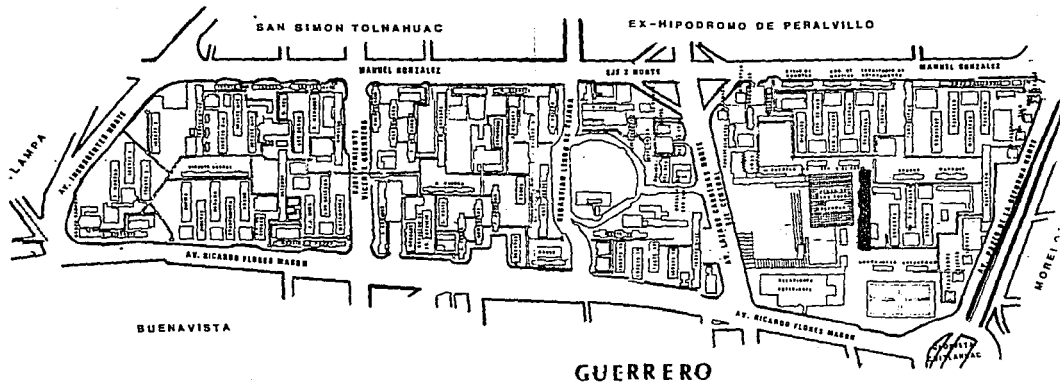
Superficie de            210,517 m<sup>2</sup>  
Area construida de      3,010,148 m<sup>2</sup>

La estructuración de dichos edificios es la siguiente: el sistema de piso en su mayor parte son de losa aligerada de 21 cm de peralte, existiendo partes de losa maciza de 8 cm de espesor como se muestra en la figura (1), los muros divisorios están formados a base de block de concreto.

Las columnas en su base tienen las siguientes dimensiones - 30 X 70 cm hasta llegar a una sección de 20 X 50 cm en su parte superior.

UNIDAD

TLATELOLCO



Zona Oscura Estructura En Estudio

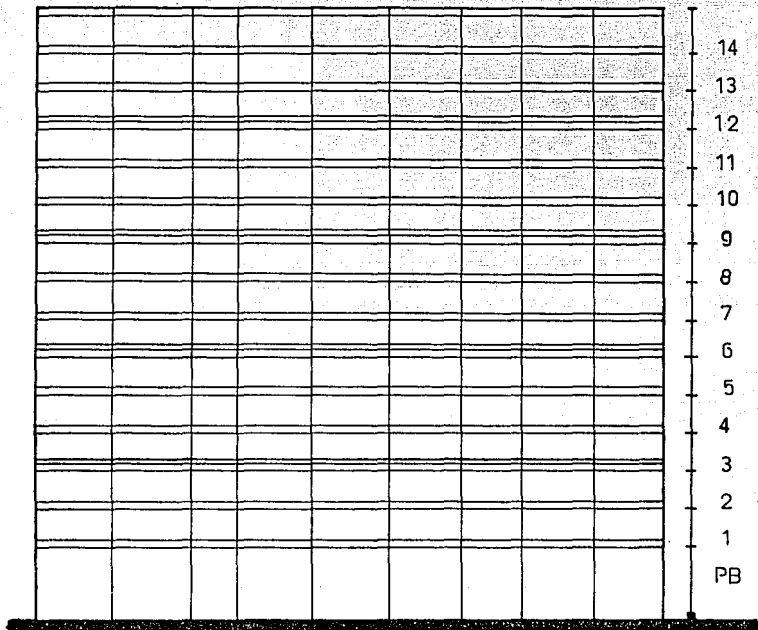
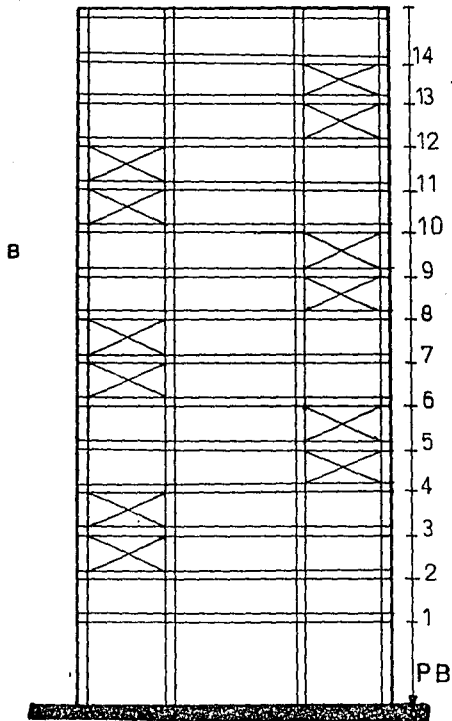
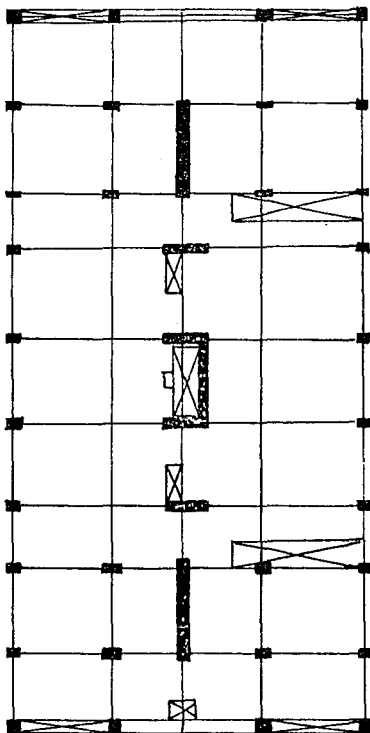


Fig.1 Estructura en estudio  
Fachada A



Fachada B



Sistema de piso (zona oscura)

Losa maciza



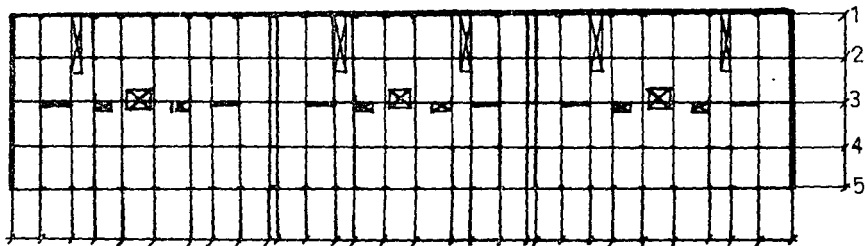


Fig.3 Planta tipo de los 3 módulos

La siguiente gráfica muestra el comportamiento del concreto a través del tiempo.

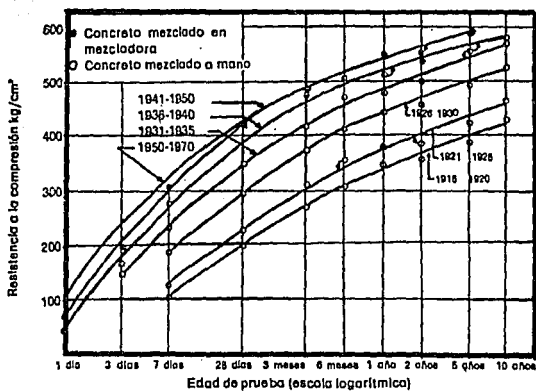


Fig. 4. Relación edad - resistencia del concreto

Calidad en el concreto.

El concreto es una mezcla homogénea de cemento, grava, arena y agua, y con el paso del tiempo se ve afectada por diversos factores que provocan cambios en su estructura interna. Dichos cambios hacen variar su resistencia, calidad, etc., es decir, todas sus características.

Al ir madurando un concreto joven va alcanzando mayor resistencia hasta llegar a los 28 días de edad, momento en el cual alcanza su  $f'c$  de proyecto ( su esfuerzo de resistencia a la compresión de proyecto ), pero su resistencia no termina ahí, sino que bajo condiciones favorables de humedad y temperatura el concreto adquiere más resistencia y dureza durante un largo período, que llega a prolongarse durante varios años, y es por esto que la resistencia es el Parámetro más común para medir su calidad.

Con el transcurso del tiempo el concreto se ve afectado por innumerables factores que hacen cambiar su estado original y es por esto que no se podrá comparar un concreto viejo con uno nuevo, ni una estructura contra otra, ya que cada concreto es distinto, por lo cual se podrá llevar un registro de calidad obtenida más no una estadística de resistencia obtenidas, entre diversas estructuras.

## 2.1. Esclerómetro

### 2.1.1. Introducción.

A lo largo de los años se han implementado diversos métodos para conocer la calidad del concreto, sin dañar su estructura interna y es por lo anterior, que surgió la necesidad de desarrollar un método que permitiera evaluar la resistencia del concreto a la compresión.

La laboriosidad de los procedimientos para obtener la resistencia del concreto (extracción de núcleos de concreto y el procedimiento completo de elaborar, curar y probar muestras estándar), han llevado a desarrollar distintos métodos para probar el concreto en la obra, de tal suerte que la parte probada no reciba ningún daño como se mencionó anteriormente.

Antiguamente, los trabajadores de la construcción golpeaban con un martillo la superficie de concreto, de la cual querían conocer su estado y dureza, por lo tanto, según la intensidad del sonido así como la experiencia del operador se determinaba si el concreto probado era el adecuado para el fin que se había destinado.

En 1948 el ingeniero suizo Ernest Schmidt desarro

116 una prueba para medir la dureza del concreto aplicando el principio del rebote de una masa elástica, que es el perfeccionamiento de este antiguo sistema.

El sistema parte de la relación entre la dureza y la resistencia del concreto, donde se puede definir a la dureza como "algo" difícil de romper, y a la resistencia como aquello que se opone a la reacción de una fuerza, aplicándose este mismo principio en el martillo de rebote.

#### 2.1.2. Descripción del Equipo.

El esclerómetro o martillo de rebote consiste en un instrumento cilíndrico de aluminio, y aproximadamente con las siguientes dimensiones: 30 cm de longitud y 1.8 kg de peso, con pequeñas variaciones de acuerdo a cada fabricante.

Las partes que componen el martillo de rebote son las siguientes:

1. Tapa posterior
2. Resorte
3. Resorte de percusión
4. Resorte de absorción de impacto
5. Barra guía
6. Martillo

7. Gufa del indicador
8. Indicador
9. Escala
10. Embolo
11. Botón disparador
12. Tapa del émbolo
13. Seguro
14. Empaque

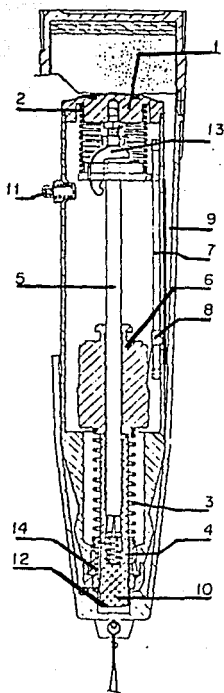


Fig. 5

### 2.1.3. Descripción del ensaye.

Como primer paso para realizar alguna prueba es necesario revisar la calibración del equipo, ya que de no ser así, se obtendrá un resultado erróneo de la prueba, de este punto se hablará más adelante.

La superficie a probar deberá reunir los siguientes requisitos:

- a). Estar libre de cualquier recubrimiento como lo son el yeso, cal, arena, etc.
- b). Será necesario también tomar en consideración que la superficie tendrá que estar libre de rugosidades. En el primero de los casos a mayor recubrimiento menor será el número de rebote, ya que el recubrimiento absorberá toda la energía liberada. En el segundo caso la excesiva rugosidad impedirá un contacto adecuado entre el martillo y la superficie a probar.
- c). La superficie a probar de concreto cuando no forme parte de una masa firme (cilindros de concreto, vigas de laboratorio, etc.), se tendrá cuidado de asegurarla para evitar que ceda al impacto y se produzca un rebote menor al debido.

En una superficie con un espesor menor de 10 cm se deberá de tomar en cuenta que esta última se deformará elásticamente ante el impacto recibido, y lógicamente no se obtendrá el mismo valor de rebote en un espécimen formado del mismo concreto pero de diferentes formas.

Tomando en cuenta los puntos anteriores se procede a realizar la prueba.

Esta prueba como se mencionó anteriormente 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.

El esclerómetro o martillo de rebote se colocará de preferencia en forma perpendicular a la superficie de prueba, acto seguido se ejercerá una ligera presión sobre el esclerómetro con el fin de liberar el émbolo del seguro que lo protege; una vez realizado lo anterior se presiona nuevamente el émbolo contra la superficie de prueba, y es precisamente en este momento cuando es liberada una masa cargada con una cierta energía, que es proporcionada por medio de un resorte.

La distancia recorrida por la masa se expresa como un porcentaje de la extensión del resorte, a lo que



se conoce como número de rebote, este número queda señalado por un indicador móvil sobre una escala graduada, que se encuentra sobre la superficie del esclerómetro; y de esta forma con el número así obtenido permitirá obtener una relación aproximada con la resistencia de la superficie de prueba.

#### 2.1.4. Criterios para el registro y muestreo de datos.

Para poder llevar un correcto registro de los datos obtenidos será necesario tomar en cuenta el reglamento de la Dirección General de Normas (concreto endurecido: determinación del índice de rebote), en donde los puntos más importantes son:

- El método no se debe emplear como una alternativa para la determinación de la resistencia del concreto. Dentro de sus limitaciones el método 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 debe eliminar las lecturas que difieren del promedio de las 16 lecturas en más de 6 unidades, y se determinará el promedio final de las lecturas restantes.

- Las lecturas que van a ser comparadas, deben co responder a pruebas efectuadas en la misma di- rección de impacto: horizontal, vertical o in- clinada.

#### 2.1.5. Interpretación de datos.

Una vez obtenido el número de rebote promedio, se recurrirá a las gráficas que proporciona el fabri- cante, o bien las obtenidas de la calibración del equipo, para el primer caso, se debe tener espe- cial cuidado, si las curvas se obtuvieron con ba- se en resultados de pruebas de cubos o cilindros de concreto, así encontrar de una forma aproxima- da la resistencia que guarda hasta el último mo- mento de realizar la prueba.

Las gráficas arriba mencionadas se encuentran en función del número de rebote y como también de la posición del Esclerómetro al momento de realizar la prueba.

El hecho de que haya distintas curvas, dependien- do de la posición del Esclerómetro, se debe a que la fuerza de gravedad afecta al número de rebote y es por esto que un espécimen de concreto proba- do a  $\alpha = 90$  dará como resultado un número de re- bote mayor que el mismo probado con un ángulo de  $\alpha = - 90$ . ( figuras 6 y 7 ).

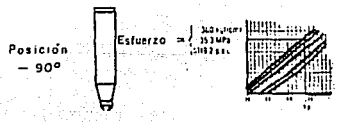
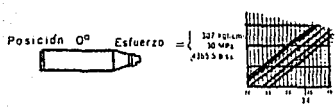
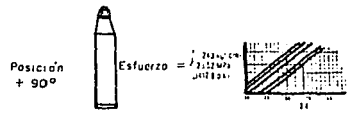
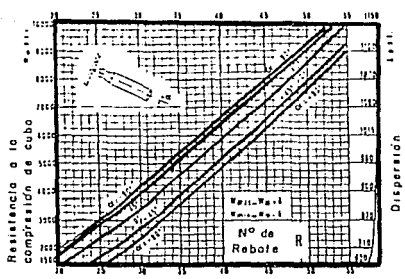


Fig. 6

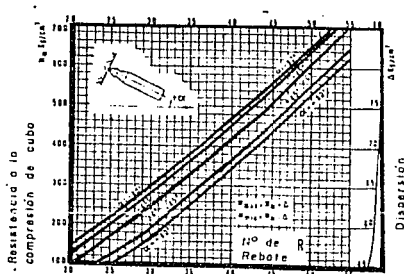
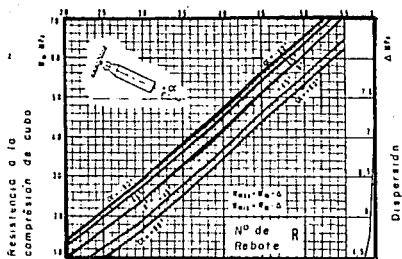


Fig. 7

### 2.1.6. Calibración

Es importante conocer la calibración del Esclerómetro en todo momento ya que se podría caer en resultados erróneos, para evitar lo anterior se utiliza el yunque de calibración.

El yunque de calibración consiste en una masa metálica donde se prueba el Esclerómetro como si fuera una prueba común y corriente, con las siguientes condiciones:

$$80 \gg R \gg 78 \dots\dots(1)$$

$$77 \gg R \dots\dots(2)$$

$$R \gg 81 \dots\dots(3)$$

Donde R = número de rebote.

En el caso número (1) el mecanismo no será necesario calibrarlo, en el segundo caso es probable que el mecanismo se encuentre sucio, en este caso será necesario limpiar internamente el mismo para calibrarlo posteriormente. Cuando los resultados del rebote sobrepasen las 80 unidades se podrá utilizar la siguiente fórmula para interpretar los resultados de la prueba.

$$R = r/n = 80/Ra.$$

Donde: R = Número de rebote

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

n = Número de pruebas realizadas

Ra = Número de rebote obtenido en el yunque

Es posible calibrar el martillo de rebote o Esclerómetro para una obra determinada siguiendo el siguiente método:

- a). Preparar varios cilindros de 15 X 30 cm en que se encuentren dentro del rango de resistencia del proyecto, utilizando el mismo tipo de cemento, agregándose el proceso de curado de obra. El número de muestras dependerá de la importancia de la obra.
- b). Colocar en una máquina de prueba a una compresión de 15% de la fuerza de compresión a la ruptura. Se debe asegurar de que los cilindros estén saturados y superficialmente secos, así como perfectamente cabeceados.
- c). Trazar líneas a cada  $120^{\circ}$  en los cilindros y hacer 15 lecturas en el esclerómetro, 5 en cada una de las líneas. Cuando se trate de cubos se harán 5 lecturas en cada una de las 4 caras verticales que estuvieron en contacto con el molde.
- d). Sumar las lecturas y dividir la suma entre el número de impactos; considerar el promedio de ellas como única lectura.
- e). Repetir el procedimiento anterior a todos los cilindros o cubos.
- f). Someter a la compresión los especímenes hasta el estado de ruptura, y graficar los valores-

en función del número de rebote.

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

#### 2.1.7. Mantenimiento del equipo.

El instrumento en si no requiere de ningún mante  
imiento en particular; pero siempre resulta con  
veniente evitar la acumulación de polvo en el ém  
bolo, se calcula que aproximadamente después de  
20,000 impactos el martillo deberá limpiarse de -  
la siguiente manera:

- a). Presionar la cabeza del émbolo (10) hasta que  
quede libre y permitir que salga hasta el to-  
pe. Desatornillar la tapa del émbolo (12) y  
remover las partes internas. Quitar la tapa-  
posterior (1) y extraer el resorte de absor-  
ción de impacto (4) y todas las partes móviles.  
Como medida de precaución para extraer el  
martillo (6) el seguro (11) deberá permanecer  
fuera.
- b). Golpear la cabeza del émbolo (.9) ligeramente  
con el martillo (6), separándolo de la barra-  
guía (5) y del resorte de absorción del impac-  
to (4). Separar el resorte de percusión (3) -  
sólo del final del martillo (6), dejándolo su  
jeto de la manga del extremo opuesto.

- c). Limpiar cuidadosamente las partes móviles, la barra gufa (5), la superficie de rebote del martillo así como la cabeza del émbolo (10). Cepillar los residuos de la cabeza del émbolo con un cepillo de alambre.
- d). Una vez realizado lo anterior se procederá a armar el instrumento en forma inversa, recordando montar el resorte de absorción de impacto (4) y el empaque (14).
- e). El indicador (8) y la barra gufa de este (7) nunca deberán de ser lubricados ya que esto afectaría las propiedades de deslizamiento, y consecuentemente, se obtendrían lecturas incorrectas.

#### 2.1.8. Ventajas y desventajas del equipo.

La utilización del martillo de Schmidt es sumamente sencilla y si a esto se le suma el poco peso del mismo de aproximadamente 1.8 kg se justifica el uso práctico que ha tenido este método de prueba como forma de comparación entre concretos similares; esto último debido a que un elemento de concreto en obra no recibe los mismos cuidados que en un laboratorio y sea por su tamaño o por otros factores, esto influye en el sentido de la dureza superficial que se tiene es distinta a la dureza interna, que es la más representativa de la prueba.



El probar un mismo espécimen con dos esclerómetros diferentes arrojará resultados similares, pero nunca idénticos debido a factores como lo son: los materiales de fabricación del aparato, la antigüedad del mismo, así como de la persona que lo opere.

#### 2.1.9. Obtención de la gráfica de calibración.

Se elaboraron especímenes cilíndricos de 15 x 30 cm, utilizando un mismo tipo de agregado y cemento (tipo I). Los especímenes se colocaron y curaron en forma estandar según la norma (DG-C-159) y se midió su número de rebote inmediatamente después de sacarlos del cuarto de curado ( a los 28 días) para posteriormente hacerlos fallar a la compresión.

A continuación se muestran los datos obtenidos y los cálculos necesarios para construir la gráfica de calibración.

## GRAFICA DE CALIBRACION

ESPECIMEN	RESISTENCIA KG/CM2	# DE REBOTE
1	142	10
2	151	10
3	179	11
4	183	11
5	192	12
6	202	12
7	194	13
8	198	13
9	214	13
10	189	14
11	198	14
12	205	14
13	240	15
14	257	15
15	246	16
16	262	16
17	260	17
18	240	18
19	268	18
20	315	19
21	251	20
22	321	20
23	300	22
24	328	22
25	324	24
26	370	28
27	374	28
28	382	30
29	414	31
30	400	32
31	416	32
32	408	33
33	414	33
34	417	33

$$\begin{aligned}
 n &= 34 \\
 \sum f'ci &= 9462 \text{ KG/CM}^2 \\
 \sum NRi &= 669 \\
 \bar{f}'c &= 9469/34 = 278.29 \text{ KG/CM}^2 \\
 \bar{NR} &= 669/34 = 19.68 \\
 \sum (f'ci \times NRi) &= 208165 \text{ KG/CM}^2 \\
 \sum (f'ci^2) &= 2885340 \text{ (KG/CM)}^2 \\
 669 - 34a - 9462b &= (1) \\
 208165 - 9462a - 2885340b &= 0 \quad (2) \\
 a &= -4.5921 \\
 b &= 0.0807205
 \end{aligned}$$

El coeficiente de correlación nos indica, en este caso, la exactitud con la que están relacionados la resistencia a la compresión y el número de rebote; que se determina de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \sum (f'ci - \bar{f}'c)^2 &= 252107.69 \\
 \sum (NRi - \bar{NR})^2 &= 2009.14 \\
 \int f'ci &= \frac{\sqrt{(f'ci - \bar{f}'c)^2}}{n} = 86.11 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$C = \frac{\sum (f'ci - \bar{f}'c)(NRi - \bar{NR})}{n}$$

$$\int ni = \frac{\sqrt{(NRi - \bar{NR})^2}}{n} = 7.69$$

$$\sum (f'ci - \bar{f}'c) - (NRi - \bar{NR}) = 21997.54$$

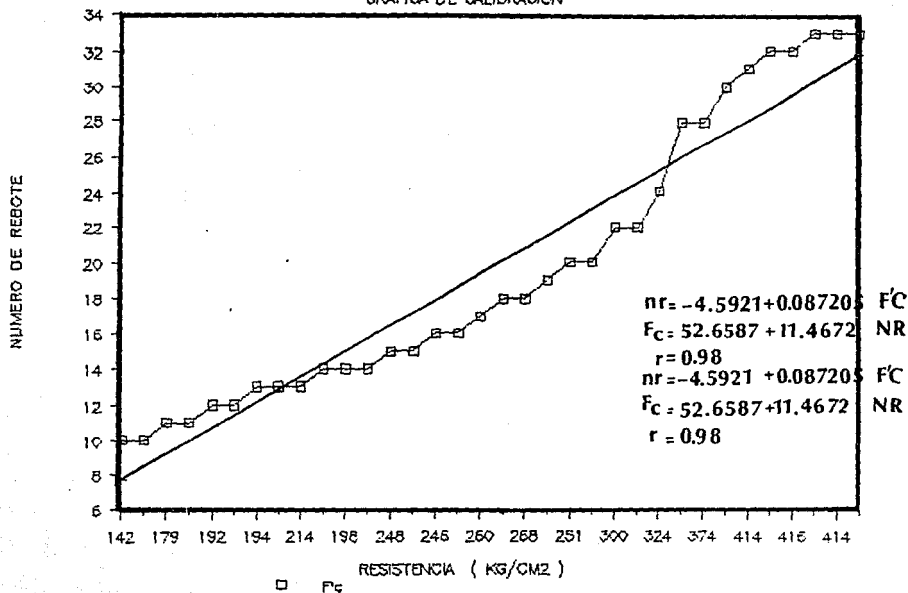
$$r = \frac{C}{(f'ci)(ni)} = \frac{21997.54}{34 (86.11) (7.69)} = 0.98$$

Donde:

- n = número de pruebas
- f'ci = resistencia a la compresión
- f'c = promedio de las resistencias
- NRi = número de rebote
- NR = promedio de los números de rebote
- C = covariancia
- r = coeficiente de correlación

# ESCLEROMETRO

GRAFICA DE CALIBRACION



## 2.2 Pulso Ultrasónico ( V-Meter )

### 2.2.1 Introducción

Entre las pruebas no destructivas se encuentran - el uso del pulso ultrasónico llamado también - - Pundit o V-Meter, el cual hace posible conocer - las características internas de superficies heterogéneas como lo son: la madera y el concreto. Excluyéndose los metales, ya que provocan una serie de irregularidades que afectan a los resultados.

El uso del Pulso-Ultrasónico permite la medición de la velocidad de propagación de ondas elásticas, por lo que su uso se enfocará principalmente al - conocimiento de las características del concreto como lo son: la homogeneidad, la presencia de - grietas, los huecos, cambios en el concreto, debido a ataques de fuego y agentes químicos, así como también la calidad del concreto.

Hacia el año de 1946 y a instancias de la comisión hidroeléctrica de energía de Ontario, Canadá se - desarrollo un método que permitió examinar fisu - ras en estructuras de concreto monolítico, de - estos experimentos surgió el Soniscopio que des - pués se convertiría en el pulso ultrasónico y donu

de la diferencia entre el primero y este último es el rango de frecuencias con el que trabajan.

En las siguientes figuras se dan a conocer los diferentes casos que pueden presentarse durante la evaluación del concreto.

- a). Las ondas sonoras viajan a través de la distancia más corta entre el transductor-receptor.

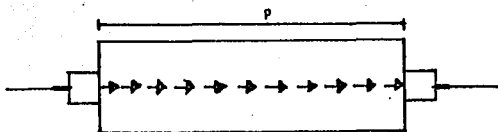


Fig. 8

- b). Las ondas sonoras viajan a través del acero refuerzo antes de hacerlo por el concreto.

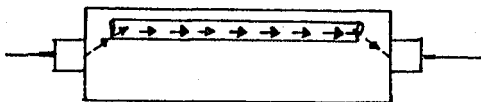


Fig. 9

- c). En caso de una grieta superficial las ondas -  
sonoras viajan alrededor de la grieta.



Fig. 10

- d). En el caso de una grieta estrecha las ondas -  
sonoras son parcialmente o totalmente refle -  
jadas con una gran pérdida de amplitud, incre -  
mentándose sólo el tiempo de transmisión.

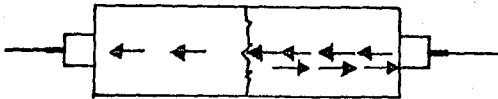


Fig. 11

- e). Grieta ancha, en este caso las ondas sonoras son totalmente reflejadas y no se recibe señal alguna.

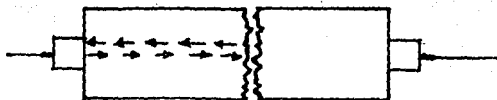


Fig. 12

- f). Cuando se encuentren huecos o micro-fisuraciones las ondas sonoras viajarán a través o alrededor de estas con el consecuente incremento de tiempo en la recepción de estas ondas.

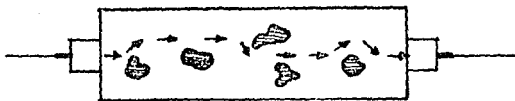
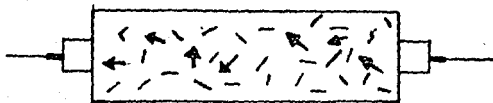


Fig. 13



### 2.2.2. Descripción del equipo

A continuación se señalan las partes principales del equipo y el uso de cada una.

a). Cara frontal.

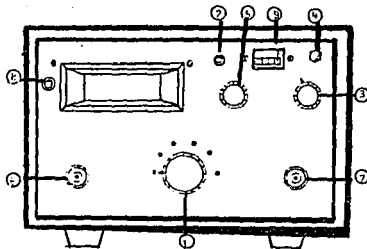


Fig. 14

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 esta funcionando con corriente alterna (AC) o cuando la batería está cargándose.
3. Botón de rango: selecciona 0.1, 1.0 y 10 - microsegundos en la carátula.
4. Botón para indicar las lecturas: activa el circuito de conteo después de que ha seleccionado la fuente de energía.

5. Botón de ajuste con patrón 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 (TRAIN).
8. Foco piloto de verificación de 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.

## b). Cara posterior

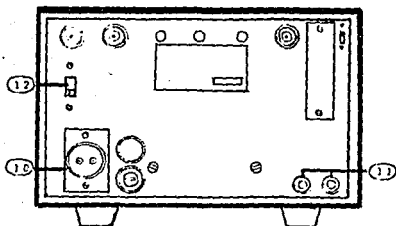


Fig. 15

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

### 2.2.3. Descripción del ensaye.

El circuito generador del pulso ultrasónico consta de dos partes principales. Una unidad central - que genera pulsos eléctricos de alto voltaje - - - (500 voltios-1000 voltios) y dos terminales o transductores de los cuales uno es transmisor y el otro receptor.

El transductor transmisor convierte los pulsos - - eléctricos en impulsos de energía mecánica, que al ser aplicables sobre masa sólida generán tres ti - pos de ondas.

- Ondas longitudinales
- Ondas transversales
- Ondas superficiales

Las ondas que nos interesan son las longitudinales por su forma de transmisión y por ser las más rá - pidas. Estas ondas, que representarán en mayor me dida el estado que guarda el concreto, producen - frecuencias de vibración entre 15 khz y 50 khz, - siendo esta última la más apropiada para el concre to ( veáse la figura No 16 ).

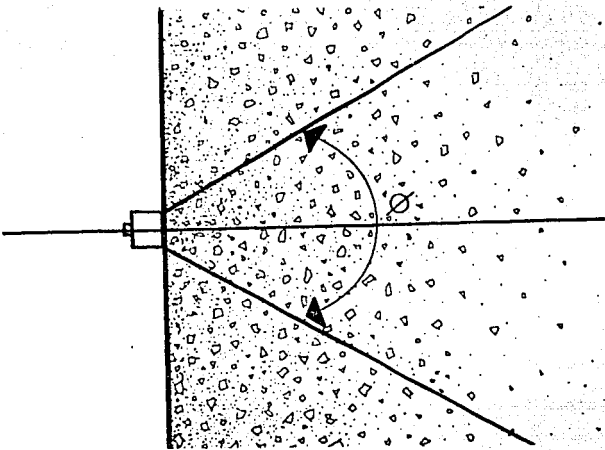


Fig. 16 Dispersión del haz de ultrasonido.

Una vez que la onda se transmite a través del con  
creto, es captada por el transductor receptor, el  
 cual convierte la energía mecánica de la onda en  
 pulso electrónico. Después de recibido, se obten  
drá el tiempo de tránsito de la onda en el concre  
to que, junto con la distancia entre transducto  
res, ayudará a conocer la velocidad de pulso  
 (veáse la figura 16). Esta velocidad se compara  
 con diferentes criterios existentes y es así como  
 se conocerá el estado que guarda el concreto ensa  
yado.

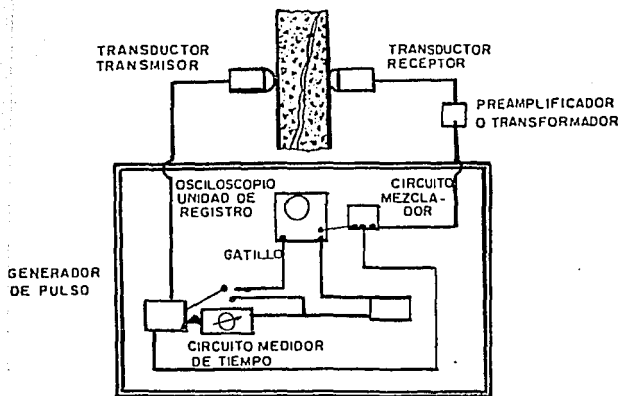


Fig. 17 Disposición general del equipo.

## 2.2.4. Utilización.

### 2.2.4.1. Cómo usar el equipo.

Una vez armado el equipo, ( como se muestra - en la figura 17) lo primero que se tiene que determinar es la fuente de energía con la que se va a utilizar el equipo; el V-Meter puede emplearse con las siguientes fuentes de energía:

- a). Batería interna
- b). Batería externa
- c). Línea de corriente alterna.

Es preferible usar el aparato con la batería interna, pues se puede maniobrar mejor.

### 2.2.4.2. Operación y carga de la batería interna.

Para que el V-Meter opere con esta fuente de energía se gira el botón de selección de fuente de energía en la posición "BAT"; a continuación se oprime el botón indicador de lecturas en posición "ON". Al terminar las lecturas se regresa el botón de selección de fuente de energía a "OFF"; el V-Meter se apagará automáticamente.

Cuando la batería se encuentra totalmente cargada, el aparato trabaja aproximadamente du -

rante 6 horas. Para comprobar el nivel de carga, se observa el indicador de carga de la batería donde se da una aproximación del voltaje de la misma. Cuando la carga es total, la aguja del indicador estará en la zona negra y, a medida que se use el aparato y la carga disminuya la aguja avanzará hacia la zona roja del indicador, reduciendo así el tiempo de operación. El aparato cuenta con un dispositivo que lo desconecta automáticamente, una vez que se llega a un voltaje de 10.5 voltios, ya que no es conveniente que la batería se descargue por completo.

Para cargar la batería, existen tres procedimientos diferentes, que dependen del estado de la misma:

- a). Si se desconoce el tiempo de descarga, se descargará la batería hasta 10.5 voltios, para lo cual se oprime el botón iniciador de lecturas en "ON", con lo que se logra la descarga automática.

A continuación se conecta el aparato por medio del contacto de tres vías a la corriente alterna, se hace girar el botón-seleccionador de fuente de corriente a la posición "CH" y se deja cargar durante 15 horas.



- b). Si se conoce el tiempo de descarga, se procederá a cargar la batería durante 2.5 veces el tiempo de descarga.
- c). Si la batería está totalmente descargada, se hace girar el botón seleccionador de fuente de corriente hasta la posición "TC" y se dejará cargar durante 75 horas.

#### 2.2.4.3 Operación con batería externa.

El aparato puede usarse también con una batería externa de 11 a 13 voltios y 0.3 amperes, esta batería sólo debe usarse en casos de emergencia. Para instalarse se conecta la batería exterior al aparato en el contacto de corriente de 1 mm; la entrada roja es positiva y la negra es negativa. Después se gira el botón de selección de fuente de energía a la posición "EXT" y se oprime el botón iniciador de lecturas a la posición "ON". Al terminar las lecturas, se regresa el botón seleccionador de fuente de energía a la posición "OFF", con ello, el aparato quedará apagado automáticamente.

#### 2.2.4.4. Operación con corriente alterna.

El V-Meter está adaptado para operar con - - -

110-130 voltios y 50-60 hz o 220-240 voltios. Para ello se ensambla en el contacto de 3 - vías el cable de corriente alterna, se gira el botón de selección de fuente de energía a la posición "LINE" o "MAINS". Después se oprime el botón iniciador de lecturas en la posición "ON". Al terminar las lecturas, se regresa el botón seleccionador de fuente de energía a la posición "OFF" para apagar el aparato.

Una vez seleccionada la fuente de energía, se elige la muestra o el elemento que se va a ensayar y se toman tres lecturas como mínimo, anotando el tiempo de tránsito de la onda en el concreto y la distancia entre transductores o terminales; estas distancias no exceden de 400 mm y se recomienda que sean lo más constantes posibles para asegurarse de que las lecturas obtenidas sean uniformes. Para longitudes de trayectoria mayores que 400 mm, se debe utilizar el botón de rango en la posición de 10 microsegundos, y leer así decenas de microsegundos, después se cambia a la posición de 1 microsegundo, y se leen las unidades de microsegundo. El foco O/R indicará cuando se exceda el alcance de la lectura o cuando se pierda la señal.

### 2.2.5. Alternativas de posición de los transductores.

Mientras sea posible deberá utilizarse la transmisión directa, ya que proporciona la máxima sensibilidad y provee una longitud de trayectoria bien definida. Sin embargo, algunas veces tiene que examinarse el concreto mediante el uso de trayectorias diagonales y, en estos casos, los arreglos semidirectos pueden usarse tomando en cuenta que la distancia que se va a medir será en diagonal, aplicando el teorema de Pitágoras. (1).

El arreglo indirecto es el menos satisfactorio, ya que además de su relativa insensibilidad, nos da medidas de la velocidad de pulso que usualmente tienen la influencia de la capa de concreto cercana a la superficie, que no serán representativas del concreto en estratos más profundos. Aún más, la longitud de la trayectoria está menos definida y no resulta satisfactorio el tomarla como la distancia de centro a centro de los transmisores; para corregir esto perfectamente, debe adoptarse el método mostrado en la figura 18 para determinar la velocidad de pulso.

(1) Se suponen trayectorias en línea recta.

Se debe asegurar de que los transductores tengan acoplamiento sobre la superficie del concreto; - esto se logra colocando entre la superficie de concreto y los transductores grasa de silicón, grasa para bomba de agua, grasa para cojinetes o jabón líquido. En superficies muy rugosas se deberá usar jalea de petróleo delgada, aunque se debe tratar de que la superficie del concreto esté lo más lisa posible. Al colocar los transductores sobre la superficie del concreto se debe:

- Procurar no moverlos, ya que se genera ruido y consecuentemente lecturas erróneas.
- Mantener firmes los transductores hasta que la lectura sea definida.

#### 2.2.6. Criterios para la selección de puntos de ensaye.

Antes de aplicar la prueba, es necesario efectuar un reconocimiento visual de los puntos que se van a ensayar, con el fin de determinar la rugosidad de la superficie, la presencia de huecos y fisuras que afectarán nuestra prueba.

Es necesario quitar el acabado de la superficie -- (yeso, cemento, etc.), con el fin de evitar resultados erróneos por la posible separación entre el

acabado y el elemento que se va a ensayar.

Cuando la superficie es rugosa, es necesario pulirla con una piedra de carbón dura, con el fin de evitar que los transductores registren una señal defectuosa.

En la figura 18 se muestran las opciones para instalar los transductores en la superficie de prueba del espécimen. La transmisión puede ser directa, semidirecta e indirecta.

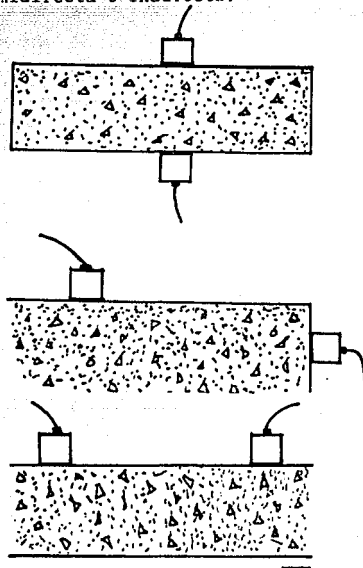
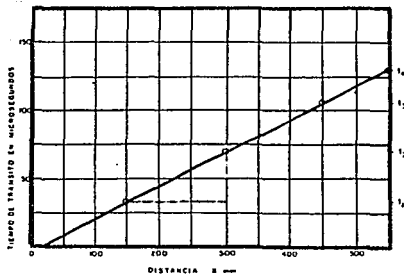
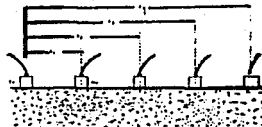


Fig. 18 Alternativas de posición de transductores al tomar una prueba.

2.2.6.1. Método para determinar la distancia de tránsito con arreglo indirecto.



$$\text{Pend} = \frac{t_2 - t_1}{x_2 - x_1}$$

$$V = \frac{1}{\text{Pend}}$$

$$V = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

Fig. 19

En este método, se coloca el transmisor en un punto elegido de la superficie y el receptor sobre puntos sucesivos a lo largo de una misma línea la distancia centro a centro se obtiene directamente para cada punto, con su tiempo de tránsito respectivo. El inverso de la pendiente de la línea recta dibujada entre dos puntos de la gráfica de distancia en contraposición con el tiempo, nos da la velocidad promedio del pulso en la superficie. (Véase la figura 19).

También se ha visto que la velocidad de pulso determinada por el método indirecto es menor que la que se obtiene con el método directo; cuando sea posible efectuar mediciones por varios métodos; se establecerá una relación entre ellos y podrá determinarse el factor de corrección.

Cuando no sea posible usar el método directo, un valor aproximado para obtener la velocidad mediante el método indirecto será:

$$V_D = 1.05 V_I$$

Donde:  $V_D$  = Velocidad de pulso obtenida usando el método directo.

$V_I$  = Velocidad de pulso obtenida mediante método indirecto.

Hay que tomar en cuenta lo siguiente:

Si los datos de la gráfica de distancia en contraposición con el tiempo no están en línea recta (véase la figura 19), es decir, que hay cambios de pendiente, significa que el concreto cercano a la superficie es de calidad variable o que existe una grieta en el concreto en la línea sobre la cual se realiza la prueba. Lo anterior se comprueba cuando la velocidad comienza a bajar; el espesor del estrato afectado se puede calcular como sigue. (véase figura 20)

$$t = \frac{V_d}{V_s} X_o$$

Donde:

$t$  = Espesor de la capa afectada del concreto.

$X_o$  = Distancia en la cual ocurre el cambio de pendiente.

$V_d$  = Velocidad de pulso en concreto dañado.

$V_s$  = Velocidad de pulso en concreto no dañado.

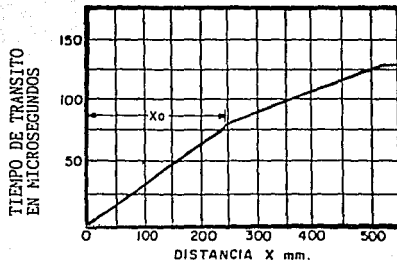


Fig.20 Gráfica de distancia en contraposición con el tiempo.



Las condiciones de prueba influyen en la velocidad de pulso; por lo tanto, debemos tener en cuenta las siguientes observaciones:

- a). La longitud de la trayectoria es insignificante cuando no es menor que 100 mm para un agregado de 20 mm, o no menor que 150 mm para un agregado de 40 mm.
- b). La velocidad de pulso no verá afectada al hacer mediciones en dos dimensiones diferentes del elemento, siempre y cuando no se varíe el ángulo recto entre ellos.
- c). La influencia del refuerzo generalmente es pequeña si las barras se encuentran perpendiculares a la trayectoria del pulso (cabe recordar que la velocidad de pulso será mayor en las barras que en el concreto); la influencia es significativa si las barras están en la dirección de pulso. Las ondas producidas viajarán por la superficie que represente una menor oposición a su recorrido.

En general, hay que evitar aplicar el pulso cerca de las barras de acero, ya que entonces se deberán corregir los resultados con factores de ajuste. Si al aplicar -

el pulso el tiempo de tránsito se incrementa en gran medida, lo mejor es buscar otra parte del elemento y hacer ahí las mediciones, ya que los factores de corrección son sólo aproximaciones.

(Veáse la figura 21).

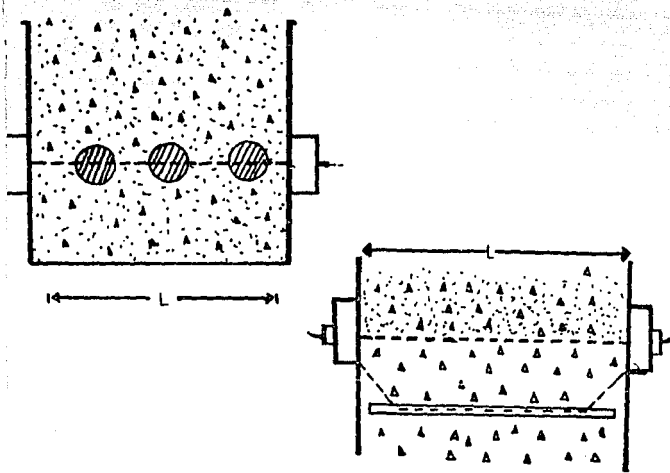


Fig. 21 Influencia del refuerzo en el pulso ultrasónico.

d). La humedad en el concreto puede ser reducida, sin embargo, puede ser significativa su influencia en el pulso ultrasónico. En general, la velocidad se incrementará a medida que aumenta el contenido de humedad, y con ello se pueden obtener un concreto de buena calidad en lugar de un concreto pobre.

Al emplear el pulso ultrasónico, el aspecto más importante que se debe considerar es el número de elementos ensayados, ya que entre mayor sea la muestra se tendrán más elementos de comparación para poder obtener un juicio acerca de la calidad del concreto, la selección de los puntos debe hacerse en forma aleatoria.

Cuando hay una grieta en el concreto, el pulso ultrasónico nos permitirá determinar su profundidad e inclinación. Para obtener la profundidad, las mediciones se harán colocando los transductores uno a cada lado de la grieta a una distancia  $X$ , procurando que sean en la parte más gruesa de la misma. A continuación se repetirá la lectura a doble distancia de la anterior. (Véase la figura 22).

Posteriormente se indicará como interpretar los datos.

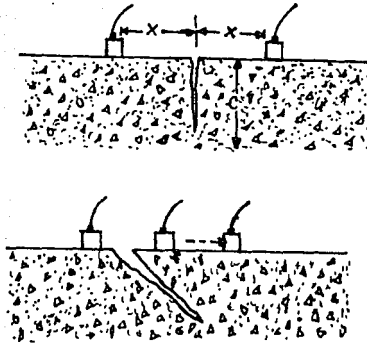


Fig. 22 Toma de lecturas en grietas.

Para determinar la inclinación, se colocan los transductores a los lados de la grieta y después se mueve uno de ellos alejándolo de la grieta. Si al efectuar esta operación la lectura del tiempo de tránsito disminuye, significa que la grieta presenta inclinación hacia ese lado ( véase la figura 22). De no ocurrir lo anterior, pruébese el otro lado.

### 2.2.7. Interpretación de datos.

El resultado que se obtiene de los datos recopilados es la velocidad de pulso en el elemento que se probó, la cual se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\text{Velocidad de pulso (km/seg)} = \frac{\text{distancia entre transductores (cm)} \times 10}{\text{lectura de tiempo (microseg)}}$$

La velocidad se determina para las tres lecturas realizadas a cada elemento y, posteriormente, se obtiene un promedio; esta velocidad de pulso es la más conveniente. Con este dato podremos determinar la calidad del elemento probado, consultando algunos de los criterios de clasificación de calidad que se muestran en la tabla 1.

Para determinar la profundidad de una grieta, se cuentan con dos tiempos  $t_1$  y  $t_2$  por distancias  $X$  y  $2X$ , respectivamente; dicha profundidad se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$C = X \cdot \frac{4 \cdot t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 + t_1^2}$$

Donde:

C = profundidad de la grieta.

X = distancia inicial.

$t_1$  = tiempo de la distancia inicial (X)

$t_2$  = tiempo al doble de la distancia (2X)

Todos los datos y resultados obtenidos se anotan en la tabla de interpretación de datos, la cual tiene el mismo formato de la tabla 2.

Para obtener el módulo de elasticidad dinámico a partir de la velocidad de pulso, se cuenta con las siguientes expresiones:

1. Para especímenes de laboratorio

$$E_d = 1.02 V^2 W X 10^5$$

2. Para losas:

$$E_d = 0.961 V^2 X 10^5$$

3. Para concreto masivo:

$$E_d = 0.866 V^2 W X 10^5$$

Donde:

$E_d$  = módulo dinámico de elasticidad del concreto

V = velocidad de pulso

W = peso volumétrico del concreto



No es fácil estimar la relación que existe entre el pulso ultrasónico y la resistencia del concreto, pues el tipo de agregado, la relación - - - agregado-cemento, la edad del agregado y las condiciones de curado influyen en ella.

El pulso ultrasónico puede emplearse para llevar el control del concreto en una construcción, esto se logra mediante el uso de cilindros de prueba, en ellos se hace mediciones de la velocidad de pulso y resistencia a compresión: con estos datos se hace una gráfica de resistencia en contra posición con la velocidad de pulso (véase la figura 23), que servirá como referencia y así poder hacer ensayos al concreto ya colocado en los elementos estructurales, para lo cual basta con medir la velocidad de pulso en cada elemento y compararla con la gráfica obtenida de antemano con los cilindros de prueba.

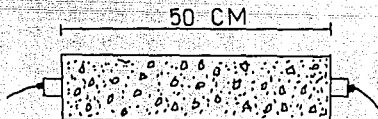


Fig. 23



TABLA 1

Clasificación de la calidad del concreto por medio de la velocidad de onda según Leslie y Cheesman.

Velocidad de la onda longitudinal m/seg.	Condición del concreto
Más de 4570	Excelente
De 3650 a 4570	Buena
De 3050 a 3650	Regular a dudosa
De 2130 a 3050	Pobre
Menos de 2130	Muy pobre

Evaluación de la calidad mediante la velocidad de pulso según Agarwal y otros

Velocidad de pulso m/seg.	Condición del concreto
Más de 3000	Buena
De 2500 a 3000	Regular
Menos de 2500	Pobre

Velocidad mínima de pulso en unas cuantas estructuras típicas

Tipo de obra	Velocidad mínima de pulso para su aceptación: m/seg
Selecciones T de concreto presforzado	4570
Unidades de anclaje de concreto presforzado	4360
Marcos de edificios de concreto presforzado	4110
Losa de entrepiso	4720

## 2.2.8. Calibración y mantenimiento.

### 2.8.1. Proceso de calibración del equipo

Es muy importante que el pulso ultrasónico - esté debidamente calibrado, ya que pueden - tomarse lecturas que afectan en gran medida los resultados.

La calibración se hará de la siguiente manera: el equipo cuenta con una barra de calibración, la cual tiene grabado 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.

### 2.8.2. Cuidados y mantenimiento

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 con-

tacto 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 transportarlos ya que podrían dañarse interiormente.

El cable de enlace 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.

## 2.3. R- Meter

### 2.3.1. Introducción

Con el transcurso de los años se ha incrementado la necesidad de contar con métodos de prueba para determinar las características y condiciones del concreto armado, sin dañar la estructura del mismo; tal es el caso de la detección y el análisis de las condiciones del acero de refuerzo.

La detección se realiza empleando el aparato denominado R Meter o Pachómetro que detecta la colocación, tamaño y profundidad a la que se encuentra el acero de refuerzo dentro de cualquier elemento estructural, mediante la formación de un campo magnético.

### 2.3.2. Descripción del equipo .

El R-Meter es un detector de armado por el que circula una corriente eléctrica, que por medio de un electroimán transforma dicha corriente en un campo magnético, que detecta inmediatamente la presencia de cualquier material magnético externo que interfiera en dicho campo.

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).

Partes integrantes del equipo.

- 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).

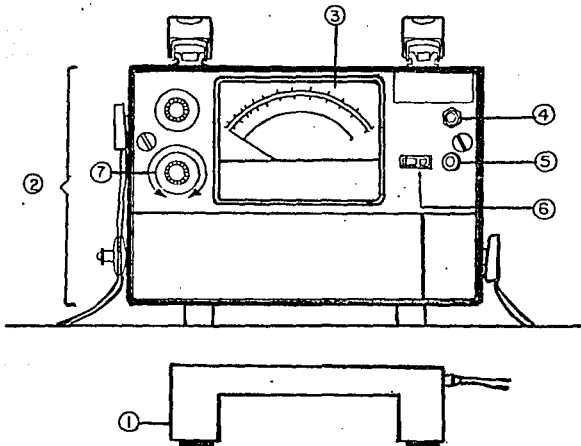


Fig. 24

El aparato está formado básicamente por un cuerpo y un localizador. El cuerpo tiene forma de prisma rectangular y consta de una escala para determinar diámetros de varillas o espesor de recubrimientos, así como también entradas para conectar el localizador, el cable toma corriente, los botones de encendido, calibración y revisión de batería; encontrándose alojada en su interior una batería recargable.

El localizador cuyos extremos están provistos de electroimanes, se conecta al detector.

### 2.3.3. Utilización.

La prueba se realiza una vez que se ha encendido el aparato y se ha ajustado a cero; el localizador se coloca sobre la superficie de concreto y se mueve con el fin de observar las diversas lecturas que presenta la escala para cada posición que adopte.

A continuación se hará una descripción más detallada de como utilizar el equipo.

- 1.- Conectar el cable del localizador en el enchufe del detector.
- 2.- Encender el aparato
- 3.- Verificar la carga de la batería por medio del botón BTY-CHECK. El medidor deberá tener una

lectura por encima del índice BTY OK, de no ser así se debe recargar la batería durante 16 horas aproximadamente, teniendo carga suficiente para operar por espacio de 18 horas.

- 4.- Ajustar a cero el aparato por medio del botón de ajuste, con el fin de evitar lecturas erróneas.
- 5.- Realizar la inspección del acero de refuerzo.

#### 2.3.4. Localización del acero de refuerzo.

El aparato siempre deberá estar ajustado a cero - de tomar cualquier medición.

Cuando se requiera determinar la posición de las varillas de refuerzo o estribos, se debe mover el localizador en dirección perpendicular a la que se supone tiene las varillas, manteniendo el eje del localizador en dirección paralela a ellas.

La aguja de la carátula se moverá hacia la derecha conforme el eje del localizador se acerque al de la varilla, se obtendrá una lectura máxima - cuando la distancia entre la varilla y el localizador sea mínima. Mediante el uso de un marcador se podrá dibujar entonces el eje por el que corre el acero cuando la lectura sea máxima. Fijando los puntos donde se hayan encontrado máximas lecturas en ambos sentidos se podrá determinar la

cuadrícula del armado.

2.3.5. Determinación del recubrimiento o diámetro del acero de refuerzo.

Una vez ajustado el aparato a cero, se permitirá que se establezca la corriente de la batería, de modo que no se produzcan movimientos sobre el eje donde se encuentra el acero de refuerzo previamente marcado y colineal a ella. Cuidando de afinar la posición del localizador para obtener una lectura máxima; la forma como se hacen las lecturas es la siguiente:

- a). Si se conoce el diámetro de la varilla, se empieza con este diámetro en la escala de la derecha, graduada de 10 a 40 mm ( $3/8''$  a  $16/8''$ ), recorriendo las líneas circunferenciales hacia la izquierda, hasta llegar a la aguja. Es en este punto donde se sigue por la línea quebrada hasta llegar a la escala de recubrimientos graduada de 2 a 12 mm X 10; la lectura en esta escala es la distancia entre la parte inferior de los electroimanes y la superficie de la varilla.
- b). Si se conoce el recubrimiento y se desea conocer el diámetro de las barras en la escala de recubrimientos, será siguiendo la línea que -



brada hasta cortar la aguja; en este punto se continúa por las líneas circunferenciales, hacia la derecha hasta llegar a la escala de diámetros de varillas donde se podrá leer dicho diámetro.

Es importante establecer que: si al tomar la lectura de la aguja indica 10 en la escala superior, se puede afirmar que el recubrimiento es despreciable o bien que el localizador está apoyado sobre un material diamagnético.

Si la lectura es menor que 5, entonces el recubrimiento es muy grande ( mayor de 120 mm ) o que el localizador no esta colineal con un material diamagnético.

Es posible determinar también el diámetro y el recubrimiento de las varillas cuando ambos son desconocidos.

Cuando no se conoce ni el diámetro ni el recubrimiento de una varilla en una estructura, estos valores 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 la varilla, apoyando el localizador a diferentes distancias de la superficie del concreto.

Para el localizador a distintas distancias del acero de refuerzo, se debe utilizar láminas de algún metal paramagnético (por ejemplo, aluminio o plástico), de diferentes espesores: 5 - 10, 15 o 20 mm. Con las lecturas obtenidas se hace una tabla en la que aparezca el recubrimiento para cada diámetro y para cada espesor de lámina.

El diámetro con el cual el cambio de recubrimiento es igual al espesor de la lámina usada, será el diámetro de la varilla que se desconocía; una vez conocido este valor se puede determinar el recubrimiento como se explicó anteriormente.

Para ilustrar mejor este procedimiento, se presenta a continuación un ejemplo:

Se desea determinar el diámetro y recubrimiento de una varilla que ya se ha localizado para ello se usara una lámina de 10 mm de espesor y se toman las lecturas primero sin la lámina y después con ella.

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

Como se puede observar al colocar una lámina de 10 mm, el cambio de recubrimiento debe ser de 10 mm, por lo que se puede concluir que el cambio corresponde a las varillas del # 7 por lo que el diámetro de las varillas es de 7/8" y el recubrimiento es de 37 mm. Si se desea tener una precisión al determinar el diámetro y el recubrimiento se deberán efectuar varias mediciones con distintos espesores de la lámina.

#### 2.3.6. Criterios de selección de puntos de prueba.

En virtud de que en la actualidad no existe norma alguna al respecto, se recomienda determinar de manera aleatoria los elementos estructurales que se van a muestrear. Esto significa que los puntos de prueba se elegirán completamente al azar, utilizando, por ejemplo, una tabla de números aleatorios. Si se determinan de esta manera los elementos de prueba, y se trabaja con un 50% de estos, se garantiza tener resultados estadísticamente confiables.

Por lo que se refiere a la aplicación de la prueba, basta con localizar las varillas longitudinales y detectar los armados transversables en las zonas medias y extremas de los elementos. En las zonas extremas, la separación del acero por lo general equivale a la mitad de la separación que hay en el resto del elemento.

### 2.3.7. Interpretación de datos.

#### 2.3.7.1. 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 y otros objetos magnéticos se encuentran cerca, se obtendrá una medición imprecisa del instrumento.

Las curvas I, II y III de la figura 3 ilustran los efectos de las barras paralelas, figura 25 pág. 72.

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 al espesor del recubrimiento de

concreto. En mediciones de rutina no es importante esta distancia. Si la aguja del medidor desciende a uno menos sobre la escala del detector cuando el localizador se encuentra entre dos varillas, puede omitirse su efecto.

Siempre que las varillas estén en paquete, el recubrimiento señalado en la escala es ligeramente menor que el indicado para una varilla (veáanse las curvas II y III). Puede aplicarse un factor de corrección para leer el recubrimiento desde una escala de una varilla de diámetro mayor. A continuación se darán las reglas para esto.

Antes de realizar cualquier medición del recubrimiento de concreto, es necesario localizar cuidadosamente cada barra en el área sometida a prueba. Para determinar los factores de corrección, hay que tomar en cuenta las siguientes reglas:

- a). Aislar cada barra paralela a la superficie del concreto que esté alejada más de 10 cm de la barra más cercana.  
(veáse la figura 26a ).

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 si 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. (véase la figura 26b).
- 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. (véase la figura 26c).

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

#### 2.3.7.2. Efecto de las varillas perpendiculares.

El efecto de las varillas perpendiculares, de las cuales se trata de obtener el diámetro o

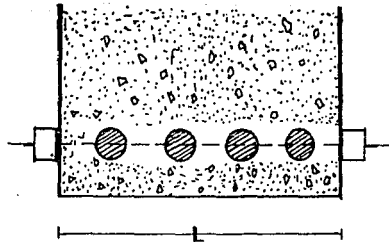
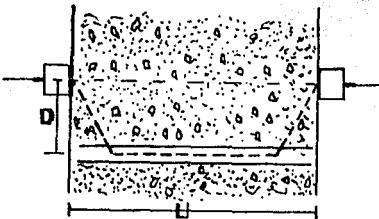
el recubrimiento, es menor que el de las para lelas, y si se toman las debidas precauciones puede despreciarse.

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: (veáse la figura 26d).

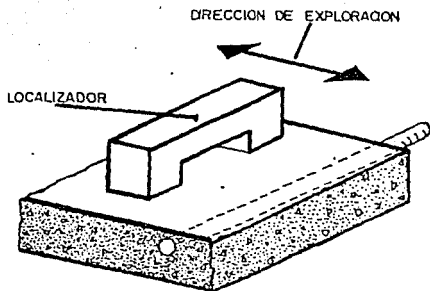
- a). Si la separación entre las varillas perpendiculares en estudio es entre 15 y 35 cm, no se corregirán las lecturas si se hace coincidir el centro del localizador al centro y entre dichas varillas, como se muestra en la figura.
- b). Si la separación entre las varillas perpendiculares en cuestión es mayor que 35 cm, las lecturas no se corregirán si se coloca el localizador al centro y entre dichas varillas, como se muestra en la figura.

- 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 la de interés; es preferible determinar el recubrimiento de las primeras.

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







DETECCION DE ARMADO

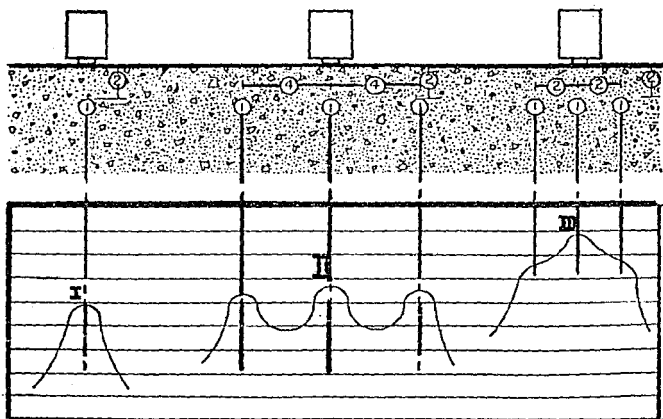


Fig. 25

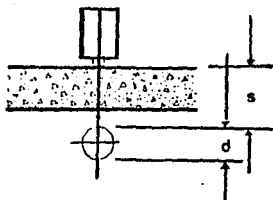


Fig. 26a

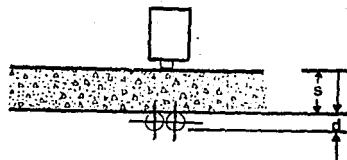


Fig. 26b

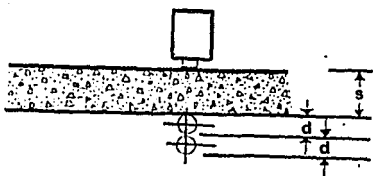


Fig. 26c

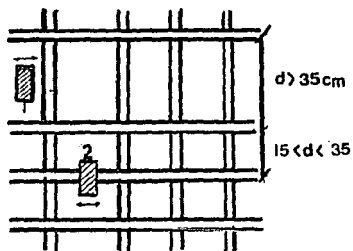


Fig. 26d

Reticula de refuerzo

### 2.3.8. Método Comparativo.

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

El localizador se coloca sobre la varilla de interés hasta la lectura máxima. Se hace una segunda lectura, pero sobre la varilla equivalente en el modelo. Al utilizar láminas de diferentes espesores, se aumenta 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 lectura.

Nota: las láminas deben ser un material no magnético.

### 2.3.9. Corrección por concreto magnético.

Si el concreto está mezclado con materiales diamagnéticos como puzolana, cenizas volantes, etc., el detector indicará una lectura determinada aún cuando el localizador se coloque sobre el concreto simple, cuando 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:

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

$$L = L_i - L_1$$

El detector de armado proporciona resultados satisfactorios si los elementos estructurales están ligeramente 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 recubri -

miento de concreto y el diámetro del acero de refuerzo, debido a que el efecto del refuerzo secundario no puede ser eliminado.

Además, si la distancia entre las varillas es menor que 2 ó 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.

### 2.3.10. Calibración y mantenimiento.

#### 2.3.101. Proceso de calibración 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 encuentra 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 del transversal, el diámetro de las varillas y el espesor de los recubrimientos.

Si el aparato se encuentra correctamente calibrado, al colocar el localizador en 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 el caso contrario deberá solicitarse la ayuda de un técnico calificado para llevar a cabo la revisión y la reparación del aparato.

#### 2.3.10.2. Cuidado y mantenimiento.

El detector de armado requiere un mantenimiento adecuado como, limpiar periódicamente y ajustar a cero la aguja de la carátula esto se explica a continuación:

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

### 2.3.11. Ventajas y desventajas

El R-Meter es un instrumento de alta precisión, mediante el cual es posible realizar con gran exactitud la detección del armado de cualquier elemento estructural.

Con el R-Meter es posible determinar el diámetro de las varillas y el recubrimiento de concreto, pero presenta una limitación. Esto es, en el caso en que las varillas se encuentran muy cercanas entre si, no es posible obtener resultados exactos, como ya se explicó con anterioridad.

#### 2.4. Resultados obtenidos.

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos al aplicarse el V-Meter; el R-Meter y el Esclerómetro sobre la estructura en estudio.

La aplicación de pruebas se realizó aleatoriamente tratando de abarcar la mayor parte de la estructura.

##### 2.4.1. Resistencia (Esclerómetro)

Los resultados de la resistencia del concreto fueron obtenidos con el Esclerómetro. Las pruebas se dividieron en 3 grupos ya que son diferentes concretos los colocados en la estructura como se muestra en la tabla; así mismo, se presenta un resumen de la misma en donde se puede observar que la resistencia media esta dentro de los rangos aceptables.

Las gráficas tienen como fin demostrar o corroborar los datos así obtenidos.

##### 2.4.2. Calidad (V-Meter)

La calidad del concreto fue obtenida a partir de las pruebas realizadas con el V-Meter o Pulso Ultrasonico; el muestreo se realizo de una manera aleatoria y en diferentes niveles de los 3 cuerpos que



forman la estructura, esto con el fin de tener un panorama más amplio del estado que guarda la misma.

Como se puede ver en los resultados, la calidad pre dominante es la regular ya que las velocidades obtenidas así lo muestran.

## ESCLEROMETRO

## RESULTADOS

PRUEBA #	RESISTENCIA	NIVEL	NIVEL	LD98
		1-4 RNE= 0	5-14 RNE= 0	RNE= -90
		280 KG/CM2	210 KG/CM2	1210 KG/CM2
1		364		
2		359		
3		370		
4		367		
5			310	
6			320	
7			319	
8			317	
9			337	
10			333	
11			339	
12			336	
13			243	
14			248	
15			249	
16			254	
17		378		
18		370		
19		373		
20		364		
21			258	
22			267	
23			242	
24			249	
25			265	
26			263	
27			261	
28			263	
29			265	
30			270	
31			249	
32			263	
33			269	
34			271	
35		368		
36		362		
37		364		
38		369		
39		370		
40		368		
41			275	
42			270	
43			298	
44			287	

## EBCLEROMETRO

## RESULTADOS

RESISTENCIA	NIVEL 1-4 ANG= 0	NIVEL 5-14 ANG= 0	LOSAS ANG= -90
PRUEBA #	280 KG/CM2	210 KG/CM2	1210 KG/CM2
45	370		
46	371		
47	370		
48	372		
49		289	
50		286	
51		304	
52		301	
53		292	
54		291	
55		289	
56		290	
57		290	
58		289	
59		288	
60		290	
61	378		
62	367		
63	367		
64	369		
65	378		
66	378		
67	367		
68	367		
69	367		
70	367		
71	365		
72	367		
73	287		
74	289		
75	241		
76	240		
77	370		
78	367		
79	378		
80	378		
81			179
82			221
83			212
84			212
85			213
86			230
87			221
88			170
89			221

## ESCLEROMETRO

## RESULTADOS

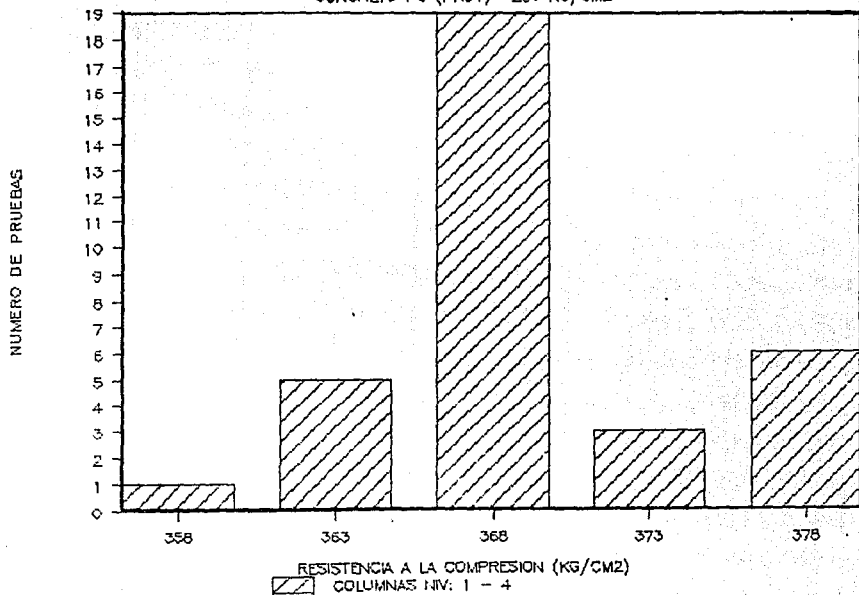
RESISTENCIA	NIVEL 1-4 FMS= 0	NIVEL 5-14 FMS= 0	LOGS FMS= -90
PRUEBA #	280 KG/CM2	210 KG/CM2	1210 KG/CM2
90			204
91			214
92			243
93			232
94			221
95			221
96			241
97			240
98			
99			
100			
TOTALES	13,616.00	11,889.00	3,695.00
NUM DE MUESTRAS	38.00	42.00	17.00
PROMEDIO (Kg/cm2)	358.16	283.07	217.35
LECTURA MAXIMA (Kg/cm2)	378.00	339.00	243.00
LECTURA MIN. (Kg/cm2)	240.00	242.00	170.00

ESCLEROMETRO  
 TABLA DE FRECUENCIAS

COLUMNAS NIV 1 AL 4									
1280 KG/CM2	288	358	363	368	373	378			
	2	1	5	19	3	6			
COLUMNAS NIV 5 AL 14									
210 KG/CM2	250.5	270.5	290.5	310.5	330.5	350.5	370.5		
	8	12	12	6	4				
LOS 6									
1210 KG/CM2	175.5	185.5	195.5	205.5	215.5	225.5	235.5	245.5	
	2			1	4	6	2	2	

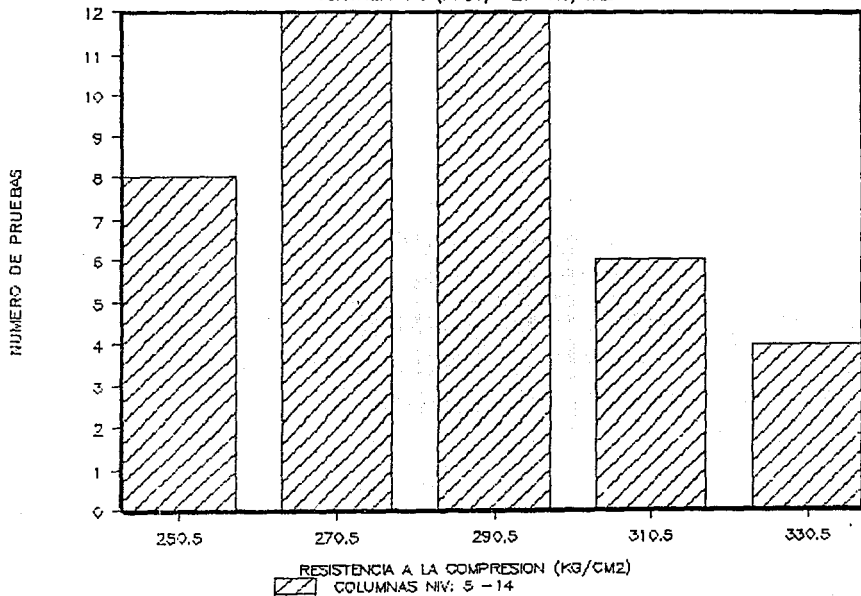
# ESCLEROMETRO

CONCRETO  $F_c$  (PROY) = 280 KG/CM<sup>2</sup>



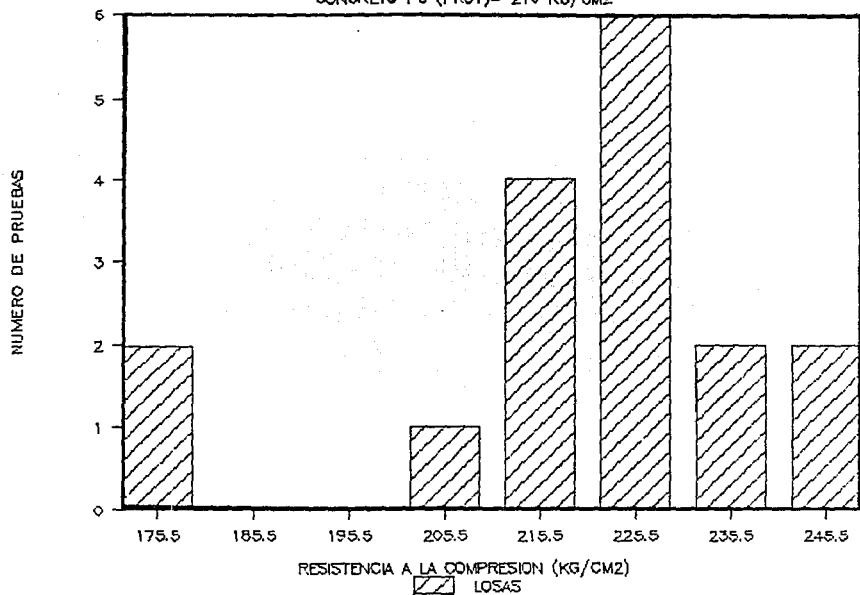
# ESCLEROMETRO

CONCRETO  $F_c$  (PROY) = 210 KG/CM<sup>2</sup>



# ESCLEROMETRO

CONCRETO  $F_c$  (PROY) = 210 KG/CM<sup>2</sup>





## RESULTADOS

EDAD APROXIMADA 25 AÑOS

NIVEL	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	DISTANCIA	VELOCIDAD	CALIDAD
	1	2	PROMEDIO			
	msec	msec	msec			
			mm	Km/seg		
P. B.	103.80	101.10	102.45	31.00	3.03	BUENA
	492.00	663.00	577.50	71.00	1.23	POBRE
	99.10	75.00	87.05	31.00	3.56	BUENA
	305.00	273.00	289.00	71.00	2.46	POBRE
	100.60	105.80	103.20	34.40	3.33	BUENA
	292.20	285.50	288.85	71.00	2.46	POBRE
	147.50	195.20	171.35	31.00	1.81	POBRE
	104.90	113.00	108.95	31.00	2.85	REGULAR
	289.50	274.70	282.10	71.00	2.52	REGULAR
	283.00	292.00	287.50	71.00	2.47	REGULAR
	104.90	101.10	103.00	31.00	3.01	BUENA
	341.00	328.00	334.50	71.00	2.12	REGULAR
	173.00	116.40	144.70	31.00	2.14	REGULAR
113.30	134.20	123.75	31.00	2.51	REGULAR	
2 NIV.	163.80	142.00	152.90	21.21	1.39	POBRE
	191.40	200.30	195.85	37.00	1.89	POBRE
	106.60	104.40	105.50	31.00	2.94	REGULAR
	319.00	266.00	292.50	71.00	2.43	REGULAR
	351.30	726.30	538.80	67.00	1.24	POBRE
	34.00	38.00	36.00	7.62	2.12	REGULAR
	113.80	114.00	113.90	31.00	2.72	REGULAR
	129.80	126.30	128.05	35.00	2.73	REGULAR
	103.20	100.00	101.60	30.00	2.95	REGULAR
	143.00	137.10	140.05	35.00	2.50	REGULAR
	112.80	107.30	110.05	30.00	2.73	REGULAR
	141.60	136.60	139.10	35.00	2.52	REGULAR
	115.50	111.60	113.55	30.00	2.64	REGULAR
	111.60	99.60	105.60	30.00	2.84	REGULAR
	119.30	116.00	117.65	32.00	2.72	REGULAR
3 NIV.	106.60	104.40	105.50	31.00	2.94	REGULAR
	319.00	266.00	292.50	71.00	2.43	REGULAR
6 NIV.	109.60	109.40	109.50	31.00	2.83	REGULAR
	197.40	200.20	198.80	31.00	1.56	POBRE
9 NIV.	115.80	115.20	115.50	31.00	2.68	REGULAR
	158.80	171.70	165.25	71.00	4.30	BUENA
	108.80	99.60	104.20	30.00	2.88	REGULAR
	305.00	290.00	347.50	41.00	1.18	POBRE
	113.00	103.00	108.00	30.00	2.75	REGULAR

## PULSO ULTRASONICO

781

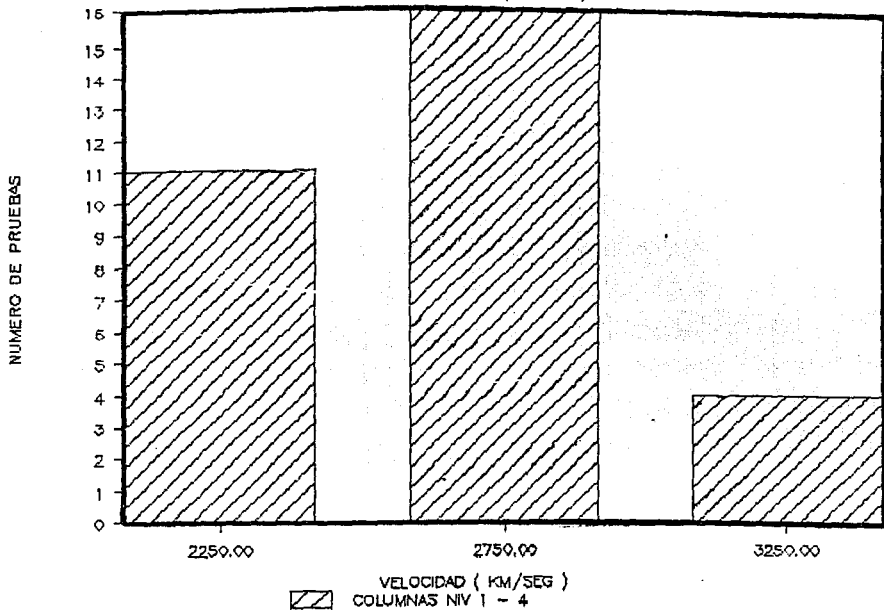
## RESULTADOS

EDAD APROXIMADA 25 AÑOS

NIVEL	TIEMPO	TIEMPO	TIEMPO	DISTANCIA	VELOCIDAD	CALIDAD
	1	2	PROMEDIO			
	msec	msec	msec	m	Km/seg	
12 NIV.	78.10	77.60	77.85	22.00	2.83	REGULAR
	106.00	120.00	113.00	37.50	3.32	BUENA
	104.00	102.00	103.00	30.00	2.91	REGULAR
	249.00	242.30	245.65	78.00	3.18	BUENA

# PULSO ULTRASONICO

CONCRETO  $f_c = (\text{PROY}) 280 \text{ KG/CM}^2$



#### 2.4.3. Recubrimiento y disposición del acero.

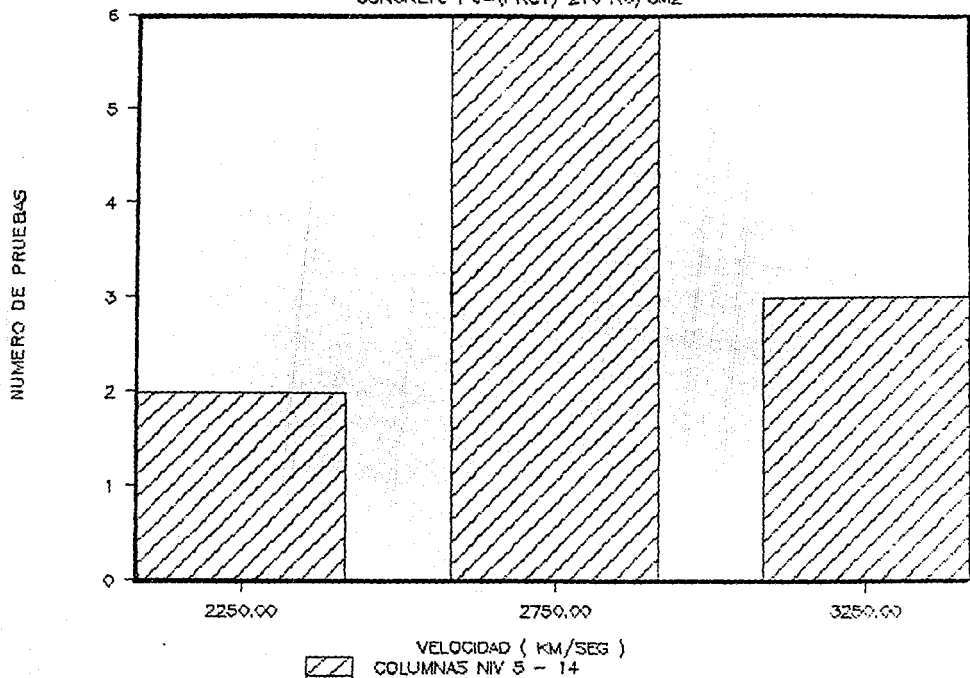
En las pruebas realizadas se encontró que la disposición del acero, en la mayoría de los casos, correspondía con el plano estructural.

El recubrimiento presentaba ligeras variaciones, las cuales no fueron muy significativas para los estudios realizados.

En general, se puede considerar que tanto el recubrimiento como el armado eran los correctos.

# PULSO ULTRASONICO

CONCRETO  $f_c = (PRDT) 210 \text{ KG/CM}^2$



D). Pruebas destructivas.

3.1. Introducción.

El concreto es una composición de materiales pétreos, cemento y agua, que durante su proceso de endurecimiento se puede ver afectado por factores tales como: el clima, los agregados, la dosificación, la calidad del agua, la utilización y el proceso de curado, entre otros.

Cuando se tiene duda sobre la calidad del concreto en algún elemento, se pueden realizar una serie de pruebas, sin necesidad de destruirlo totalmente, entre ese tipo de pruebas se encuentra la de extracción y ensaye de núcleos de concreto, la cual determina las propiedades y resistencia del mismo.

3.2. Objetivos.

Obtención de núcleos de concreto, con determinadas características, sirve para someterlo a diversas pruebas y así conocer las diferentes propiedades del concreto tales como:

- a). Resistencia
- b). Módulos de elasticidad
- c). Peso volumétrico
- d). Composición petrográfica
- e). Composición química

### 3.3. Extractora de núcleos de concreto.

#### 3.3.1. Descripción del equipo

El equipo es un conjunto de elementos cuyo fin es efectuar cortes en el concreto, como se muestra en la figura 27 y consta de:

- 1.- Motor
- 2.- Soporte
- 3.- Eje del taladro
- 4.- Caja de engranaje
- 5.- Base
- 6.- Poste principal
- 7.- Seguro de ruedas
- 8.- Ruedas
- 9.- Mariposa
- 10.- Tornillos
- 11.- Manivela de avance
- 12.- Broca

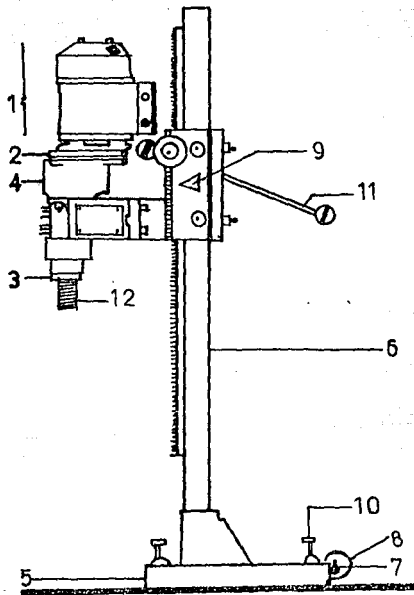


Fig. 27



### 3.3.2. Descripción de la prueba

La extracción de núcleos de concreto es la primera parte del total de la prueba; consiste en obtener un cilindro con las siguientes características:

El espécimen deberá tener un diámetro, de preferencia, de tres veces el tamaño máximo del agregado utilizado en la fabricación del concreto en estudio y cuando menos de dos veces el tamaño máximo de dicho agregado; deberá obtenerse en su superficies planas o con una tolerancia máxima del 5% de pendiente.

Cuando se ha extraído el espécimen se debe cortar en cada extremo por lo menos 1 cm, una vez hechos los cortes, el espécimen debe tener una relación altura/diámetro igual a 2 ( $A/D = 2$ ), como máximo, e igual a 1, ( $A/D = 1$ ), como mínimo.

Los núcleos obtenidos en estructuras con un ambiente superficial seco, deberán permanecer durante siete días a  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ; cuando las condiciones de servicio del concreto sean de humedad constante, se curará durante 48 horas en agua de cal.

### 3.4. Normas.

La extracción y ensayo de núcleos de concreto se basa en las siguientes normas:

- ASTM C-42      Obtención y prueba de concreto y vigas de concreto.
- ASTM C-39      Prueba de cilindros de concreto a compresión.
- ASTM C-192     Prueba y curado de espécimenes de concreto de laboratorio.
- ASTM C-167     Cabeceo de cilindros de concreto.
- NOM C-169-1978 Obtención y prueba de núcleos y vigas - extraídos de concretos endurecidos.

### 3.5. Utilización

#### 3.5.1. Cómo usar el equipo.

- a). Se elige el lugar de la extracción del núcleo de concreto.
- b). Se lleva la caja del equipo al punto seleccionado y se desempaca cada una de las partes, cuidando de no golpearlas entre si.
- c). Se coloca la base (5) en el piso y se atornilla el poste principal.
- d). Se fija la mariposa (9) para ajustar el soporte del motor (1) con el riel de movimiento.
- e). Se coloca la manivela de avance (11).

- f). Se introduce el soporte del motor (2) en el riel del poste principal (6) y se fija con la mariposa de seguridad (9).
- g). Se fijan los tornillos (10) de la base, para evitar movimientos de la máquina al encender el motor.
- h). Se nivela con los mismos tornillos (10).
- i). Se atornilla la broca (12) con la llave de tuercas.
- j). Se conectan las mangueras a una fuente de agua y se revisa que la presión sea la necesaria.
- k). Se verifica que el interruptor de encendido esté en posición OFF.
- l). Se conecta el cable de corriente a una fuente de energía, teniendo cuidado de que el voltaje y el ciclaje correspondan a los del motor.
- m). Se mueve la manivela de avance hasta que la broca quede a un centímetro del sitio de corte.
- n). Se enciende el motor y se verifica que no exista movimiento propio de la máquina ya armada y lista para cortar.
- o). Se debe asegurar que al encender la máquina el agua fluya por la broca.

- p). Se enciende el motor y se mueve despacio la manivela hasta tocar el plano de corte.
- q). Se le imprime un poco más de movimiento a la manivela para efectuar el corte del núcleo, considerando que debe efectuarse en forma lenta para no dañar el núcleo que se va a extraer ni dañar la broca.
- r). Se saca la broca sin apagar el motor, cuidando de no apagar el motor, cuando se llega a una profundidad de 15 cm, cuidando de no repetir cabeceo.
- s). Se mueve el núcleo por varios lados de la ranura de corte, con la ménsula para extraer los cilindros, hasta que se rompa del extremo final del corte.
- t). Se extrae el núcleo cuidadosamente y se coloca en un lugar fresco hasta su transportación al laboratorio para cortes y ensaye.

### 3.5.2. Criterios de selección de puntos de ensaye y obtención de núcleos de concreto.

Los puntos de donde se extraerá el núcleo de concreto dependen de que se cuente con:

- a). Profundidad suficiente para garantizar dos veces el diámetro utilizado para el corte, después de cortar el cilindro para ensaye.

- b). Espacio para extracción libre de obstáculos, como acero de refuerzo o instalaciones ahogadas.
- c). Concreto con más de 14 días de colada la mezcla.
- d). Ancho suficiente para obtención de un cilindro, en corte rectangular.
- e). Selección centrada, lejos del acero de refuerzo.
- f). Obtención en forma perpendicular al plano de extracción.
- g). Firmeza de la sección la cual deberá estar libre de deformaciones elásticas del elemento que se va a muestrear.

Una vez obtenido el núcleo, se deben considerar los siguientes aspectos:

- a). Las bases deben ser planas y prácticamente lisas, no mayores del 5% de pendiente.
- b). Las bases deben prepararse con una tolerancia no mayor de 1 mm del promedio de la suma de alturas y diámetros.
- c). Las bases deben prepararse con una tolerancia no mayor de 1 mm del promedio de la suma de alturas y diámetros.

Como se mencionó anteriormente, para ensayar los núcleos de concreto, se debe tener presente que existe un efecto de la relación altura-diámetro sobre el valor de la resistencia en el momento de efectuar el ensaye. Los cilindros deben tener una relación de dos veces la altura sobre el diámetro del núcleo extraído, pero en ocasiones esto no se lleva a cabo. El diámetro depende de la broca y de las dimensiones del elemento estructural que se va a analizar. Si se obtiene un núcleo mas largo, el problema se soluciona al recortar el núcleo con la relación 2/1, pero si el corte produce un núcleo menor, se deberá considerar la siguiente relación de factores de corrección.

Relación altura/diámetro	Factor de corrección de la resistencia.
2.0	1.0
1.75	0.99
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

Estos valores corresponden a coeficientes de corrección que deberán aplicarse a las resistencias obtenidas de los cilindros extraídos cuyas dimensiones de relaciones altura/diámetro sean menores a una relación igual a dos. Ver figura (28).

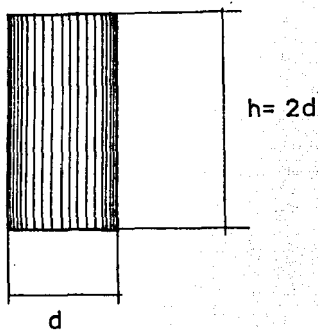


Figura 28 Cilindro de prueba

Donde:  $d$  = diámetro

$h$  = altura

Relación  $\frac{h}{d} = 2$   
Optima

### 3.6. Registro de datos.

El registro de datos se presentará en un informe que contenga lo siguiente:

- a). Número de identificación, localización y orientación de la perforación.
- b). Características del concreto que se va a examinar.
- c). Diámetro promedio del espécimen.
- d). Longitud del espécimen antes y después del cabeceo.
- e). Resistencia a la compresión, con aproximación de  $1 \text{ kg/cm}^2$ .
- f). Observación con respecto al tipo de falla, tamaño máximo de agregados huecos o cualquier defecto en el espécimen.
- g). Condiciones de curado y humedad aplicada al elemento.
- h). Obra en estudio.
- i). Máquina utilizada.
- j). Fecha de extracción.
- k). Revisor.
- l). Autorización.





### 3.7. Interpretación de datos.

La obtención de núcleos debe ser totalmente aleatoria al analizar la resistencia de cada proyecto, por lo que se recomienda efectuar por lo menos tres extracciones de núcleos de concreto cada  $40 \text{ m}^3$  colocados, considerando para el mismo volumen una cantidad máxima de cinco extracciones, o cada  $450 \text{ m}^2$  de superficie que se va a muestrear. Se debe tomar en cuenta que el mínimo permisible de muestras debe ser de tres.

Se pueden considerar los valores obtenidos reales, si el 91% de los resultados son similares en los ensayos de los núcleos obtenidos y si la prueba se realizó conforme a las normas.

El concreto analizado de la zona de extracción de núcleos se considera estructuralmente aceptable, si el promedio de, cuando menos, tres cilindros probados, representa el 85% del valor esperado de la resistencia y ningún ensayo tiene menos del 75% del mismo valor esperado.

Para analizar los resultados se recomienda utilizar las herramientas que proporciona el cálculo estadístico, con el fin de hacer una comparación con valores de cilindros de prueba obtenidos en el momento del colado.

### 3.8. Ventajas y desventajas.

Los valores obtenidos con este método corresponden a valores recomendables, siempre y cuando se sigan las normas acreditadas para la extracción y ensaye de núcleos de concreto, con lo que se asegura una uniformidad en las pruebas que se van a realizar, gracias a lo cual se obtienen datos que se pueden comparar con los de cualquier otro ensaye que se quisiera efectuar para continuar con los mismos estudios.

#### 3.8.1. Calibración y mantenimiento

Para este tipo de equipo en particular, no hay calibración, aunque se recomienda verificar cada una de las piezas, en especial la broca, para garantizar que la obtención de los núcleos se haga de acuerdo con las normas.

El equipo se debe conservar limpio y engrasado; las brocas deben revisarse después de cada extracción para asegurarse de que no hayan sufrido algún deterioro que pudiera perjudicar la siguiente extracción.

Deberá limpiarse cuidadosamente cada pieza del equipo para verificar oxidación y mantener en buen funcionamiento las perillas de ajuste.

Se deberá considerar la fuente de energía empleada para la conexión del rotor; las variaciones pueden provocar cabeceo en la broca, lo cual podría romperla y obtener núcleos mal cortados.

### 3.9. Extensómetros eléctricos.

(STRAIN - GAGES)

#### 3.9.1. Introducción.

En 1678 el inglés Robert Hooke enunció la Ley que relaciona las tensiones y deformaciones en materiales sometidos a sollicitaciones mecánicas; siglos después en 1856 Lord Kelvin descubre las variaciones que en su resistencia sufre un conductor eléctrico cuando se modifica su geometría, por lo que, si se unen estos dos descubrimientos, se llegará al principio de los extensómetros eléctricos. Los extensómetros eléctricos son dispositivos que miden directamente las deformaciones que sufren los cuerpos bajo la acción de determinadas sollicitaciones.

#### 3.9.2. Descripción del equipo.

Una banda extensométrica en su forma más elemental está constituida con un hilo metálico muy fino en

forma de parrilla, ésta última se encuentra montada sobre un soporte de tal manera que la mayor parte de su longitud sea paralela a una dirección fija como se muestra en la figura.

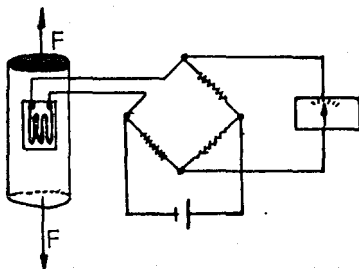


Fig. 30

### 3.9.3. Principios de la extensometría.

Lord Kelvin estableció la relación entre la deformación de un filamento y su resistencia eléctrica, cuando esta última es sometida a un esfuerzo, es decir, al presentarse la deformación del filamento ocurre un cambio también en su resistencia eléctrica.

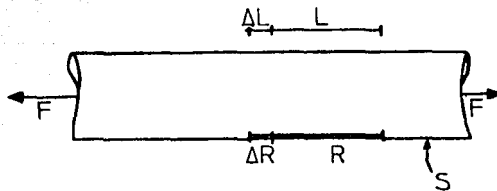


Fig. 31

Donde:     R   - Resistencia eléctrica  
           L   - Longitud  
           S   - Sección longitudinal  
            $\Delta L$  - Incremento de longitud  
            $\Delta R$  - Incremento de resistencia

Por lo que:

$$E = \frac{\Delta L}{L} = \text{Deformación unitaria.}$$

En la figura (31) se puede observar como el hilo o filamento sufre una deformación o alargamiento, la longitud L aumenta, la Sección S disminuye y - por consiguiente la resistencia varía.

Por lo tanto, el principio básico de la resistencia de un conductor eléctrico varía si se somete a tensiones mecánicas.

La aplicación de la prueba consistía en conocer - las deformaciones de una estructura según una dirección. Al pegarse el extensómetro con los hilos paralelos a dicha dirección y al deformarse, se - producirán variaciones en su resistencia; por lo - que, disponiendo de instrumentos capaces de medir estas pequeñas variaciones con respecto de la for - ma original del extensómetro, se podrá conocer -

las deformaciones mecánicas de la estructura a la que fue pegada.

Con el transcurso de los años se comenzó a popularizarse el uso de las bandas extensométricas, las cuales eran fabricadas con soportes de papel y conductores de sección circular como se muestra en la figura (32).

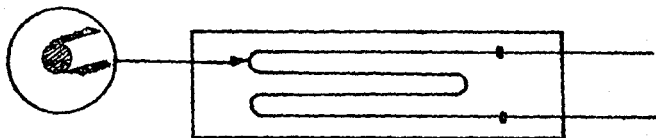


Fig. 32

Los inconvenientes que presentaba este tipo de banda era la higrosidad del papel, (adquisición de agua), que hace perder el aislamiento de la banda y el elevado factor de sensibilidad transversal en las partes curvas del conductor; con el tiempo se trató de corregir estos defectos; dándole diversas formas a la banda como se muestra en la figura 33.

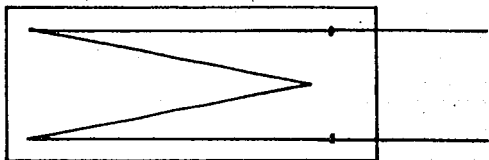


Fig. 33

En la actualidad una banda de calidad se fabrica sobre soportes de resinas epóxicas y mediante el procedimiento de fotograbado se consiguen formas y dimensiones imposibles de lograr por los métodos clásicos ( figura 34), ya que los modelos pueden hacerse a escalas muy aumentadas, constituyendo éstas las llamadas bandas de trama pelicular - o film metálico.

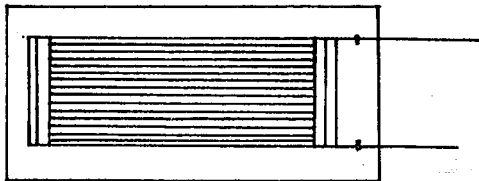


Fig. 34



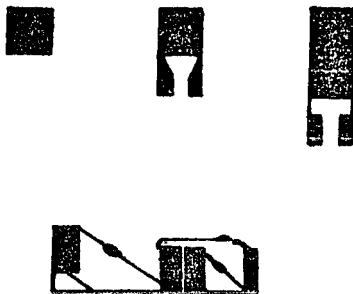


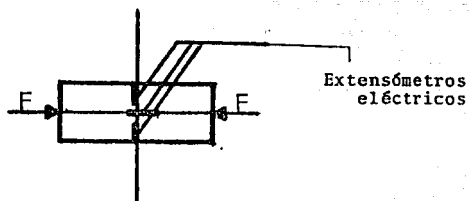
Fig. 35

Como nota adicional se deberá considerar que toda lectura obtenida será corregida por efecto de temperatura .

### 3.9.4. Pruebas con extensómetros.

Los sitios más comunes para probar diferentes elementos estructurales son:

Es una columna sujeta a compresión:



Fig, 36

En una barra sujeta a torsión.

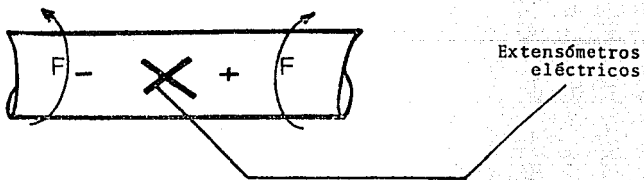


Fig. 37

Existen diferentes tipos de conexión de extensómetros, dependiendo del elemento o prueba que se requiera realizar, las diferentes conexiones son:

a). Conexión en cuarto de puente:

En este tipo se utilizarán 2 alambres así como un tercer alambre como compensador:

Alambres (1) y (2)

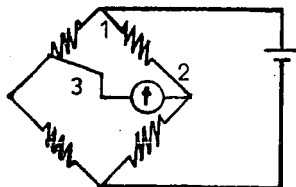


Fig. 38

b). Conexión en medio puente.

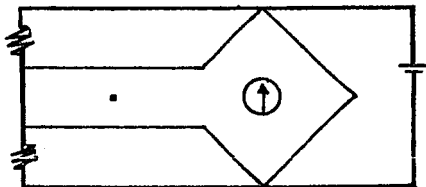


Fig. 39

c). Identificación de los extensómetros eléctricos.

Para ilustrar como se clasifican un extensómetro eléctrico se tomará el siguiente ejemplo:

EA - 13 - 250 - BG - 120 - S

Donde:

E = Base

Serie

A = Tipo de material del extensómetro

(estas 2 primeras letras dan la serie del extensómetro).

13 = Tipo de material del espécimen a probar

250 = Longitud efectiva del extensómetro (mm)

BG = Configuración geométrica

120 = Resistencia en ohms del extensómetro

S = Tipo de terminales (sean soldaduras, alambres, etc).

### 3.9.5. Colocación de bandas extensométricas.

Preparación de la superficie de prueba.

La correcta colocación y unión entre la banda extensométrica y la superficie de prueba será determinante para la obtención de resultados.

Toda superficie que reciba una banda extensométrica se someterá a diversos tratamientos mecánicos y químicos con el fin de conseguir un mayor rendimiento adhesivo sin que estos modifiquen sus características.

Se buscará que las dimensiones de la superficie de prueba sean por lo menos el doble de la superficie total de la banda.

Los pasos a seguir en la limpieza de toda superficie a probar son:

- a). Desengrasar la superficie
- b). En el caso del concreto será necesario impermeabilizar la zona de asentamiento de la banda dando después una capa previa de adhesivo.

### 3.9.6. Colocación de ejes de referencia.

Una mala alineación de los ejes de la banda producirán errores, que están en tensión de la relación entre las deformaciones máximas y mínimas en la dirección que se desea medir; existiendo los errores propios del montaje.

Para marcar los ejes, estos nunca se deberán grabarse en el material, es decir, hacer incisiones en el mismo que puedan alterar su estructura.

Se procurará entonces buscar referencias en los límites de la zona utilizando: compás, escuadras e incluso trazadores ópticos; de no ser posible se trazaran los ejes a lápiz y después pasar un poco de ácido sobre los trazos, una vez hecho esto, se aplicará neutralizador y de esta forma no se habrá alterado de ninguna manera la superficie a probar.

### 3.9.7. Pegado de extensómetros.

Es necesario tomar en cuenta que el tipo de adhesivo utilizado para pegar las bandas deberá reunir las siguientes características:

- a). Permitir su aplicación en películas para no introducir errores por distanciamiento de la rejilla a la superficie.
- b). Ser neutro a la superficie y al soporte de las bandas.
- c). Transmitir los esfuerzos a la banda sin fenómenos de fluencia.
- d). De fácil aplicación.
- e). Utilizable en condiciones ambientales cambiantes.

Como es lógico suponer no es fácil encontrar un adhesivo que reúna todas estas características, pero si será más fácil encontrar uno con caracte -

ísticas determinadas para cada tipo de prueba.

### 3.9.8. Soldadura de cables.

La soldadura de las bandas a los hilos de unión de los instrumentos de lectura requieren de un proceso especial para su colocación; ya que la composición de los distintos tipos de soldadura que puede ser plomo con estaño, plata o antimónio; que llevan o no una resina, proporcionarán determinadas características como lo son:

Conductividad eléctrica

Comportamiento a sollicitaciones mecánicas

Respuesta en temperatura

Por lo que no es recomendable el uso de soldaduras comunes. El proceso de soldadura será el siguiente:

a). Preparar el cable

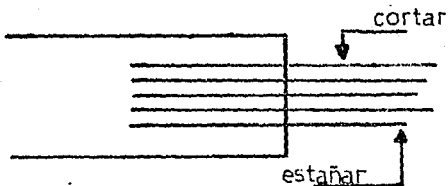


Fig. 40

- b). Proteger con papel autoadhesivo débil la banda dejando al descubierto solamente los puntos de soldadura.
- c). Sin apartar un excesivo calor, depositar una gota de soldadura lo más pequeña posible, ya que de no ser así, se podría desprender la banda del soporte y también evitar concentraciones de esfuerzos.
- d). Fijar los cables a las terminales y a la banda, como se ve en la figura.

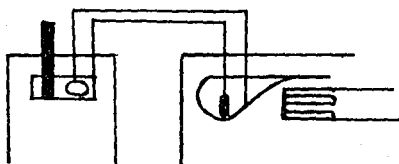


Fig. 41



### Comprobaciones:

Una vez instalada la banda se deberán comprobar - los siguientes puntos:

a). Inspección ocular.

Deberá de efectuarse con una lupa de mínimo - 20 aumentos, con el fin de detectar zonas sin adherencia a la superficie de prueba.

b). Composición del aislamiento, para esto se utilizará un megómetro cuya tensión no exceda de los 150 v .

c). Medición de valor ohmico de la banda.

Los objetivos son dos: el primero el saber si esta rota o con un corto circuito la rejilla y el - segundo, conocer la dispersión del valor nominal - sobre todo en circuitos con varias bandas para - controlar desequilibrios excesivos de corriente.

### 3.9.9. Circuitos de medida.

#### 3.9.9.1. Puente de Wheatstone.

La figura representa el esquema de un circui - to en puente de Wheatstone que es el más co - munitemente utilizado para medidas extensómetri - cas.

Las bandas extensométricas podrán ocupar uno o dos, o los cuatro brazos del puente; denominándose entonces circuitos de  $1/4$ ;  $1/2$  ó  $1/1$  de puente respectivamente.

Se les llama bandas activas aquéllas que están ocupadas por bandas que se deforman por sollicitaciones mecánicas y ramas pasivas a las que no intervienen en la medida, es decir que no se deforman.

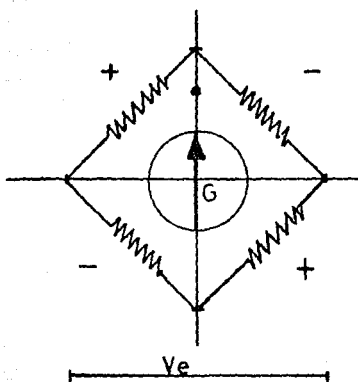


Fig. 42 Puente de Wheatstone

### 3.9.10 Módulo de elasticidad.

El resultado obtenido fue apartir de núcleos de concreto de 70.5 mm de diámetro y un  $f'c=280 \text{ kg/m}^2$

La prueba se aplicó con el fin de conocer el módulo de elasticidad del concreto.

Para la prueba se utilizaron extensómetros eléctricos de 63 mm de longitud, adosando a cada núcleo dos extensómetros diametralmente opuestos.

La determinación del módulo se llevó a cabo conforme al método de prueba ASTM C 469. La gráfica esfuerzo deformación unitaria, obtenida en el núcleo ensayado en condición seca se muestra a continuación:

Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

Edad aproximada	Concreto	Esfuerzo de rotura GR-kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad. kg/cm <sup>2</sup>
25	$f'c=280 \text{ kg/cm}^2$	280.4	153.869

El valor del módulo de elasticidad para este concreto vale:

$$E = 9.189 \sqrt{GR}$$

La obtención de E fue como se muestra a continuación:

De la norma ASMT C 469

$$GR = 280.4 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo que la relación entre enfuerzos a compresión y deformaciones unitarias será:

$$0.4 \sqrt{GR} = 112.2$$

Gratificando el resultado se obtiene que:

$$E = \frac{112.2}{0.000735} - \frac{6.8}{0.000050} = 153,869 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 9.189 \sqrt{GR}$$

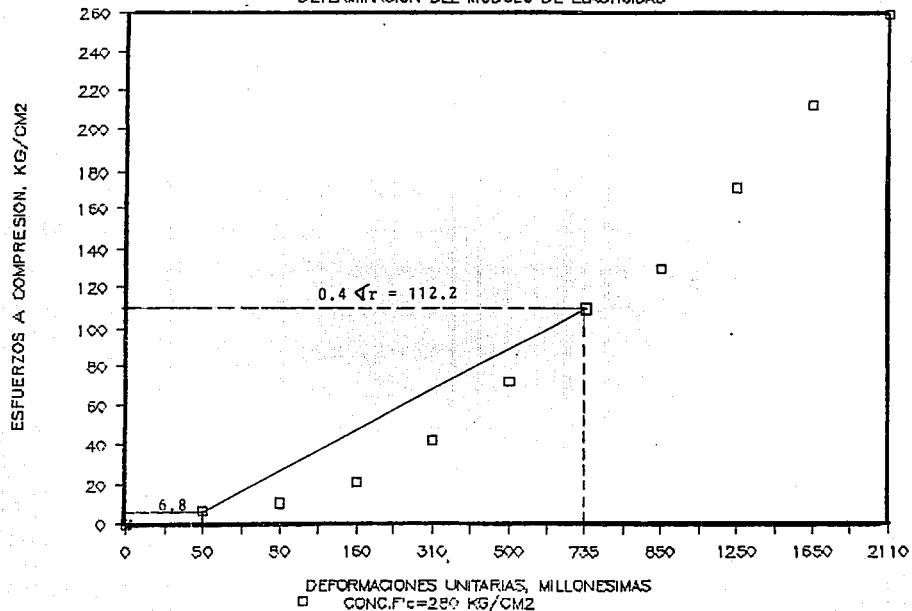
Como se puede observar el valor obtenido para E - se aproxima al valor del módulo de elasticidad - para concretos del Distrito Federal.

$$E = 10\,000 \sqrt{F'c}$$

Por lo que puede considerarse un módulo de elasticidad de magnitud "normal".

# EXTENSOMETROS ELECTRICOS

DETERMINACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD



1.- Pruebas en un concreto nuevo.

Al hablar de un concreto nuevo o joven se esta hablando de un espécimen probado a los 28 días de edad, que es cuando alcanza su resistencia de proyecto ( $f'c$ ).

El objeto de incluir los resultados de concreto nuevo es con el fin de demostrar que los diferentes aparatos que usaron en la verificación de la calidad de los materiales, registran correctamente el tipo de concreto usado.

Todas las pruebas que se realizaron fueron hechas en condiciones de laboratorio, es decir, en condiciones controladas.

Se probaron distintos tipos de elementos como lo fueron:

2 blocks de concreto

6 cilindros de concreto

4 tabletas de concreto

Así llegar a un panorama más amplio de los diferentes aparatos y de los resultados obtenidos, no para hacer comparaciones ya que cada concreto es distinto, sino establecer un muestreo estadístico de como fueron cambiando las características del concreto con el paso del tiempo.

Los diferentes resultados obtenidos se muestran a continuación:

#### 4. 1. Resultados

4.1.1. Esclerómetro

4.1.2. V-Meter

4.1.3. Núcleos de concreto

#### **4.1.1. Esclerómetro.**



## ESCLEROMETRO

RESULTADOS EN UN CONCRETO NUEVO

ELEMENTO	PRUEBA #	RESISTENCIA PROMEDIO	
		KG/CM2	KG/CM2
BLOCK DE CONCRETO # 1			
58 X 30.5 X 29 CM			
	1	195.00	
F'C=200 KG/CM2	2	210.00	
	3	203.00	
			202.67
BLOCK DE CONCRETO # 2			
58 X 29.5 X 30.5 CM			
	1	198.00	
F'C=200 KG/CM2	2	201.00	
	3	210.00	
			203.00

## ESCLEROMETRO

RESULTADOS EN UN CONCRETO NUEVO

ELEMENTO	PRUEBA #	RESISTENCIA PROMEDIO	
		KG/CM <sup>2</sup>	KG/CM <sup>2</sup>
TABLETA DE CONCRETO # 11			
60 X43 X2.5 CM			
F'C=200 KG/CM <sup>2</sup>	1	215.00	
	2	211.00	
	3	207.00	
			211.00
TABLETA DE CONCRETO # 21			
62 X44 X4.5 CM			
F'C=200 KG/CM <sup>2</sup>	1	197.00	
	2	203.00	
	3	205.00	
			202.00

## ESCLEROMETRO

## RESULTADOS EN UN CONCRETO NUEVO

ELEMENTO	PRUEBA #	RESISTENCIA PROMEDIO	
		KG/CM2	KG/CM2
TABLETA			
IDE CONCRETO # 3			
62 X44 X4.5 CM			
F'c=200 KG/CM2	1	198.00	
	2	200.00	
	3	207.00	
			201.67
TABLETA			
IDE CONCRETO # 4			
60 X40 X5.9 CM			
F'c=200 KG/CM2	1	204.00	
	2	215.00	
	3	203.00	
			207.33

**ESCLEROMETRO**  
**RESULTADOS EN UN CONCRETO NUEVO**

ELEMENTO	PRUEBA #	RESISTENCIA	PROMEDIO
		KG/CM2	KG/CM2
CILINDROS DE CONCRETO			
F'c= 200 KG/CM2			
CONDICION SECA			
# 1	1	196.00	203.33
	2	204.00	
	3	210.00	
# 2	1	208.00	206.33
	2	203.00	
	3	208.00	
# 3	1	190.00	198.67
	2	202.00	
	3	204.00	
# 4	1	195.00	203.00
	2	214.00	
	3	200.00	
# 5	1	194.00	198.33
	2	197.00	
	3	204.00	
# 6	1	205.00	208.00
	2	210.00	
	3	209.00	

#### 4.1.2. V - Meter

## PULSO ULTRASONICO

## RESULTADOS EN UN CONCRETO NUEVO

ELEMENTO	TIEMPO	DISTANCIA	VELOCIDAD	CALIDAD
	msec	cm	Km/seg	
BLOK				
CONCRETO # 1				
150 X 30.5 X 29 CM				
	82.20	29.00	3.53	BUENA
f'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	81.00	29.00	3.58	BUENA
	81.20	29.00	3.57	BUENA
TRANSMISION DIRECTA				
	85.00	30.50	3.59	BUENA
	85.00	30.50	3.59	BUENA
	83.20	30.50	3.67	BUENA
	164.50	58.50	3.56	BUENA
	162.20	58.50	3.61	BUENA
	162.30	58.50	3.60	BUENA

## PULSO ULTRASONICO

RESULTADOS EN UN CONCRETO NUEVO

ELEMENTO	TIEMPO	DISTANCIA	VELOCIDAD	CALIDAD
	msec	cm	Km/seg	
BLOCK DE CONCRETO #2 SB X29.5 X30.5CM f'c=200 kg/cm2				
TRANSMISION DIRECTA				
	80.60	29.50	3.66	BUENA
	81.40	29.50	3.62	BUENA
	80.80	29.50	3.65	BUENA
	84.50	30.50	3.61	BUENA
	84.40	30.50	3.61	BUENA
	85.40	30.50	3.57	BUENA
	166.70	58.00	3.48	BUENA
	162.80	58.00	3.56	BUENA
	166.30	58.00	3.49	BUENA

## PULSO ULTRASONICO

## RESULTADOS EN UN CONCRETO NUEVO

ELEMENTO	TIEMPO msec	DISTANCIA cm	VELOCIDAD Km/seg	CALIDAD
TABLETAS DE CONCRETO				
60 X 43 X 2.5 CM				
f'c=200 kg/cm <sup>2</sup>				
TRANSMISION INDIRECTA				
	83.50	21.50	2.57	REGULAR
	86.30	23.00	2.67	REGULAR
	96.80	27.50	2.84	REGULAR
	174.30	52.00	2.98	REGULAR
TRANSMISION DIRECTA				
	6.50	2.50	3.85	BUENA
	5.80	2.50	4.31	BUENA
	6.10	2.50	4.10	BUENA
	6.40	2.50	3.91	BUENA



## PULSO ULTRASONICO

## RESULTADOS EN UN CONCRETO NUEVO

ELEMENTO	TIEMPO msec	DISTANCIA cm	VELOCIDAD Km/seg	CALIDAD
TABLETA				
IDE CONCRETO # 2				
f'c=200 kg/cm <sup>2</sup>				
TRANSMISION INDIRECTA				
	205.40	60.50	2.95	REGULAR
	190.50	50.50	2.65	REGULAR
	114.40	29.50	2.58	REGULAR
TRANSMISION DIRECTA				
	12.20	4.50	3.69	BUENA
	12.30	4.50	3.66	BUENA
	11.20	4.50	4.02	BUENA
	13.50	4.50	3.33	BUENA

## PULSO ULTRASONICO

RESULTADOS EN UN CONCRETO NUEVO

ELEMENTO	TIEMPO	DISTANCIA	VELOCIDAD	CALIDAD
	msec	cm	Ka/seg	
TABLETA				
DE CONCRETO #3				
$f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$				
60 x 47 x 3.7 CM				
TRANSMISION				
INDIRECTA				
	180.80	54.00	2.99	REGULAR
	184.80	56.00	3.03	BUENA
	106.00	28.50	2.69	REGULAR
TRANSMISION				
DIRECTA				
	9.30	3.70	3.98	BUENA
	9.00	3.70	4.11	BUENA
	9.00	3.70	4.11	BUENA
	9.20	3.70	4.02	BUENA

## PULSO ULTRASONICO

## RESULTADOS EN UN CONCRETO NUEVO

ELEMENTO	TIEMPO	DISTANCIA	VELOCIDAD	CALIDAD
	msec	cm	Km/seg	
TABLETA				
IDE CONCRETO # 4				
60 X 40 X 5.9CM				
f'c=200 kg/cm <sup>2</sup>				
TRANSMISION INDIRECTA				
	163.40	45.00	2.75	REGULAR
	166.40	45.00	2.70	REGULAR
	164.28	45.00	2.74	REGULAR
	93.70	20.00	2.13	MALA
	94.40	20.00	2.12	MALA
	93.20	20.00	2.15	MALA
TRANSMISION DIRECTA				
	18.00	5.90	3.28	BUENA
	15.60	5.90	3.78	BUENA
	15.30	5.90	3.86	BUENA

## RESULTADOS EN UN CONCRETO NUEVO

ELEMENTO	TIEMPO	DISTANCIA/VELOCIDAD		CALIDAD
	msec	cm	Km/seg	
CILINDROS DE CONCRETO				
f'c=200 kg/cm <sup>2</sup>				
CONDICION HUMEDA				
TRANSMISION DIRECTA				
# 1	81.70	30.00	3.67	BUENA
	85.80	30.00	3.50	BUENA
	85.20	30.00	3.52	BUENA
# 2	79.60	30.00	3.77	BUENA
	80.40	30.00	3.73	BUENA
	80.60	30.00	3.72	BUENA
# 3	81.70	30.00	3.67	BUENA
	84.40	30.00	3.55	BUENA
	82.70	30.00	3.63	BUENA
# 4	81.50	30.00	3.68	BUENA
	82.60	30.00	3.63	BUENA
	81.60	30.00	3.68	BUENA
# 5	83.50	30.00	3.59	BUENA
	84.60	30.00	3.55	BUENA
	85.50	30.00	3.51	BUENA
# 6	83.70	30.00	3.58	BUENA
	87.60	30.00	3.42	BUENA
	83.30	30.00	3.60	BUENA

## PULSO ULTRASONICO

RESULTADOS EN UN CONCRETO NUEVO

ELEMENTO	TIEMPO	DISTANCIA	VELOCIDAD	CALIDAD
	usec	cm	Km/seg	
CILINDROS DE CONCRETO				
f'c= 200 kg/cm <sup>2</sup>				
CONDICION SECA				
TRANSMISION DIRECTA				
# 1	94.60	30.00	3.17	BUENA
	95.60	30.00	3.14	BUENA
	95.40	30.00	3.14	BUENA
# 2	92.60	30.00	3.24	BUENA
	98.50	30.00	3.05	BUENA
	93.40	30.00	3.21	BUENA
# 3	87.40	30.00	3.43	BUENA
	88.30	30.00	3.40	BUENA
	81.60	30.00	3.68	BUENA
# 4	89.40	30.00	3.36	BUENA
	90.00	30.00	3.33	BUENA
	89.40	30.00	3.36	BUENA
# 5	86.60	30.00	3.46	BUENA
	87.30	30.00	3.44	BUENA
	87.50	30.00	3.43	BUENA
# 6	91.30	30.00	3.29	BUENA
	90.80	30.00	3.30	BUENA
	90.60	30.00	3.31	BUENA

Apoyados en los resultados obtenidos y mostrados en la -  
tabla comparativa de pulso ultrasónico, se obtuvo una -  
gráfica en donde se puede observar el comportamiento de  
los núcleos de concreto al ser probados con el pulso -  
ultrasónico bajo diferentes condiciones de humedad.

En ambos casos a mayor o menor velocidad, será el tiempo  
de transmisión. La diferencia se encuentra, en que el -  
concreto humedo al estar saturado de agua aparece como -  
una roca sólida con una calidad superior a la que presen  
tan los cilindros bajo una condición seca.

Como se puede observar en ambos casos la calidad es bue  
na, pero hay que tomar siempre en cuenta, para toda -  
prueba, las condiciones imperantes en el medio ambiente  
y en el efecto que puedan causar sobre el mismo.

## PULSO ULTRASONICO

## TABLA COMPARATIVA

TIPO DE CONCRETO : f'c=200 kg/cm2

## TRANSMISION DIRECTA

CONDICION :	TIEMPO	DISTANCIA	VELOCIDAD	CALIDAD
	MSEG	CM	KM/SEG	
SECA	87.60	30.00	3.42	BUENA
	81.60	30.00	3.68	BUENA
# 1	86.60	30.00	3.46	BUENA
	87.30	30.00	3.44	BUENA
	87.40	30.00	3.43	BUENA
# 2	87.50	30.00	3.43	BUENA
	88.30	30.00	3.40	BUENA
	89.40	30.00	3.36	BUENA
# 3	89.40	30.00	3.36	BUENA
	90.00	30.00	3.33	BUENA
	90.60	30.00	3.31	BUENA
# 4	90.80	30.00	3.30	BUENA
	91.30	30.00	3.29	BUENA
	92.60	30.00	3.24	BUENA
# 5	93.40	30.00	3.21	BUENA
	94.60	30.00	3.17	BUENA
# 6	95.40	30.00	3.14	BUENA
	95.60	30.00	3.14	BUENA
	98.50	30.00	3.05	BUENA

## PULSO ULTRASONICO

## TABLA COMPARATIVA

TIPO DE CONCRETO :  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ 

## TRANSMISION DIRECTA

CONDICION :	TIEMPO	DISTANCIA	VELOCIDAD	CALIDAD
	MSEG	CM	KM/SEG	
HUMEDA				
# 1	79.60	30.00	3.77	BUENA
	80.40	30.00	3.73	BUENA
	80.60	30.00	3.72	BUENA
# 2	81.50	30.00	3.68	BUENA
	81.60	30.00	3.68	BUENA
	81.70	30.00	3.67	BUENA
# 3	81.70	30.00	3.67	BUENA
	82.60	30.00	3.63	BUENA
	82.70	30.00	3.63	BUENA
# 4	83.30	30.00	3.60	BUENA
	83.50	30.00	3.59	BUENA
	83.70	30.00	3.58	BUENA
# 5	84.40	30.00	3.55	BUENA
	84.60	30.00	3.55	BUENA
	85.20	30.00	3.52	BUENA
# 6	85.50	30.00	3.51	BUENA
	85.80	30.00	3.50	BUENA



TABLETAS DE CONCRETO

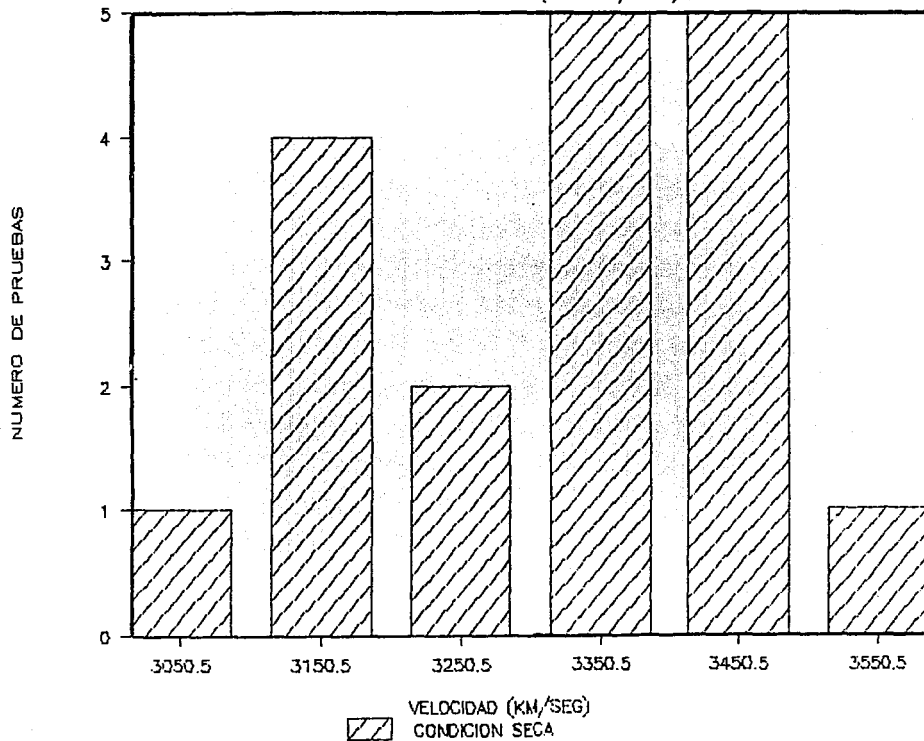
CONDICION SECA

LECTURA TIPO:		
VELOCIDAD	INDIRECTA	DIRECTA
KM/SEG	#	#
2050.5		
2150.5	3	
2250.5		
2350.5		
2450.5		
2550.5	4	
2650.5	5	
2750.5	2	
2850.5	1	
2950.5	3	
3050.5	1	
3150.5		
3250.5		
3350.5		1
3450.5		
3550.5		
3650.5		2
3750.5		1
3850.5		3
3950.5		2
4050.5		3
4150.5		2
4250.5		
4350.5		1

## CILINDROS DE CONCRETO

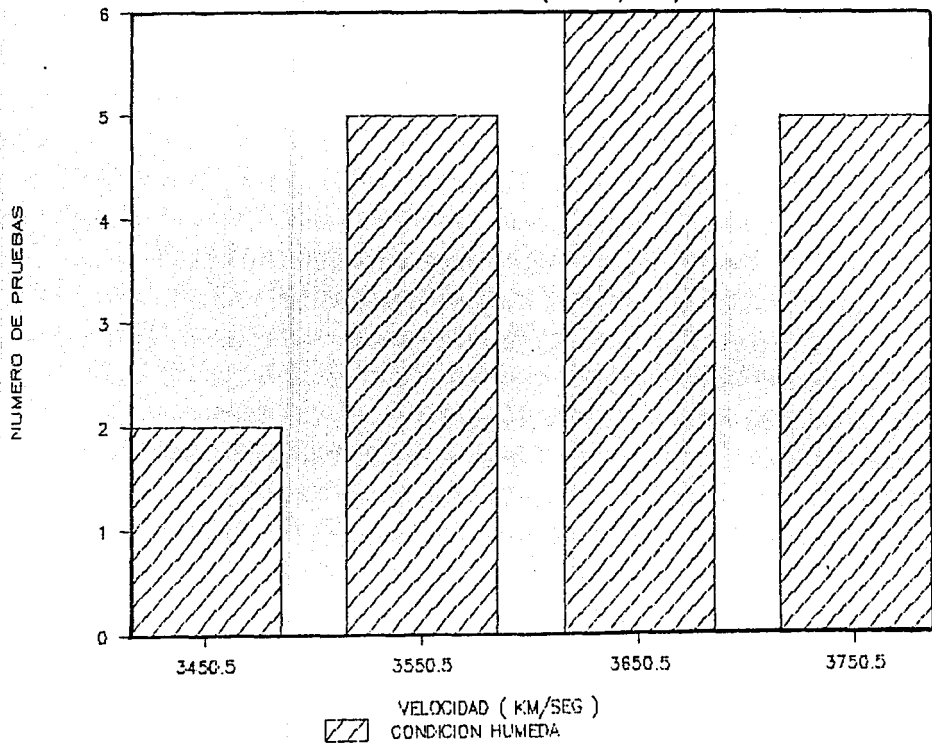
CONDICION HUMEDA		CONDICION SECA	
VELOCIDAD	#	VELOCIDAD	#
KN/SEG		KN/SEG	
3450.5	2	3050.5	1
3550.5	5	3150.5	4
3650.5	6	3250.5	2
3750.5	5	3350.5	5
		3450.5	5
		3550.5	1

PULSO ULTRASONICO  
CILINDROS DE CONCRETO ( 200 KG/CM<sup>2</sup> )



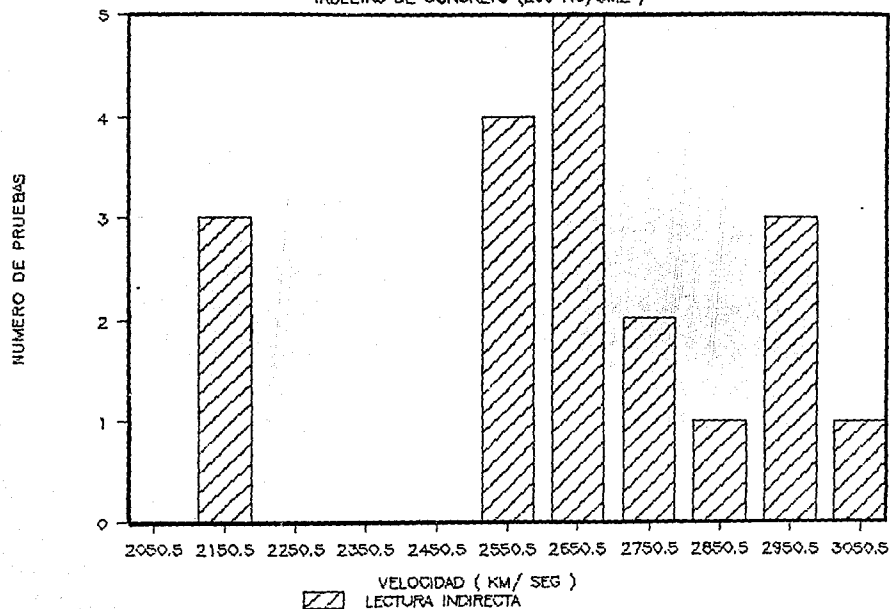
# PULSO ULTRASONICO

CILINDROS DE CONCRETO ( 200 KG/CM<sup>2</sup> )



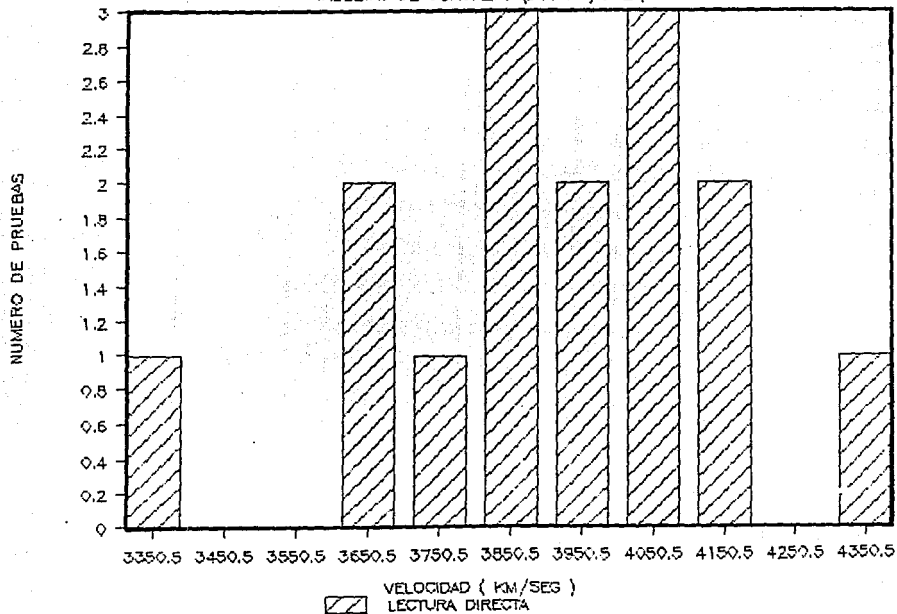
# PULSO ULTRASONICO

TABLETAS DE CONCRETO (200 KG/CM<sup>2</sup>)



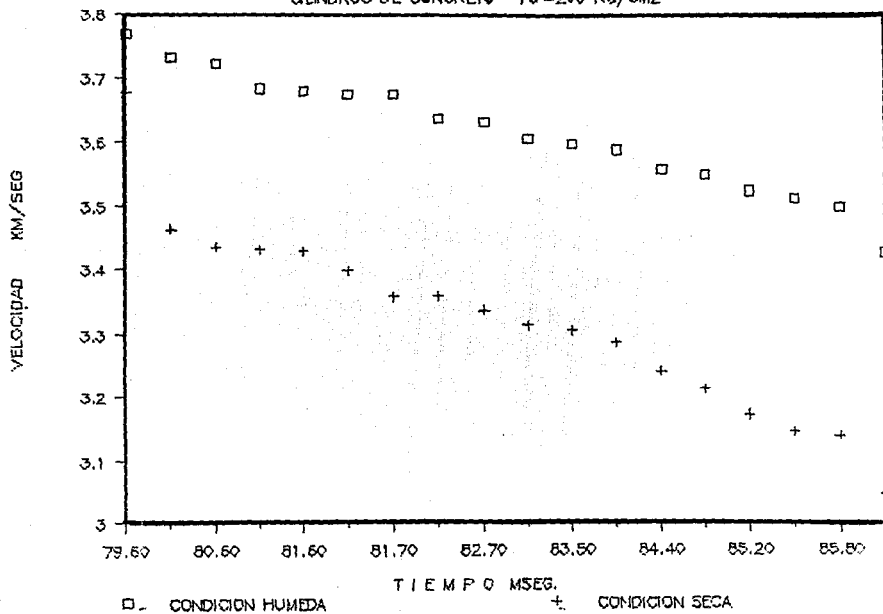
# PULSO ULTRASONICO

TABLETAS DE CONCRETO (200 KG/CM<sup>2</sup>)



# PULSO ULTRASONICO

CLINDROS DE CONCRETO  $f'c = 200 \text{ KG/CM}^2$



### **4.1.3. Núcleos de concreto**



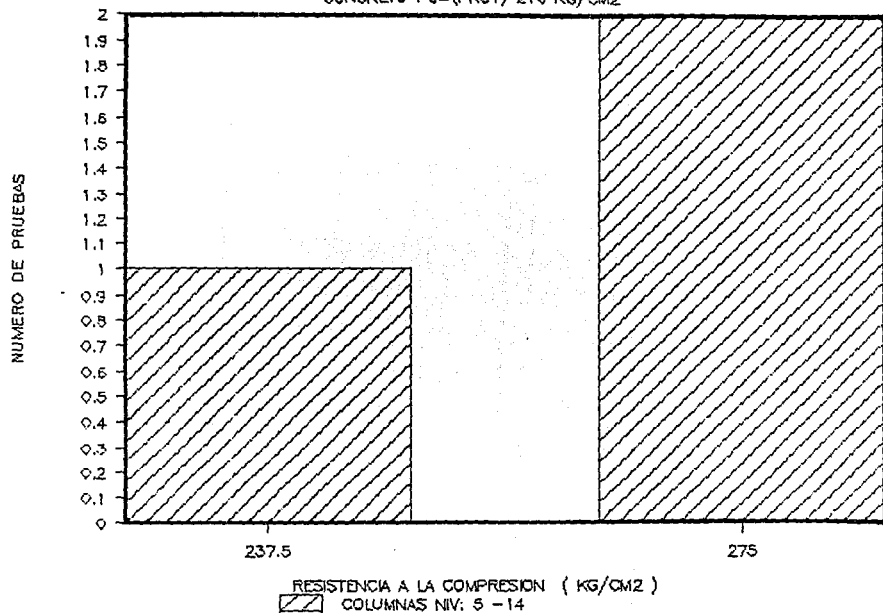
NUCLEOS DE CONCRETO

RESULTADOS

PRUEBA #	NIVEL	P. B. -4	S-14	RESISTENCIA OBTENIDA
1			6	283
2		4		261
3		3		450
4		P. B.		335
5		P. B.		335
6		P. B.		400
7			9	225
8			8	261
9		P. B.		357

# NUCLEOS DE CONCRETO

CONCRETO  $f_c = (\text{PROY}) 210 \text{ KG/CM}^2$



## CONCLUSIONES

La importancia de conocer el estado que guarda el concreto dentro de una estructura lleva a la aplicación de diferentes pruebas y por consiguiente de ciertos resultados - que en conjunto reflejarán la calidad del concreto.

### Esclerómetro

El esclerómetro o martillo de rebote, es un aparato muy sencillo de operar como lo es también su mantenimiento, - pero no por esto debe olvidarse que determina sólo en forma aproximada la dureza superficial del concreto, que es un método comparativo entre concretos similares.

La calibración del martillo es muy importante, de no estar correctamente calibrado se obtendrán una gama de resultados totalmente erróneas y en un determinado caso influirán en las decisiones acerca de la calidad del mismo.

En todas las pruebas de campo se colocó el esclerómetro - en forma perpendicular a la superficie a probar para asegurar así la correcta interpretación de los resultados.

Los resultados obtenidos muestran una resistencia del concreto buena en la mayoría de los casos. el resultado se encuentra por encima de la resistencia de proyecto.

En el laboratorio los resultados obtenidos fueron satisfactorios, en todos los casos estos últimos se acercaron a la resistencia propuesta.

#### V-Meter

El V-Meter o pulso ultrasónico da a conocer el estado interno que guarda el concreto:

Los resultados que se obtengan con el pulso ultrasónico será necesario analizarlos de una manera objetiva, en la mayoría de los casos, se trabaja con concretos de diferentes edades y características por lo que no podrá tomarse un criterio único para evaluar los resultados, donde la evaluación final será producto de la experiencia y de la observación de las condiciones imperantes en el ambiente que rodea a las pruebas, es decir, humedad, la edad del concreto, intemperismo, fuertes esfuerzos, etc.

El criterio para evaluar los resultados fue tomado de Agarwal mediante la observación de los resultados de campo y laboratorio, (como se verá más adelante), se llegó a la conclusión de ser la más adecuada, puesto que los ran-

gos obtenidos se acercaban más a las condiciones señaladas.

Como se puede apreciar en los resultados y gráficas obtenidas en campo la calidad del concreto es de 2 tipos según la resistencia; para una resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$  la calidad es regular, en un concreto de  $280 \text{ kg/cm}^2$  la calidad se presenta pobre.

Al evaluar las condiciones de campo fue necesario realizar pruebas en laboratorio bajo condiciones controladas para corroborar los resultados obtenidos así como las diferentes hipótesis de partida.

Dentro del concreto nuevo encontramos las pruebas realizadas en los blocks de concreto que fueron usadas para verificar que sea cualquiera el lado probado, si el concreto es de buena calidad el resultado siempre tendrá que ser el mismo.

Para las condiciones de prueba directa e indirecta se escogieron tabletas de concreto con poco espesor para verificar el viaje de la onda generada; en la transmisión directa es más confiable que en la lectura indirecta, en esta última la onda viaja solo por la superficie del concreto y no por su interior que es donde se refleja en realidad su estado.

Los resultados obtenidos en los cilindros son los más representativos para la prueba clásica a realizarse.

En primer lugar, los cilindros se probaron en condición húmeda, con el fin de comprobar que efectivamente todos los posibles "huecos" en el concreto quedan cerrados, y se comporta como un monolito, en la condición seca el comportamiento del concreto es similar, es decir, de buena calidad aunque con velocidades más bajas como se pudo apreciar en las gráficas.

#### R-Meter

El uso del R-Meter es una gran ventaja para todo estudio de verificación de calidad, permite localizar la colocación del acero de refuerzo así como el diámetro del mismo y el espesor del recubrimiento.

En las pruebas de campo este instrumento se utilizó para evaluar la correcta colocación del acero de refuerzo que en la mayoría de los casos era el marcado en el proyecto, el diámetro de las barras se comprobó que era el adecuado.

El R-Meter sirve como un apoyo para la extracción de núcleos de concreto, con él es posible localizar rápidamente la cuadrícula del armado y poder así marcar el sitio de extracción.

El R-Meter es un aparato de fácil manejo y operación pero requiere también de un criterio para evaluar los resultados obtenidos.

Extractor de núcleos de concreto.

Herramienta indispensable para todo estudio de verificación de calidad de los materiales, es la base de las pruebas destructivas que reflejarán el estado real del concreto.

El cuidado y mantenimiento del equipo será básico para la obtención de muestras que requieran las menos correcciones posibles, con el fin de no cambiar las condiciones en que fueron obtenidas.

En cuanto a los resultados obtenidos al probar los cilindros de concreto se puede observar que la resistencia es buena al compararla con la de proyecto lo cual indica que la resistencia del concreto aumenta con el paso del tiempo, como se vió en la gráfica de la introducción.

Extensómetros eléctricos.

Los extensómetros eléctricos permitieron encontrar el módulo de elasticidad del concreto con el fin de aplicar su valor real al momento de hacer un análisis de la estructura.

Lo laborioso de la prueba así como los resultados que de ella se obtienen será necesario poner el máximo cuidado tanto en su realización como en su interpretación.

### Comentarios

Las pruebas realizadas tanto en campo como el laboratorio, servirán para complementarse entre si y ver como un concreto esta en continua evolución tanto de resistencia como en calidad, por lo cual, nunca se podrá establecer comparaciones entre dos concretos, pero si establecer bases y rangos para la interpretación de resultados.

Se puede concluir que para todo estudio y revisión de verificación de calidad en cualquier estructura de concreto, será necesaria la aplicación de los diferentes aparatos de prueba con el fin de conocer cualquier cambio que afecte dicha estructura y poder emitir un juicio certero acerca de ella.



## B I B L I O G R A F I A

- 1). Cartilla del concreto  
(ACI - SP - 1)  
F.R. Mc Millan y Lewis H. Futhill  
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.  
México D.F. 1982. pp. 79
  
- 2). Práctica recomendable para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia.  
(ACI -214 - 77)  
American Concrete Institute. 1977  
Instituto Mexicano del Concreto 1978  
Quinta edición 1982  
México, D.F. pp.44
  
- 3). In SiTu  
Nondestructive Testing of Concrete  
V.M. Malhotra  
American Concrete Institute  
U.S.A. 1979. pp. 802