



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

“CONTRÒL DE LA CALIDAD DEL CONCRETO CON  
MÉTODOS  
ALTERNATIVOS DE INGENIERÍA”

**TESIS**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

PRESENTA  
**JUAN CARLOS VELÁZQUEZ MÉNDEZ**

DIRECTOR DE TESIS  
M.I. HÉCTOR JAVIER GUZMÁN OLQUÍN



CIUDAD DE MÉXICO, DICIEMBRE DE 2017

---



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

---

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por otorgarme vida, salud y perseverancia para lograr terminar esta parte importante en la vida.

A mi madre, Perfecta Méndez, por estar siempre pendiente de mí persona, de mis actividades, por comprender mis ausencias en casa en la etapa de estudiante.

A mi padre y amigo Miguel Velázquez (+), por sus enseñanzas, su tolerancia, apoyo, reconocimiento y respeto que siempre tuve de tí.

A mis hermanos Margarita, Miguel, Mónica y Mauro, por su apoyo incondicional en mi carrera.

A la señora Yarely Morales (+), ex jefa de la Biblioteca "Ing. Antonio Dovalí Jaime", de la Facultad de Ingeniería UNAM, por su incondicional apoyo logístico y sus consejos durante mi trayectoria de estudiante.

Al Mtro. en Ing. Héctor Javier Guzmán Olguín, por haber aceptado dirigir este trabajo, en el cual se ven reflejados los conocimientos adquiridos en la Facultad de Ingeniería.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, por tener el privilegio de ser uno de sus alumnos.

A mis compañeros, profesores amigos, Soto, Adriana, Ariadna, Noemí, Leticia, Angélica, Dalía.

A la familia Santana Barrera, en especial a la señora Antonia Barrera, a Amapolita Santana, por ser mis guías y mi dulce compañía.

---

“CONTROL DE LA CALIDAD DEL CONCRETO CON MÉTODOS ALTERNATIVOS DE  
INGENIERÍA”

<i>Índice</i>	<i>Página</i>
<i>Índice</i>	<i>i</i>
<i>Introducción</i>	<i>iii</i>
<i>Objetivos</i>	<i>iv</i>
<i>General</i>	
<i>Particular</i>	
 <i>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO</i>	
<i>1.0 Resistencia del concreto</i>	<i>1</i>
<i>1.1 Normatividad para obtención de la resistencia a compresión del concreto</i>	<i>3</i>
<i>1.2 Evaluación de la calidad del concreto en estructuras nuevas y en servicio</i>	<i>3</i>
<i>1.3 Calidad del concreto en estructuras en servicio</i>	<i>4</i>
<i>1.4 Importancia de la inspección de estructura</i>	<i>6</i>
 <i>CAPÍTULO 2. MÉTODOS PARA PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS EN CONCRETO</i>	
<i>2.0 Pruebas no destructivas en elementos de concreto</i>	<i>7</i>
<i>2.1 Prueba de resistencia a la penetración</i>	<i>9</i>
<i>2.2 Prueba de extracción</i>	<i>13</i>
<i>2.3 Prueba de ruptura</i>	<i>15</i>
<i>2.4 Velocidad de pulsos ultrasónicos</i>	<i>17</i>
<i>2.5 Métodos esclerométricos</i>	<i>19</i>
<i>2.6 Corazones de concreto</i>	<i>21</i>

<i>CAPÍTULO 3. Metodología experimental</i>	22
<i>3.1 Comportamiento de una estructura durante su vida útil</i>	24
<i>CAPÍTULO 4. Prueba con martillo esclerométrico</i>	
<i>4.0 Ubicación, generalidades y tamaño de la muestra</i>	26
<i>4.1. Características y tipo de instrumento</i>	29
<i>4.2. Datos recabados</i>	31
<i>4.3 Características de la resistencia de concreto obtenido</i>	41
<i>CAPÍTULO 5. Prueba con péndulo esclerométrico</i>	
<i>5.1. Ubicación y generalidades</i>	45
<i>5.2. Características y tipo de instrumento</i>	46
<i>5.3. Datos recabados</i>	47
<i>5.4 Características de la resistencia del concreto obtenido</i>	61
<i>CAPÍTULO 6. Conclusiones</i>	62
<i>Bibliografía y referencias</i>	63
<i>Anexo A</i>	64

## 1. INTRODUCCIÓN

En la evaluación de las estructuras que por diferentes motivos es necesario conocer las características del concreto y/o la disposición del armado de refuerzo, tal que hayan sido afectadas por un siniestro, un cambio de uso o simplemente por conocer su condición actual respecto de la normatividad, se hace necesario acudir al personal técnico provisto de equipo especializado que le permita obtener la información necesaria para el sustento de dicha evaluación.

La infraestructura donde las sociedades se desarrollan es cada vez más compleja, para prosperar o mantener las actividades económicas y sociopolíticas con un nivel de calidad adecuado y aceptable, requieren de infraestructura sana; el deterioro se puede detener con un adecuado mantenimiento, sin embargo en el caso particular de la infraestructura civil, son numerosos los puentes, carreteras y presas etc., que se han visto rebasados en sus condiciones de servicio debidos a factores como la corrosión y la deformación; motivo por el cual la incorporación a la ingeniería de los métodos de control no destructivos o semi destructivos, que permiten realizar inspecciones de evaluación en los materiales sin dañar a la estructura. Es importante saber elegir entre los métodos alternativos no destructivos existentes en el ámbito de la ingeniería para llevar a cabo estudios de mejora para las estructuras. En la mayoría de los casos los ingenieros necesitan adiestrarse en el manejo e interpretación de los resultados que se obtienen utilizando los equipos para los ensayos *in situ*, es imprescindible conocer las limitaciones y alcances de la información obtenida para las propiedades evaluadas con cada método de control. Utilizar un método no adecuado puede llevar a una pérdida de tiempo y de dinero significativo. Es evidente que el avance en el campo de los métodos de control no destructivos hacia posible su utilización en aplicaciones rutinarias como la exploración de la calidad del concreto.

Se conocen una variedad de técnicas para estimar la resistencia del concreto *in situ*<sup>[1]</sup>. En este trabajo se tratan las más utilizadas como una compilación de estándares en lo referente a ensayos del concreto *in situ* no destructivos.

En el capítulo 1 se hace una revisión generalizada del estado del concreto en materia de los diversos procedimientos e instrumentos existentes para reunir información, cabiendo aclarar que por tratarse

---

[1] Malholtra 1976, Bungey 1989, Maloltra y Carino 1999.

<http://docplayer.es/14546903-T-e-s-i-s-universidad-nacional-autonoma-de-mexico-maestro-en-ingenieria.html>

---

de un área en constante evolución el espacio dedicado a ello tiene carácter informativo, pues resultaría insuficiente de querer tratar a detalle lo expuesto.

En el capítulo 2 se expone un marco teórico, en el cual se describen los conocimientos básicos del concreto, factores que afectan sus propiedades mecánicas y la normatividad que debe cumplir el concreto.

El capítulo 3 mencionan los equipos y pruebas no destructivas más conocidos y la normatividad que las rige. En este capítulo se trató de mencionar toda la información posible derivada de manuales de equipo de los fabricantes y de la literatura mencionada.

En el capítulo 4 presentamos un trabajo de evaluación con esclerómetro de péndulo para un edificio de 16 niveles ubicado en la Ciudad de México. Presentando un algoritmo y resultados estadísticos.

El capítulo 5 es otra evaluación estructural para un edificio en la Ciudad de México de 5 niveles, a diferencia del anterior este trabajo lo realizamos con martillo esclerométrico.

En el capítulo 6 hacemos conclusiones de este trabajo, mencionando la aplicación de un programa de computo que se usó como apoyo en los cálculos estadísticos.

## *OBJETIVOS*

### OBJETIVO GENERAL

Presentar un trabajo donde se aplique el uso de los dos equipos de esclerometría, no destructivos que permiten evaluar al concreto de una estructura en uso, de manera sencilla y a bajo costo.

### OBJETIVO PARTICULAR

Con la técnica del esclerómetro se persigue conocer la calidad del concreto, a partir de una amplia campana de muestreo sobre elementos principales de la estructura y el cumulo de datos obtenidos tratados racionalmente apoyados en la estadística y así lograr resultado de resistencia lo más cercano a la realidad.

## **CAPITULO I: MARCO TEÓRICO**

### **1.0 RESISTENCIA DEL CONCRETO**

Desde el momento en que los granos del cemento inician su proceso de hidratación comienzan las reacciones de endurecimiento, que se manifiestan inicialmente con el “atiesamiento” del fraguado y continúan luego con una evidente ganancia de resistencias, al principio de forma rápida y disminuyendo esta velocidad a medida que transcurre el tiempo.

En la mayoría de los países la edad normativa en la que se mide la resistencia mecánica del concreto es la de 28 días, aunque hay una tendencia para llevar esa fecha a los 7 días. Es frecuente determinar la resistencia mecánica en periodos de tiempo distinto a los de 28 días, pero suele ser con propósitos meramente informativos. Las edades más usuales en tales casos pueden ser 1, 3, 7, 14, 90 y 360 días. En algunas ocasiones y de acuerdo a las características de la obra, esa determinación no es solo informativa, si no normativa, fijado así en las condiciones contractuales.

La edad de 28 días se eligió en los momentos en que se comenzaba a estudiar a fondo la tecnología del concreto, por razones técnicas y prácticas. Técnicas porque para los 28 días ya el desarrollo de resistencia está avanzado en gran proporción y para la tecnología de la construcción esperar ese tiempo no afectaba significativamente la marcha de las obras. Prácticas porque 28 días es un múltiplo de los días de la semana y evita ensayar en día festivo un concreto que se vació en días laborables.

Pero las razones técnicas han cambiado sustancialmente porque con los métodos constructivos actuales 28 días puede significar un decisivo adelanto de la obra por encima de los volúmenes de concreto cuya calidad no se conoce.

La ganancia de resistencia mecánica del concreto depende de numerosas variables y resultan muy diferentes entre unos y otros concretos. De esas variables, la más importante puede ser la composición química del cemento, la misma finura, la relación agua cemento, que cuanto más baja sea favorece la velocidad, la calidad intrínseca de los agregados, las condiciones de temperatura ambiente y la eficiencia de curado. Esto hace que los índices de crecimiento de la resistencia no pueden ser usados en forma segura o precisa con carácter general para cualquier concreto.

Todos los comportamientos de la resistencia mecánica del concreto han llevado a conocer día a día la naturaleza del concreto.

El concreto es una masa endurecida que por su propia naturaleza es discontinua y heterogénea. Las propiedades de cualquier sistema heterogéneo dependen de las características físicas y químicas de los materiales que lo componen y de las interacciones entre ellos. Con base en lo anterior, la resistencia del concreto depende principalmente de la resistencia e interacción de sus fases. [2]

- La resistencia de la pasta hidratada y endurecida (matriz).
- La resistencia de las partículas del agregado.
- La resistencia de la interface matriz-agregado.

[2]<http://blog.360gradosenconcreto.com/resistencia-mecanica-del-concreto-y-resistencia-a-la-compresion/>

### *1.1 NORMATIVIDAD PARA OBTENCIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO*

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se emplean fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada, ( $f'c$ ) en la especificación del proyecto. Los resultados de las pruebas de resistencia a partir de cilindros se pueden utilizar para fines de control de calidad, aceptación del concreto o para estimar la resistencia del concreto en las estructuras y programar las operaciones de construcción, tales como remoción de cimbras o para evaluar la conveniencia de curado y protección suministrada a la estructura. Los cilindros sometidos a ensayo de aceptación y control de calidad se elaboran y curan siguiendo los procedimientos descritos en la norma NMX-C-159-ONNCCE-20052 Elaboración y curado en laboratorio de especímenes de concreto o la norma NMX-C-160-ONNCCE-20043 Elaboración y curado en obra de especímenes de concreto método de prueba. Para determinar su resistencia a la compresión del concreto en especímenes cilíndricos moldeados y corazones con masa volumétrica mayor a  $900 \text{ kg/cm}^2$  se sigue el procedimiento descrito en la norma NMX-C-083-ONNCCE-2004.

### *1.2 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL CONCRETO EN ESTRUCTURAS NUEVAS Y EN SERVICIO*

Las estructuras de concreto son diseñadas para soportar cargas vivas y muertas durante el periodo de construcción y de servicio. Durante la construcción se obtienen muestras de concreto y los procedimientos de las normas NMX ONNCCE o ASTM son utilizados para medir la resistencia potencial del concreto que es entregado.

Se moldean cilindros de ensayo (probetas) y se curan a temperaturas de  $60^\circ$  a  $80^\circ\text{F}$  ( $17$  a  $27^\circ\text{C}$ ) durante un día y posteriormente se curan de forma húmeda en el laboratorio hasta que son ensayados a compresión, normalmente a una edad de 3, 7 a 28 días.

## *I. EVALUACIÓN DEL CONTROL DE LA CALIDAD DEL CONCRETO EN UNA OBRA NUEVA:*

Como parte de un proceso constructivo planeado o parte del aseguramiento de la calidad de obra y sus concretos, se observa la necesidad de implementar sistemas o pruebas diferentes a las tradicionales, y en la práctica común esto hace dotar de la herramienta adecuada al personal de supervisión, y que se apliquen finalmente las normas y códigos especificados cuando hay dudas sobre la resistencia a compresión de los concretos, la ubicación de acero de refuerzo o la determinación del diámetro del mismo, identificación de posibles fallas por procesos constructivos, oquedades, y otros tipos de fallas, o como una segunda opción la verificación de la calidad.

## *II. EVALUACIÓN DEL CONCRETO EN ESTRUCTURAS YA EXISTENTES O PARA SU REHABILITACIÓN Y/O MODIFICACIÓN:*

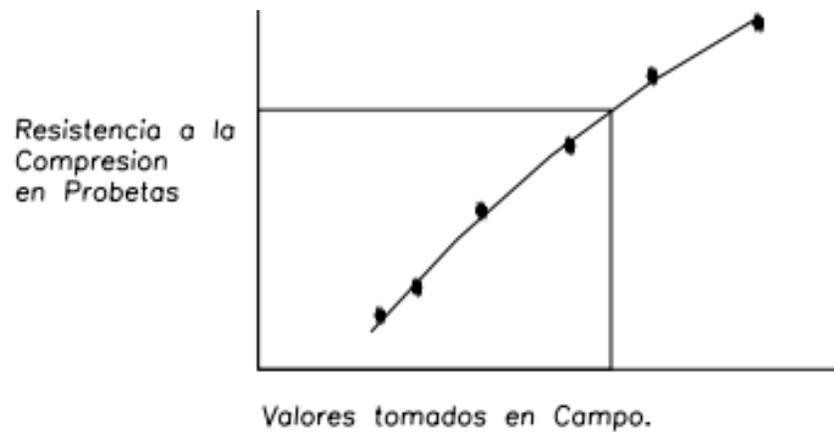
Determinación de la resistencia a compresión o del módulo de elasticidad del concreto, ubicación de acero de refuerzo o tendones de presfuerzo, determinación de grados de corrosión en el acero de refuerzo, determinación de la permeabilidad del concreto, determinación de la carbonatación del concreto o ataques químicos, valorar aspectos de durabilidad del concreto en sitio y otros tipos de fallas, así como poder dar un dictamen de factibilidad o condiciones en que se encuentra la construcción y que finalmente se tomaran las decisiones de un posible uso, reparación o demolición de la estructura dependiendo del dictamen o inclusive el cambio de uso de inmueble.

### *1.3 CALIDAD DEL CONCRETO EN ESTRUCTURAS EN SERVICIO*

La resistencia del concreto en la estructura no será equivalente a lo medido sobre los cilindros de ensayo normalizados. Las buenas prácticas de trabajo para la manipulación, el vaciado (colado), la compactación y el curado del concreto en la estructura afectaran de manera directa en los resultados.

Para la construcción existente, el lazo es establecido generalmente realizándose estas pruebas *in situ* en las localizaciones seleccionadas en la estructura y determinando la fuerza de los especímenes obtenidos de las perforaciones de localizaciones adyacentes.

En la Figura. 1.1 se muestra un diagrama esquemático de un lazo de la fuerza, en las cuales la fuerza compresiva del cilindro se traza en función del resultado de la prueba *in situ*. Este lazo sería utilizado para estimar la fuerza del concreto en una estructura basada en el valor del resultado de la prueba *in situ* obtenido de probar la estructura.



**Figura 1.1.** Diagrama esquemático de valores de Resistencia.

([http://www.biblioteca.udel.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_153\\_164\\_104\\_1437.pdf](http://www.biblioteca.udel.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf), pag. 3)

La exactitud de la predicción de la fuerza depende directamente del grado de correlación entre la fuerza del concreto y de la calidad medida por la prueba *in situ*.

El propósito de este capítulo es explicar los principios subyacentes del uso de estos métodos, e identificar los factores, con excepción de la fuerza del concreto, que pueden influenciar los resultados de la prueba. La información de fondo adicional sobre estos métodos está disponible en las siguientes referencias. <sup>[3]</sup>

<sup>[3]</sup> Malhotra (1976), de Bungey (1989), y de Malhotra y de Carino (1991)

#### *1.4 IMPORTANCIA DE LA INSPECCIÓN DE ESTRUCTURAS*

Existen numerosas técnicas no destructivas cada vez más complejas para probar y evaluar estructuras, inicialmente desarrolladas sobre todo para sistemas de transporte, aeronáutica e industria militar, pero que poco a poco han sido incorporadas a la infraestructura civil, llevando a un elevado desarrollo de tecnologías para detección y caracterización de daños en materiales y estructuras que, combinadas con técnicas de procesamiento de datos actuales, ha dado lugar a un interés significativo en herramientas de diagnóstico para supervisión de integridad estructural y detección de la degradación de éstas. De esta manera, la mayoría de las líneas de trabajo actual están enfocadas al desarrollo de métodos que permitan el paso del modo de supervisión eventual a sistemas de operación continua, diseñando sistemas sensoriales que obtengan información sobre el cómo se está comportando una estructura en servicio, durante la construcción o posteriormente, concibiendo dispositivos de detección, tales como sensores de fibra óptica integrados a la estructura (FOSs)<sup>[4]</sup>, que pueden proporcionar información para la supervisión de la estructura de forma remota y continua, es decir, en tiempo real.

Con el desarrollo de este tipo de sistemas en estructuras nuevas, se ha llegado a acuñar el concepto de estructuras inteligentes, al ofrecer información de ciertos indicadores que sirven como parámetros sobre la condición de la estructura durante eventos aleatorios específicos, que, de ser analizados y deducir el porqué de este comportamiento, permitirán incorporar herramientas coherentes y comprensibles a fin de contribuir en gran medida a mejorar el diseño estructural moderno.

<sup>[4]</sup> <http://www.e-medida.es/documentos/Numero-11/sensores-fibra-optica>

**CAPITULO 2: MÉTODOS PARA PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS EN CONCRETO****2.0 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS EN ELEMENTOS DE CONCRETO**

De acuerdo con las normativas correspondientes, los ingenieros deben garantizar que un elemento acabado de concreto es estructuralmente adecuado para la función para la que ha sido diseñado. Por eso deben programar una serie de ensayos de control de calidad con medidas *in situ* sobre la estructura misma o en laboratorio con probetas cilíndricas de concreto, para comprobar que el concreto cumple al menos las especificaciones establecidas en el proyecto. Según la norma NMX-C-083-ONNCCE-20021, la resistencia a compresión del concreto a los 14 días para una resistencia rápida o a los 28 días en el caso de resistencia normal las probetas cilíndricas o cúbicas debe de alcanzar su resistencia al 100% este es uno de los parámetros en el que se basan los criterios de aceptación o rechazo de concreto.

Por su sencillez, el ensayo a compresión de probetas es muy utilizado. Es un método excelente para determinar el criterio de calidad del concreto tras su fabricación y distribución. Los inconvenientes del ensayo a compresión justifican el interés de los ingenieros por desarrollar otros tipos de métodos de control de calidad para estimar la resistencia del concreto.

Uno de los problemas en que los ingenieros centran su atención es la posibilidad de verificar el estado de una estructura de concreto reduciendo el costo de la campaña de control de calidad y conservando la integridad física de la estructura a lo largo de esta campaña.

En el campo del concreto, el número de probetas sometidas a un ensayo en laboratorio para determinar la resistencia a compresión alcanza proporciones exageradas en algunos casos. Pues cuesta mucho una campaña de control simplemente basada en estos tipos de ensayo.

Por eso se han establecido una serie de ensayos no destructivos destinados a cubrir estos tipos de necesidad. Estos métodos se los puede clasificar en dos grandes grupos:

- I. Los métodos que dan directamente una medida de la resistencia a compresión del concreto en la estructura en su estado actual, como los ensayos *internal fracture*, y *pull out*. Estos ensayos son llamados semi-destructivos.
- II. Los métodos que dan una medida de un parámetro característico del concreto (dureza superficial, módulos elásticos, etc.) que luego se puede correlacionar con su resistencia son llamados no destructivos. En este grupo se incluyen los ensayos de rebote

(esclerómetro o martillo Schmidt), de penetración (sonda Windsor), el método ultrasónico (propagación de ondas ultrasónicas a través el concreto).

Como lo especifica la norma NMX-C-192-ONNCCE-20065 para los ensayos esclerométricos. En este trabajo con fines informativos se expondrán los siguientes métodos.

2.1 Prueba de resistencia a la penetración (pistola de windsor).

2.2 Prueba de la extracción

2.3 Prueba de la ruptura

2.4 Velocidad de pulsos ultrasónicos

2.5 Métodos esclerométricos

2.6 Corazones de concreto

### 2.1.- PRUEBA DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (*pistola windsor*)

El sistema de sonda *Windsor* está diseñado para evaluar *in situ* la resistencia a la compresión del concreto. No es destructivo y puede usarse con la misma efectividad en el concreto fresco y maduro. Se obtienen también los mismos resultados precisos en las superficies horizontales o verticales siempre que la sonda esté perpendicular o en ángulo recto con la superficie a probar. Una sonda, hecha de una aleación de acero endurecido, se impulsa en el concreto a una velocidad alta por medio de una carga explosiva, medida exactamente, midiéndose la penetración de la sonda. Cada carga tiene un nivel de energía para dar una velocidad de salida con una tolerancia de + 3%. La resistencia a la compresión del concreto tiene una relación directa con la resistencia a penetración del agregado y de la matriz de cemento: esto se determina por la distancia necesaria para absorber la cantidad específica de energía cinética de la sonda. La resistencia a la compresión del concreto tiene una relación empírica con la penetración que varía según la dureza del agregado. Esta relación es reconocida mediante la determinación de la escala Mohs de dureza del agregado y aplicando un factor de corrección a la penetración. Los aportes combinados del agregado y la pasta de cemento a la resistencia del cemento son examinados mediante este ensayo. La exactitud de las resistencias inferidas ha sido examinada en muchos ensayos y comprobaciones. Los resultados del *Sistema de Windsor HP* correlacionan bien con las determinaciones la resistencia del concreto que medios convencionales obtienen. Para resultados de prueba más precisos, la ASTM recomienda desarrollar una correlación para el diseño de una mezcla particular a ser ensayada. Una duplicación exacta de los resultados de ensayo por cilindro no deben esperarse. Las sondas miden la resistencia del concreto verdadero en una estructura en vez del concreto de una muestra comprimida y curada según condiciones algo artificiales y rigurosas que no representan necesariamente las condiciones de la estructura misma. El ensayo de Sonda Windsor ha sido aprobado por organismos municipales, estatales y federales de los Estados Unidos de América igual que por varios otros países. La Prueba cumple con los siguientes ensayos, especificaciones y normas.<sup>[5]</sup>

- ASTM C803 ACI 347-78
- ANSI A.10-3 BS 1881 Parte 207

<sup>[5]</sup><https://es.slideshare.net/b13studio/presentacion-tecnicas-diagnosis-hormigon>

### 2.1.1 MODO DE OPERACIÓN

El sistema Windsor no exige gran habilidad para manejarlo y los supervisores o técnicos en terreno, obtienen resultados consistentes. De hecho, los usuarios son contratistas, ingenieros, arquitectos, laboratorios de ensayo, fabricantes de concreto preparado, dueños, gerentes y funcionarios de gobierno, entre otros. Este sistema tiene un amplio uso para probar el concreto *in situ*:

- Para el concreto convencionalmente colocado
- Para el concreto pretensado
- Para las losas horizontales o verticales
- Para los suelos o cielos

Para el concreto fresco o maduro La sonda Windsor es una prueba semi-destructiva; se usa para evaluar la resistencia del hormigón al introducir en el hormigón un clavo disparado desde una pistola. Los datos se recogen gracias a la profundidad de la infijación del clavo y la dureza del agregado según la escala de Mhos .

Aplicándose de manera correcta, el sistema es seguro. La unidad impulsora no puede dispararse sin apretarla con cierta fuerza contra la plantilla que se apoya contra la superficie a examinar<sup>[5]</sup>. Fig 2.1



Fig. 2.1.1([http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_153\\_164\\_104\\_1437.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf))

[5]

[http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_153\\_164\\_104\\_1437.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf)

### 2.1.2 CARGA DEL EQUIPO

Cargue el impulsor con una carga de potencia y una sonda adecuada al tipo de concreto a examinar. Fig. 2.1A Coloque el impulsor firmemente contra la plantilla de impulsión y dispare.<sup>[5]</sup> La plantilla localizadora se usa pues para situar las sondas en las esquinas de un triángulo fijo. Normalmente, tres medidas son necesarias para resultados consistentes y estadísticamente confiables. Fig 2.1 B



Fig. 2.1 A ([http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_153\\_164\\_104\\_1437.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf))



Fig. 2.1 B ([http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_153\\_164\\_104\\_1437.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf))

<sup>[5]</sup><https://es.slideshare.net/b13studio/presentacion-tecnicas-diagnosis-hormigon>

### 2.1.3 LA MEDICIÓN

El dispositivo electrónico de medida es accionado por el menú de opciones y está programado para seleccionar conforme a los siguientes parámetros:

- La dureza de agregado
- El concreto liviano, normal, o de alto rendimiento
- Las unidades inglesas o métricas

Automáticamente se promedian las tres pruebas individuales y se muestra en la pantalla LCD, conforme al procedimiento de la ASTM. Estos datos, juntos con la hora y la fecha de la prueba, son almacenados en la memoria para su introducción posterior en un computador personal. Una herramienta de extracción se proporciona para facilitar la extracción de la sonda después de la prueba. Fig 2.1 A

### 2.1.4 LAS SONDAS

Hay dos ajustes disponibles para la potencia de la carga, baja y estándar. La potencia baja se usa donde la resistencia del concreto es menos que 19,4 MPa (3000 psi). Las nuevamente diseñadas sondas de plata, pueden usarse en el concreto de alto rendimiento con resistencia de hasta 110 MPa (1700 psi). Las sondas están hechas de una aleación de alta resistencia especialmente termotratada y recocida para obtener una dureza de “Rockwell C-48.”<sup>[6]</sup> El mecanismo especial de cada sonda elimina la concentración de tensiones. La sonda de oro tiene un área de sección transversal 56% que la de la sonda de plata; se aconseja su uso para el hormigón liviano – menos de 2003kg/m<sup>3</sup> (125 lbs. / ft.) de densidad. La sonda de plata se usa con el concreto que tiene una densidad mayor de 2003kg/m<sup>3</sup> (125 lbs. / ft.), fig 2.1.B



FIG.2.1 A



Fig. 2.1B

( <http://espanol.ndtjames.com/Clavo-de-Windsor-p/w-p-2000.htm>

<sup>[6]</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Dureza\\_Rockwell](https://es.wikipedia.org/wiki/Dureza_Rockwell)

## 2.2 PRUEBA DE EXTRACCIÓN (PULL OUT)

Este método ha sido desarrollado al principio en Dinamarca en 1975, y más recientemente en los Estados Unidos y Canadá. El *pull out* test consiste en arrancar del concreto de la estructura una pieza de acero previamente introducida por uno de sus extremos en el dicho concreto fresco, y sostenida por la propia cimbra. Figura (2.2.1). Una vez endurecido el concreto, se aplica una fuerza con la ayuda de un gato hidráulico en la pieza de acero para arrancarla de la superficie del concreto; se mide con un diámetro esta fuerza. Debido a su forma el acero introducido es arrancado conjuntamente a un cono de concreto.

Las pruebas *pull out* son excelentes para la determinación directa de la resistencia del concreto a diferentes edades. Sin embargo este método presenta algunos inconvenientes que limitan su uso, se debe prever la localización de los puntos de prueba antes de la puesta en obra del concreto. Este método deja al concreto ligeramente dañado (es una prueba semi-destructiva).

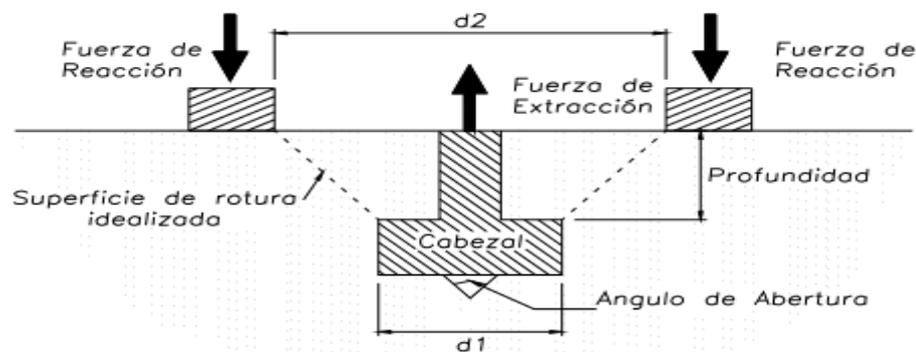


Figura 2.2.1 Representación Esquemática de la prueba a la Extracción

(<https://es.slideshare.net/b13studio/presentacion-tecnicas-diagnosic-hormigon>)pag .9

Debido a su forma, la varilla de acero se arranca adherida a un trozo de concreto, éste último de forma troncocónica. La resistencia a la extracción se calcula como la relación de la fuerza de extracción con el área idealizada del cono truncado. En realidad, el concreto está sometido a tensión y a cortante, pero según Malhotra la resistencia a la extracción calculada se aproxima mucho a la resistencia al cortante del concreto.

La relación de la resistencia a la extracción con la resistencia a la compresión disminuye ligeramente al incrementarse el nivel de resistencia, pero para una resistencia dada, es independiente de la edad (Ver Figura 2.2.2).

No es necesario llevar la prueba de la extracción hasta su término; es posible que baste con aplicar una fuerza determinada a la varilla empotrada y, si no se desprende, suponer que existe la resistencia dada.

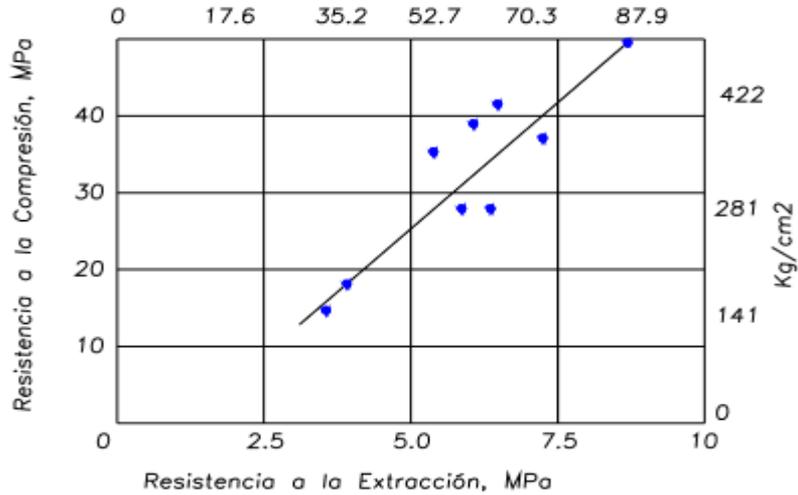


Figura 2.2.2 Relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a extracción en cilindros estándar

([http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_153\\_164\\_104\\_1437.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf)) pág. 11

De acuerdo con *Malhotra* la prueba de extracción es superior a la prueba del martillo de *Schmidt* y a la de resistencia a la penetración, pues la de extracción implica mayor volumen y mayor profundidad de concreto. El aspecto negativo es que hay la necesidad de reparar el concreto. Además, las varillas para la prueba deben situarse antes del vaciado, por lo que la prueba debe ser planeada de antemano. Recientemente se ha intentado desarrollar una prueba de extracción empleando un elemento de acero fijado en un agujero taladrado en el concreto endurecido. Fig.2.2.3

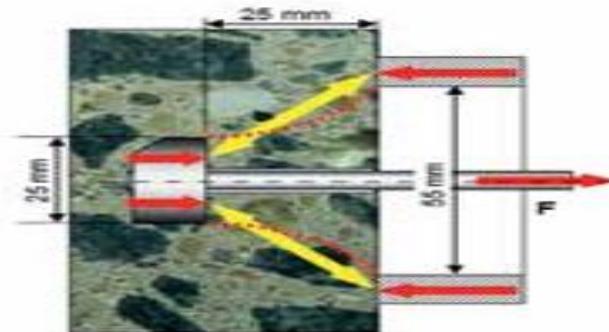


Fig. 2.2.3 ([http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_153\\_164\\_104\\_1437.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf)) pag. 8

Se observa la falla cónica observada en la prueba “Pull-out” de aproximadamente 25 mm y 55 mm de diámetro, en el fondo y en la superficie, respectivamente. La profundidad del cono es de aproximadamente 25 mm. En la fotografía fig. 2.2.4 se aprecia un corte transversal de la zona de prueba, en donde se pueden observar los agrietamientos resultantes de la prueba.<sup>[7]</sup>



Fig. 2.2.4 ([http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_153\\_164\\_104\\_1437.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf)) pag. 12

<sup>[7]</sup><http://neodexndt.com/es/pull-out/>

### 2.3 PRUEBA DE RUPTURA (ASTM C 1150)

La prueba de Ruptura muestra las medidas de la fuerza requerida para cortar una base cilíndrica de una masa de concreto más grande (Johansen 1979). Se utilizan la fuerza medida y un lazo preestablecido de la fuerza para estimar la fuerza compresiva sobre el terreno. Los procedimientos estándares para usar este método se dan en ASTM C 1150.

Un diagrama esquemático de la prueba de ruptura se muestra en Figura 2.3. Para una nueva construcción, la base es formada insertando una funda plástica en la superficie del concreto fresco. Las fundas también se pueden asociar a las caras del encofrado y luego llenar durante la colocación del concreto.

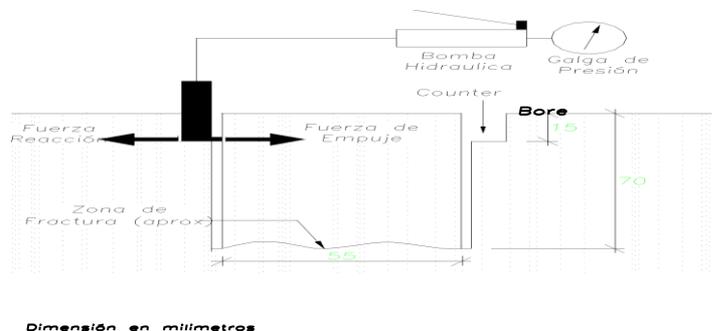


Figura 2.3. Esquema de funcionamiento del Ensayo de la Prueba de Ruptura.

([http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_153\\_164\\_104\\_1437.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf)) pag 12

Alternativamente, los especímenes de la prueba se pueden preparar en concreto endurecido, usando un dígito binario especial de la base para cortar la base y el alesaje contrario. Así la prueba de ruptura puede ser utilizada para evaluar el concreto en la nueva y existente construcción.

Cuando debe ser estimada la fuerza compresiva sobre el terreno, se quita la funda, y un gato especial de carga se coloca en el alesaje contrario. Una bomba provee el líquido hidráulico al gato que aplica una fuerza horizontal a la tapa de la base según lo mostrado en la Figura 2.3. La reacción a la fuerza horizontal es proporcionada por un anillo que lleve contra el alesaje contrario.

La fuerza en la base es aumentada gradualmente funcionando la bomba hasta la ruptura del espécimen en su base. La presión del líquido hidráulico se mide a través de una galga de presión que tiene un indicador que logra mostrar la máxima presión alcanzada durante la prueba. La lectura máxima de la galga de presión en unidades de barras (1 barra = 0,1 MPa (14,5 Psi) se llama ruptura del concreto.

Para reducir la interferencia entre la funda, el tamaño máximo del agregado en el concreto se limita a una fracción del diámetro de la funda. Según ASTM C 1150, la prueba de ruptura no se recomienda para el concreto que tiene un agregado grueso con tamaño máximo nominal mayor de 1 pulg. (25 milímetros).

Hay evidencia de que la variabilidad de los resultados de la prueba de ruptura se ve influenciada por los aumentos en los tamaños de agregados más grandes. La inserción de la funda se debe realizar cuidadosamente para asegurar la buena compactación alrededor de la funda y de un mínimo de disturbio en la base del espécimen formado.

Algunos problemas han estado señalados en proteger las fundas de la flotación de las mezclas de concreto muy fluidas<sup>[8]</sup> Así como la prueba de la extracción, la prueba de la ruptura, hace referencia acerca de la aplicación de la fuerza y aduce que esta fuerza debe ser aplicada muy lentamente para tomar las características estáticas de la fuerza del concreto. La base se carga como voladizo, y el concreto en la base del espécimen está conforme a una combinación de flexión y del esquiroleo.

[8] [Naik et al. 1987]

En el trabajo temprano de los resultados de la prueba de ruptura fueron señalados como la fuerza de rompimiento [Johansen 1979], computada como la tensión flexional en la base del espécimen que correspondía a la última fuerza que se aplicó a la base. Este acercamiento requirió una curva de calibración para convertir lo leído en la galga de presión para una fuerza, y asumió que la distribución de la tensión se podría calcular por una fórmula de flexión simple.

En ASTM C 1150, la fuerza flexional no se computa, y el número de la ruptura (lectura de la galga de presión) se relaciona directamente con la fuerza compresiva. Este acercamiento simplifica análisis de datos, pero sigue siendo esencial calibrar el instrumento que será utilizado para ensayar la estructura, para asegurar que las lecturas de la galga correspondan a las fuerzas reales aplicadas a los especímenes.

Ha estado señalado que la fuerza de flexión computada basada en la prueba de ruptura es cerca de 30% mayor que el Módulo de Ruptura obtenido por la Prueba de la Viga Estándar [Johansen 1979; Yener y Chen 1985].

Se ha encontrado que las relaciones entre la fuerza de Ruptura y la fuerza a la compresión no son lineales [Johansen 1979, Barker y Ramírez 1988], por tanto esto, está de acuerdo con la práctica que generalmente relaciona el Módulo de Ruptura del concreto con una potencia de la Fuerza a la compresión.

También se ha encontrado que el lazo entre la fuerza de ruptura y el módulo de ruptura puede ser más incierto que entre la fuerza de ruptura y la fuerza compresiva [Barker y Ramírez 1988].

La prueba de ruptura se ha utilizado con éxito en una variedad de proyectos de construcción en los países escandinavos, [Carlsson et al. 1984]. Además de su uso para estimar la fuerza compresiva sobre el terreno, el método también se ha utilizado para evaluar la fuerza en enlace entre el concreto y los materiales de recubrimiento [DahlJorgenson y Johansen 1984].

#### *2.4 VELOCIDAD DE PULSOS ULTRASÓNICOS (ASTM C 597)*

Las pruebas tradicionales de resistencia del concreto se practican sobre especímenes especialmente preparados que, por su forma, no son verdaderamente representativos del concreto de la estructura real. Prueba de esto es que el grado de compactación del concreto de la estructura no se refleja en los resultados de la prueba de resistencia, y no es

posible determinar si la resistencia potencial de la mezcla, como lo indica la prueba del cilindro o del cubo, se ha desarrollado en realidad. Ciertamente es posible cortar una muestra de la misma estructura, pero esto da necesariamente como resultado el daño al elemento afectado; además, este procedimiento es demasiado costoso para aplicarlo como método estándar.



*Figura 2.4.1 Se presenta el instrumento que toma los pulsos de Ultrasonido*

*([http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_153\\_164\\_104\\_1437.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf))pag.14*

Por estas razones, se ha intentado medir de manera no destructiva alguna propiedad física del concreto relacionada con su resistencia. Se ha tenido mucho éxito con la determinación de la velocidad de ondas longitudinales en el concreto. No existe ninguna relación especial entre esta velocidad y la resistencia del concreto, pero en condiciones específicas, las dos cantidades se relacionan directamente. El factor común es la densidad del concreto, un cambio en la densidad del concreto da como resultado un cambio de la velocidad de pulso. De manera similar en una mezcla dada, la relación de la densidad real con la densidad potencial (bien compactada) y la resistencia resultante se relacionan estrechamente.

Así pues un descenso en la densidad causado por un incremento en la relación agua cemento debe disminuir tanto la resistencia a la compresión como la velocidad de un pulso a través de éste.

La prueba ultrasónica de la velocidad del pulso, según lo prescrito en ASTM C 597, determina la velocidad de la propagación de un pulso de energía vibratoria a través de un miembro de concreto. El principio operacional del equipo moderno de prueba se ilustra en la Figura.2.4.2 Un transductor envía una onda de corta-duración, señal de alto voltaje a un transductor de recepción, haciendo el transductor vibrar en su frecuencia resonante. En el comienzo del pulso eléctrico, se enciende con un temporizador electrónico. Las vibraciones del transductor se transfieren al concreto a través de un líquido viscoso como acoplador.

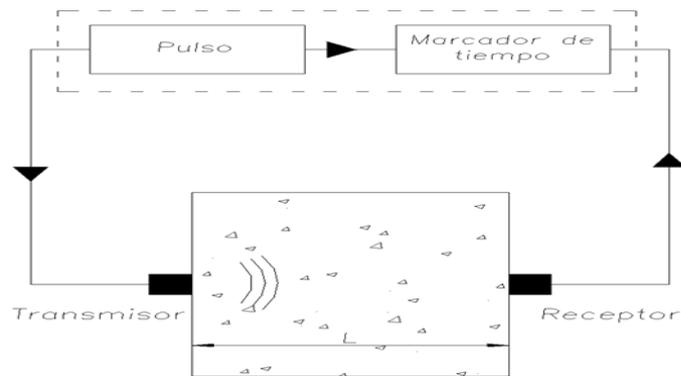


Figura 2.4.2 Esquema del equipo de ensayo de pulsos ultrasónicos

([http://www.biblioteca.udel.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_153\\_164\\_104\\_1437.pdf](http://www.biblioteca.udel.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf)) pag.15

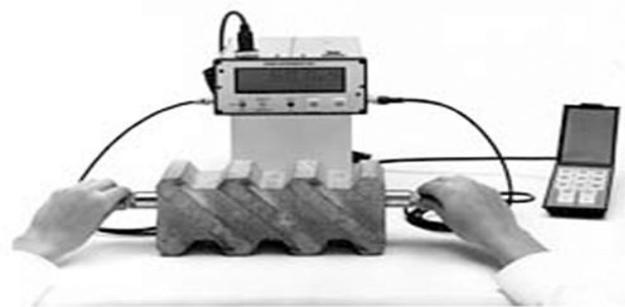


Figura 2.4.3 Esquema de ensayo

([http://www.biblioteca.udel.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_153\\_164\\_104\\_1437.pdf](http://www.biblioteca.udel.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_1437.pdf)) pag.15

El pulso vibratorio viaja a través del miembro y es detectado por un transductor de recepción juntado a la superficie opuesta del concreto. Cuando se recibe el pulso, el temporizador electrónico se da vuelta y se visualiza el tiempo transcurrido del recorrido.

La longitud de camino directa entre los transductores se divide por el tiempo del recorrido para obtener la velocidad del pulso a través del concreto. Es también posible medir la atenuación del pulso ultrasónico pues viaja del transmisor al receptor. [Teodoru 1988].

## 2.5 MÉTODOS ESCLEROMÉTRICOS

Los métodos esclerométricos constituyen ensayos elementales que proporcionan una idea de la resistencia del hormigón, fundándose en la correlación existente entre dicha resistencia y el rechazo de un martillo, o la huella impresa por una bola al chocar contra la superficie de la pieza que se ensaya. Es decir, *estiman la resistencia a partir de la dureza superficial del hormigón.*

Para realizar el ensayo existen varios tipos de aparatos, denominados esclerómetros, entre los que podemos señalar los siguientes:

a) El *martillo Schmidt* (fig. 2.5.1) que mide la resistencia del hormigón en función del rechazo de un martillo ligero, constituido por un pequeño cilindro macizo de acero, al hacerlo chocar con la superficie de la pieza. Debe obtenerse el rechazo medio de varias determinaciones, limpiando y alisando previamente la superficie que se ensaya. Puede resultar útil para determinar la marcha del endurecimiento del hormigón, o para comparar su calidad entre distintas zonas de una misma obra, pero no para controlar la resistencia del hormigón, debido a que la dispersión de las distintas determinaciones es bastante grande y, además, la parte ensayada afecta a una capa superficial de poco espesor.

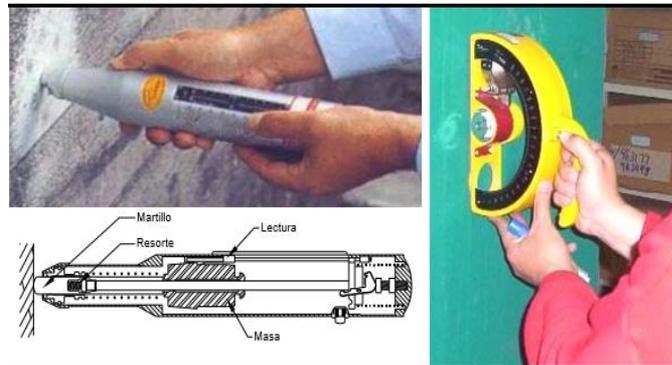


Figura 2.5.1. Esclerómetros de pistón y de péndulo en uso. (Bungey y Millard, 1996).

b) El martillo Frank, que mide la resistencia del hormigón por el diámetro de la huella que deja impresa una bola de acero sobre la que se da un golpe. Para efectuar el ensayo se sigue la norma DIN 4.240, muy fácil de ejecutar; pero, como en el caso anterior, los resultados no tienen gran precisión, por lo que sólo debe emplearse para obtener una idea de la calidad del hormigón o de la marcha de endurecimiento del mismo.

c) El esclerómetro Windsor CT.460, de origen americano, que constituye una de las más recientes aportaciones a este tema. Se basa en aplicar a la superficie del hormigón una especie de clavo de acero extraduro, que se introduce en el material por medio de una carga explosiva. Recuerda en cierto modo al esclerómetro Spit.

Lo que se mide es la profundidad de penetración, que viene relacionada con la resistencia a compresión del hormigón. Se afirma que la reproducibilidad de las medidas es grande y que el ensayo es aplicable a superficies planas y curvas, losas de pequeño espesor, etc., lo cual representa, sin duda, una ventaja respecto al martillo Schmidt (Montoya et al., 1978).

## 2.6 CORAZONES DE CONCRETO

Se llega a recurrir a la extracción de corazones (o probetas) del material, para ensayarlos directamente en el laboratorio; este método necesita mucho trabajo y se causa un daño parcial a la estructura, debiendo realizar el resanado de las aberturas producto de la extracción utilizando morteros de alta resistencia (grouts) o bien químicos epóxicos; de los corazones de concreto extraídos, la primera prueba en la que se piensa es la determinación de la resistencia a compresión, fig.2.6.1, debiendo tomar en cuenta que los resultados pueden llegar a depender de la geometría y tamaño del espécimen (relación de aspecto), frecuentándose recurrir al uso de factores de corrección empíricos para corregir el valor de resistencia obtenida. Otro tipo de ensayos son realizados con la finalidad de determinar características mecánicas como módulos de elasticidad, pruebas al corte y tensión de los corazones de concreto endurecido, inclusive algunas características físicas, tales como la densidad, absorción de agua y petrografía. A nivel químico, los restos derivados de las pruebas pueden aprovecharse, de ser necesario, para determinar la salud y estimar la durabilidad del concreto comúnmente mediante pruebas de carbonatación y contenido de cloruros.



Figura.2.6.1. Extracción, preparación y prueba a compresión de corazón de concreto.(Bungey y Millard, 1996).

## CAPITULO 3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

A pesar de la posibilidad de elegir de una gama de técnicas modernas, fig. 3.1, la inspección visual no deja de ser vital sobre todo en el caso de estructuras ya existentes, al ofrecer la primera impresión cualitativa, quizás puramente intuitiva, pero a partir de la cual, se proponen los lineamientos y metodología a seguir, es decir, se establece, con esta inspección, el primer juicio sobre el que se basará la investigación y todas las actividades que conducirán a una correcta evaluación de la información cuantitativa adquirida y, por consiguiente, la elección de una estrategia más adecuada de rehabilitación a seguir.

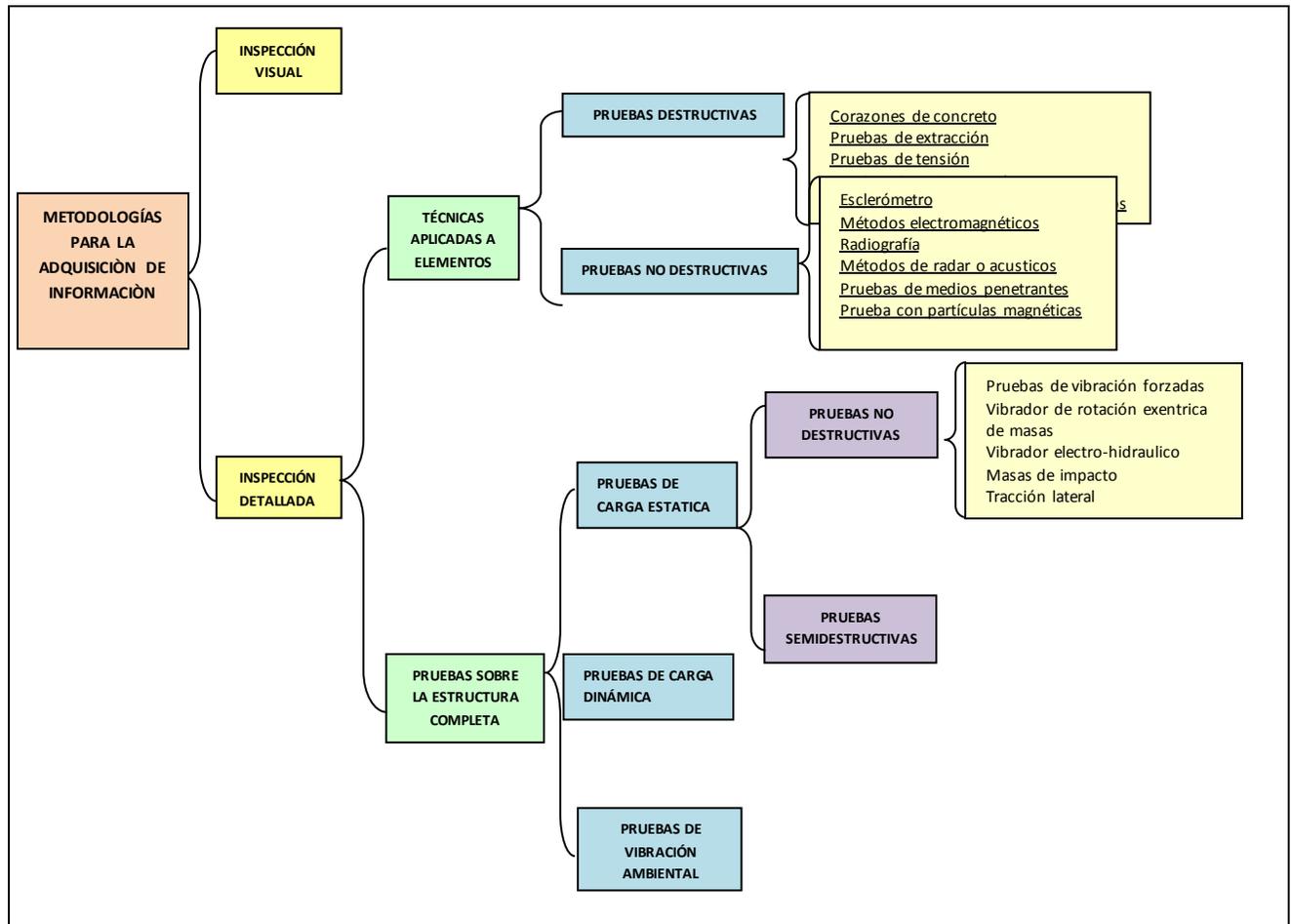


Figura 3.1. Metodologías para la adquisición de información. (<http://docplayer.es/14546903-T-e-s-i-s-universidad-nacional-autonoma-de-mexico-maestro-en-ingenieria.html>) pag.3

Durante la inspección visual se necesita prestar atención especial a factores como:

- Descripción de la estructura, desde la geometría hasta usos y presencia de equipos que, bajo funcionamiento o no, pueden afectar el comportamiento de la estructura.

- Recolección y verificación de toda documentación histórica concerniente al edificio, siendo de mayor importancia aquellos documentos que ofrecen información sobre el diseño estructural original y sus modificaciones, así como reportes de inspecciones previas (de haberse realizado).
- La presencia de grietas, aspecto de los materiales, patrón de formación y posibles causas.
- Deterioro superficial de recubrimientos que pudieran evidenciar un mal comportamiento estructural.
- Identificación de superficies de concreto deterioradas y zonas de exposición del refuerzo, en el caso de estructuras de concreto reforzado.
- Deformaciones claras de la estructura.
- Presencia de humedad, filtraciones de agua, etc.

Dependiendo del material del que está construida la estructura, se pueden observar condiciones anómalas distintivas, en el caso de estructuras de concreto reforzado, agrietamientos, desconchamiento, delaminación, desgaste o abrasión, daños por colisión y sobrecarga. Con la inspección visual inicial se detectarán estos daños, en el caso de las grietas se registrará la longitud, dirección, grado de distensión y clasificación (según su magnitud como de línea fina, media o completamente fallada y, por su origen en estructurales o no estructurales, por asentamiento, por cortante, etc.) resultando útil contar con un grietómetro, que facilite y uniforme la tarea. La presencia de humedad o manchas de moho en su periferia indicará la presencia de filtraciones, obligando a investigar la existencia de delaminación y corrosión del acero de refuerzo debido a la intrusión de cloruros o de sales. Para identificar este efecto en áreas sospechosas, como prueba de primera instancia, es conveniente recurrir al sonido producido por el golpeteo de un martillo; de producirse un sonido hueco (como caja de resonancia) puede indicar la falta de integridad del concreto. [9]

En el caso de miembros de acero, los daños más recurrentes son debidos a corrosión, colisiones, sobrecarga y fisuras (agrietamientos). Las fisuras inician generalmente en zonas de concentración de esfuerzos como conexiones y extremos de terminación de soldaduras; pudiéndose propagar después a través de la sección hasta fracturar el miembro. Cuando la estructura se encuentra pintada, el deterioro en la pintura acompañada por manchas de moho, pueden indicar la existencia de una grieta, conviniendo limpiar e inspeccionar la zona. De presentarse problemas se pueden realizar pruebas adicionales como el uso de tintes penetrantes para identificar y determinar el grado de avería. De igual modo que para el concreto reforzado, tanto para fisuras como daños por corrosión, se deberán identificar y registrar las causas, localización y grado de deterioro, para un análisis posterior.

Como se mencionó, los resultados deben ser descritos detalladamente y calificados, a juicio del examinador, según el nivel de gravedad. Debido a que usualmente la extensión de la estructura puede hacer pesada esta labor, es recomendable preparar previamente formatos de inspección que sirvan para agilizar la tarea de registro durante y después de la inspección. Analizando en su totalidad estas observaciones, se podrá definir la condición de la estructura y, conforme los resultados obtenidos se determinan las medidas pertinentes a tomar.

### 3.1 COMPORTAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA DURANTE SU VIDA ÚTIL.

Idealmente los niveles y estrategias óptimas de mantenimiento, se deben plantear y resolver desde una perspectiva de análisis de costos, en el cual se compare la vida útil de la estructura contra el nivel de seguridad conforme transcurre el tiempo, aumentando el nivel de seguridad según se requiera, de forma que se garanticen mínimamente las condiciones últimas,<sup>[9]</sup> fig.1.1, buscando reducir razonablemente el costo total de la estructura dado por la expresión 1.1:

$$C_{TC} = C_{MP} + C_{IN} + C_{MC} + C_{FA}$$

Dónde:

$C_{TC}$  = Costo total después de concluida

$M_{MP}$  = Costo de mantenimiento preventivo

$C_{IN}$  = Costo de inspección y supervisión

$C_{MC}$  = Costo por mantenimiento correctivo

$F_{AC}$  = Costo de la falla

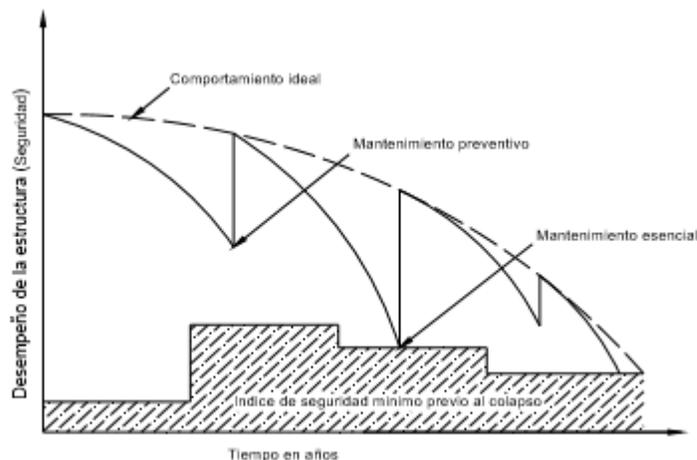


Figura 1.1. Curva de comportamiento de una estructura durante su vida útil (Aktan, Bergmaister y Catbas, 2002)

Como puede observarse, el principal costo en una estructura, aparte del inicial por construcción, es el derivado del mantenimiento requerido para que la estructura tenga un nivel aceptable de funcionamiento, existiendo básicamente dos tipos de mantenimiento, a saber, mantenimiento preventivo y correctivo. El preventivo se realiza cuando el funcionamiento estructural está sobre el índice de la confiabilidad objetivo (no se sobrepasa tal), mientras que se emprenderá el mantenimiento esencial cuando el funcionamiento haya rebasado el límite de seguridad establecido como valor objetivo.

La inspección puede decirse que es un reconocimiento visual no destructivo de todas las partes visibles de la estructura, cuyo propósito es realizar una descripción de la condición general del comportamiento entero de la infraestructura, y revelar daño significativo a su debido tiempo, para poder realizar trabajos de rehabilitación cuando resulte necesario, tomando en consideración los aspectos económicos y seguridad. Para el caso, se busca que el costo agregado por sistemas de inspección, supervisión y mantenimiento perpetuo, protejan la inversión (construcción) y al público usuario.

Existen numerosas técnicas no destructivas cada vez más complejas para probar y evaluar estructuras, inicialmente desarrolladas sobre todo para sistemas de transporte, aeronáutica e industria militar, pero que poco a poco han sido incorporadas a la infraestructura civil, llevando a un elevado desarrollo de tecnologías para detección y caracterización de daños en materiales y estructuras que, combinadas con técnicas de procesamiento de datos actuales, ha dado lugar a un interés significativo en herramientas de diagnóstico para supervisión de integridad estructural y detección de la degradación de éstas. De esta manera, la mayoría de las líneas de trabajo actual están enfocadas al desarrollo de métodos que permitan el paso del modo de supervisión eventual a sistemas de operación continua, diseñando sistemas sensoriales que obtengan información sobre el cómo se está comportando una estructura en servicio, durante la construcción o posteriormente, concibiendo dispositivos de detección, tales como sensores de fibra óptica integrados a la estructura (FOSs), que pueden proporcionar información para la supervisión de la estructura de forma remota y continua, es decir, en tiempo real.

Con el desarrollo de este tipo de sistemas en estructuras nuevas, se ha llegado a acuñar el concepto de estructuras inteligentes, al ofrecer información de ciertos indicadores que sirven como parámetros sobre la condición de la estructura durante eventos aleatorios específicos, que, de ser analizados y deducir el por qué de este comportamiento, permitirán incorporar herramientas coherentes y comprensibles a fin de contribuir en gran medida a mejorar el diseño estructural moderno.

---

[9] <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2699/silvalang.pdf?sequence>

#### 4.0 UBICACIÓN

Se trata de una estructura construida con concreto reforzado, con planta fundamentalmente rectangular con cinco niveles, tres crujiás en ambas direcciones principales, la ubicación de este inmueble, de acuerdo con la Norma Técnica Complementaria para Diseño por Sismo (NTC-DS) del Distrito Federal (RCDF). Se encuentra en Zona I (Lomerío) como se observa en la fig.4.0.1, de la zonificación mostrada. Este edificio se encuentra localizado sobre “Blvd. Adolfo López mateos 77, Mixcoac, Ciudad de México, Cd. Mx.”. Fig. 4.02

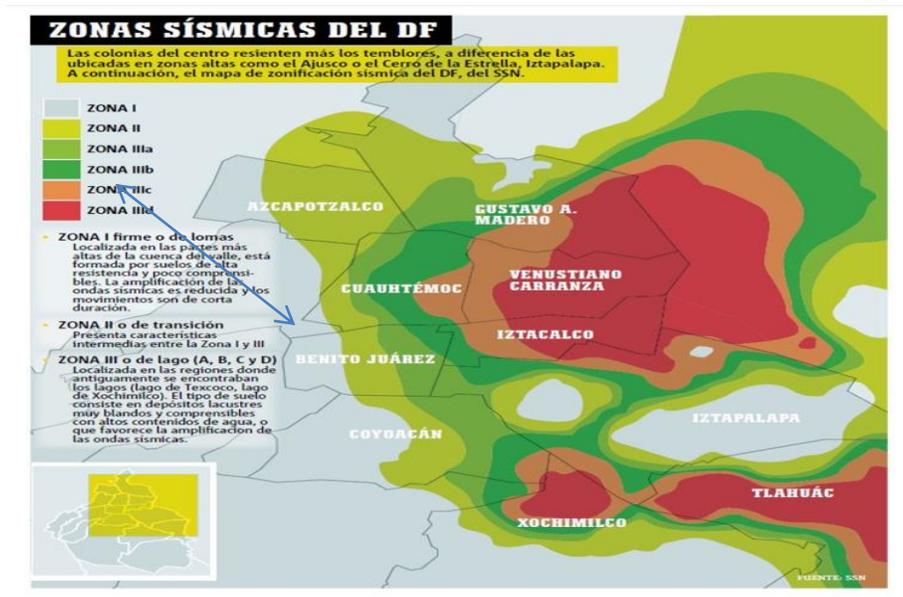


Fig. 4.0.1



Fig. 4.0.2 “Blvd. Adolfo López Mateos 77, Mixcoac, Ciudad De México, Cdmx”

El inmueble está desplantado sobre terreno lomerío en la Cd. de México, zona I, de acuerdo con la clasificación de la propuesta por las NTC- DS (2004), con un periodo dominante del suelo por debajo de 0.7 seg de acuerdo al mapa de isoperiodos propuesto en las NTC-SISMO.

Estudio de vibración ambiental: Se realizó un estudio de vibración ambiental para el análisis estructural del edificio de Av. Adolfo López Mateos 77, en el que se registraron pequeñas vibraciones, producto de excitaciones ambientales; encaminado a la determinación de las propiedades dinámicas del inmueble de una forma rápida y eficiente que no contemplo una instrumentación a largo plazo.

#### **GENERALIDADES:**

El deterioro de las estructuras puede ser causado por la corrosión, defectos constructivos, catástrofes naturales, u otro factor. Entre los síntomas patológicos más importantes que pueden aparecer en el concreto se encuentran: la aparición de rugosidades superficiales, la formación de una película superficial producida por la reacción química entre agentes agresivos y el concreto endurecido, cambios de coloración, aparición de exfoliaciones y fisuras, etc. La inspección preliminar en un edificio y/o elemento, es una primera aproximación que tiene por finalidad analizar el estado actual de la estructura. Los resultados de esta inspección provienen de un reconocimiento visual, que luego se complementará con pruebas o ensayos "in situ" o de laboratorio sobre sus materiales componentes, con el objeto de obtener entre otras la siguiente información:

- Estimar la calidad aparente del concreto.
- Determinar el espesor del recubrimiento.
- Determinar la profundidad del frente carbonatado.
- Graduar la importancia de la corrosión. • Medir la pérdida de sección en las armaduras.
- Determinar el contenido en cloruros.
- Realizar ensayos de resistencia a compresión.
- Otros. Las muestras deben extraerse de unidades de inspección distintas, repartiéndolas de la manera más representativa y los ensayos a realizar pueden ser destructivos o no destructivos. La localización de las muestras debe realizarse teniendo en cuenta su consistencia con los objetivos de la investigación. Los ensayos destructivos básicamente, consisten en la extracción de testigos de una estructura, de forma cilíndrica, y extraídos en lugares que sean representativos del concreto circundante. Con cada probeta, se puede obtener la resistencia a compresión del concreto, además de efectuar pruebas de carbonatación, cloruros y otros. Las ventajas de los ensayos no destructivos radican en su relativa simplicidad, rapidez y en la posibilidad de realizar un alto número de determinaciones sobre la estructura.

De esta manera es factible evaluar la homogeneidad de la misma sin comprometer su integridad. Algunos de estos métodos no destructivos tienen amplia difusión, y son utilizados en forma combinada o como complemento de evaluaciones realizadas mediante ensayos destructivos. Entre los ensayos de mayor difusión se pueden mencionar: ensayo de esclerometría, ensayo de ultrasonido, velocidad de corrosión y resistividad.

*file:///C:/Users/Daniel/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge\_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/Evaluación\_de\_la\_resistencia\_a\_compresión\_in\_situ\_en\_estructuras.pdf*

#### **TAMAÑO DE LA MUESTRA:**

Con fines de información proporcionamos las distintas normas que indican los tamaños de las muestras en concreto.

El número de testigos a extraer en una región de ensayo debe determinarse según el volumen de concreto implicado y el propósito de la determinación. Lógicamente, la precisión de la determinación de la resistencia estimada del concreto de una estructura aumenta con el número de testigos. Por ejemplo el informe CSTR 11 [2] indica que para la determinación de la resistencia in-situ en un punto determinado, la estimación a partir de un único testigo está en el rango de error de un  $\pm 12\%$  de la resistencia real y que por tanto para  $n$  testigos, la resistencia media está en el  $12/\% n^{\pm}$ . El informe ACI 214.4R [3] también da valores del  $12\%$  para un único testigo pero ofrece un número recomendado de éstos según el coeficiente de variación estimado de la resistencia in-situ y el error máximo,  $e$ , que se quiera obtener en los resultados.

Evaluación de la resistencia a compresión in-situ en estructuras

$$n = \left( \frac{2V}{e} \right)^2$$

Como se puede observar en la siguiente figura el beneficio que se obtiene al aumentar el tamaño de la muestra, disminuye con ésta.

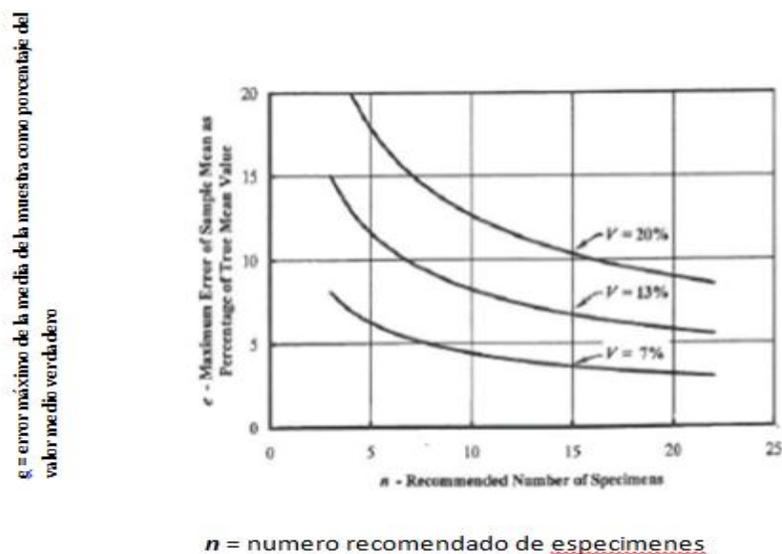


Fig.1 Número de probetas testigo en función del error máximo, (ASTM C 823)

La norma ASTM C 823 [3] expone que al menos 5 testigos se deben obtener por cada elemento de concreto especificado. La UNE-EN 13791[4] deja constancia de que para la evaluación de la resistencia *in situ* por razones estadísticas y de seguridad, deberían extraerse tantos testigos como fuera practicable. La evaluación debe basarse en al menos tres testigos. La norma UNE-EN 12504-1 [5] describe el procedimiento de extracción y conservación de testigos, sin entrar en detalles en cuanto al muestreo o interpretación de resultados.

[2] CSTR 11 Concrete Society Technical Report N°11 "Concrete core testing for strength" [3] ACI 214.4R-03 "Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results"

#### 4.1 CARACTERÍSTICAS TIPO DE INSTRUMENTACIÓN

##### ESCLERÓMETRO SCHMIDT

Este aparato resulta útil para determinar la fuerza resistente a compresión en superficies de concreto de una forma rápida y sin el inconveniente de provocar daño a los elementos. Su funcionamiento consiste en un mecanismo por el cual un perno de metal colocado en el extremo se coloca normal a la superficie de concreto, entonces, dentro del dispositivo, cierto peso (martillo) se acelera por un resorte y golpea al perno del metal contra el concreto, produciéndose un efecto cinético debida a la energía de impacto, siendo despedido el perno hacia atrás (rebote). Esta energía es medida registrando la distancia que el peso recorre, en contra del resorte cuando se produce el rebote, proporcionando un índice que, mediante correlación, permite estimar la resistencia del concreto, fig 4.1 y 4.2



Fig 4.1

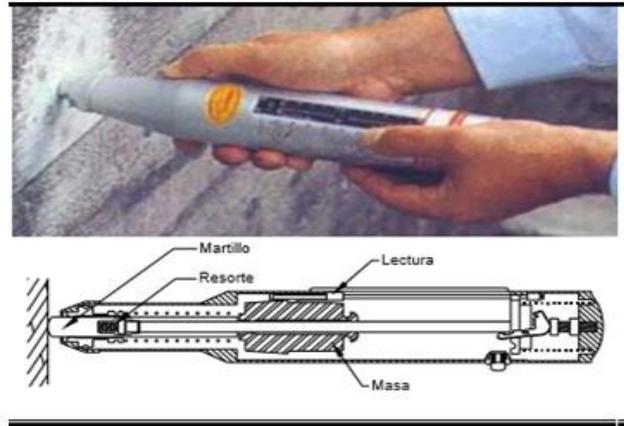


fig 4.2

### Especificaciones Técnicas.<sup>1</sup>

Energía de impacto, modelo N	2.207 Nm (1.63 lbf)
Energía de impacto, modelo L	0.735 Nm (0.54 lbf)
Rango de resistencia a la compresión de hormigón, modelos N/L	De 10 a 100 MPa (de 1450 a 14500 psi)
Rango de resistencia a la compresión de hormigón, modelo L con punzón seta	De 5 a 30 MPa (de 725 a 4351 psi)
Dimensiones de la caja	55 x 55 x 255mm (2.16" x 2.16" x 9.84")
Peso	570 g (1.3 lb)
Impactos máx. por serie	99
Capacidad de memoria (sólo versión PC)	Aprox. 400 series de 10 impactos Aprox. 200 series de 20 impactos
Capacidad de memoria útil, versión ST	Las últimas 20 series pueden ser revisadas en la lista de datos
Pantalla	17 x 71 pixeles, gráfica
Vida de batería	>5000 impactos entre cargas
Conexión de cargador	USB tipo B (5 V, 100 mA)
Temperatura de servicio	De 0 a 50 °C (de 32 a 122 °F)
Temperatura de almacenamiento	De -10 a 70 °C (de 14 a 158 °F)

<sup>1</sup><https://es.slideshare.net/irwinborrero/manual-de-operacion-esclerometro>

Este ensayo no sustituye la determinación del esfuerzo de ruptura a la compresión por medio de las probetas normalizadas ensayadas en un laboratorio.

Cuando se presiona el botón de disparo, y se activa al martillo, se libera instantáneamente una masa que choca contra la superficie inspeccionada, que reacciona, provocando un rebote. Este se traduce en el desplazamiento, en sentido contrario al inicial, arrastrando un indicador que queda señalando sobre una escala, que nos proporcionara el valor correspondiente de la resistencia estimada en esa localidad. Cuanto más duro y compacto sea el concreto, mayor será el rebote.

Los valores obtenidos de índice de rebote son adimensionales. Para traducir este valor a la resistencia a compresión, cada esclerómetro tiene una curva dimensionada, de acuerdo con sus características, y en algunos casos, con los concretos típicos de la zona.

Un valor general lo determinan las siguientes ecuaciones que configuran lo que se denomina curva básica:

Para un índice de rebote entre 20 y 24:  $F_c = 1,73 \times IR - 34,5$

Para un índice de rebote entre 25 y 50:  $F_c = 1,25 \times IR - 23,0$

<http://www.ozdiagnostico.pt/fichas/IF%20043.pdf>

## 4.2 DATOS RECADADOS

Se trazaron ejes en la trayectoria de columnas y muros; realizándose pruebas sobre los elementos columna y muros además de hacerlo sobre sus contravientos.

Valores característicos del análisis estadístico que se obtendrán de los elementos estructurales muestreados

$$x = \frac{\sum_{(i=1)} \sigma}{n} \quad \text{Promedio}$$

Promedio =  $\sum$  de elementos de la columna/ num de elementos.

Desviación estándar =  $\sqrt{\text{varianza}}$

Resistencia =  $0.009(\text{promedio} - \text{des. est.})^2 + 0.727(\text{promedio} - \text{des. est.}) - 10.23$

## NIVEL 1

	eje 2	DIAGONAL	eje 2'	eje 3'	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje D
	42	46	48	45	42	52	48	48	44
	46	44	50	46	43	50	48	48	45
	46	42	46	47	48	52	48	52	44
	42	46	48	48	42	40	52	54	
	44	44	48	48	42	45	50	54	
	42	42	48	50	43	47	54	48	
	44		42	54	50	50	46	42	
	46		44	54	49	50	46	42	
	46		46	50	48	50	49	48	
	50			48	44	47	52	50	
	48			49	44	46	50	48	
	42			52	40	40	51	46	
	48			46	48	47			
	48			54	48	50			
	46			52	50	45			
				50					
				48					
				48					
<b>Promedio</b>	45.33	44.00	46.67	49.39	45.40	47.40	49.50	48.33	44.33
<b>Desv Est</b>	2.6	1.8	2.4	2.8	3.4	3.8	2.5	3.9	0.6
<b>Resistencia</b>	37.3	36.5	39.5	43.1	36.2	38.6	43.9	39.9	38.8

CONTINUACION HORIZONTAL DE TABLA NIVEL 1

RAMPA 2	RAMPA 4	muro 1	muro 2	muro 3	muro 4	
40	50	50	51	40	50	
42	48	48	51	40	46	
46	48	48	44	37	46	
46			50	44	34	
44			48	44	34	
42			42	44	36	
43.33	48.67	48.67	47.67	41.50	41.00	
2.4	1.2	1.2	3.8	2.9	7.1	
34.6	44.6	44.6	38.9	31.2	24.7	38.2

## NIVEL 2

	eje 1´	eje 2	DIAGONAL	eje 2´	eje 3´	eje A	eje A´	eje B	eje C	eje D	eje E	eje F
	50	46	50	50	42	50	48	50	50	50	54	48
	52	47	48	50	42	48	49	50	46	58	50	45
	50	49	48	53	44	46	50	49	48	58	50	50
	42	44	50	45	48	42	48	48	50	46	48	50
	42	44	48	49	48	44	46	48	50	48	40	46
	46	48	47	51	42	48	44	54	52	52	44	42
		44		50	48	45	45	48	50	40	48	48
		44		52	42	45	45	44	50	38	42	54
		42		48	44	45	40	52	52	42	44	55
		50				54		50	48	46	46	
		50				55		52	46	45	47	
		50				50		48	42	40	43	
		52										
		52										
		50										
		48										
		47										
		48										
		46										
<b>Promedio</b>	47.00	47.42	48.50	49.78	44.44	47.67		49.42	48.67	46.92	46.33	48.67
<b>Desv.Est.</b>	4.3	2.9	1.2	2.3	2.8	4.0		2.6	2.9	6.7	4.0	4.2
<b>Resistencia</b>	37.2	40.0	44.3	44.5	35.7	38.7	10.2	43.6	41.9	33.6	36.7	40.0

## CONTINUACIÓN HORIZONTAL DE TABLA NIVEL 2

	RAMPA 2	RAMPA 3	RAMPA 4	muro 1	muro 2	muro 3	muro 4	muro 5	muro 6	
<b>50</b>	50	48	40	44	44	44	42	42		
<b>50</b>	48	46	41	44	42	38	44	42		
<b>46</b>	46	42	42	44	46	40	48	40		
<b>46</b>	48			40	50	44	46	46		
<b>46</b>	48			36	52	42	46	48		
<b>45</b>	45			32	48	44	46	46		
									46	
									50	
									52	
									48	
									50	
									54	
<b>47.17</b>	47.50	45.33	41.00	40.00	47.00	42.00	45.33	47.00		
<b>2.2</b>	1.8	3.1	1.0	5.1	3.7	2.5	2.1	4.2		
<b>40.6</b>	41.9	36.6	33.3	26.2	38.1	32.5	38.1	37.3	<b>35.7</b>	

NIVEL 3

	eje 1'	eje 2	DIAGONAL	eje 2'	eje 3'	eje A	Eje A'	eje B	eje C	eje D	eje E
	42	50	44	44	46	48	48	48	50	48	38
	44	50	40	44	48	48	54	46	50	50	38
	44	48	40	48	50	50	54	52	50	46	40
	52	48	52	48	46	48	50	52	44	48	42
	50	48	48	52	41	46	50	54	45	48	42
	54	48	44	52	39	46	50	56	46	46	46
		50		44	50	46	49	50	50	44	46
		49		44	48	50	52	48	50	46	46
		48		48	48	55	54	46	48	46	50
		44				52		48	46	49	44
		40				52		48	42	42	46
		38				46		46	42	48	48
		54				50				48	
		50				54					
		50				48					
		46									
		46									
		48									
		42									
<b>Promedio</b>	47.67	47.21	44.67	47.11	46.22	49.27	51.22	49.50	46.92	46.85	43.83
<b>DesvEst</b>	5.0	3.9	4.7	3.3	3.8	2.9	2.3	3.3	3.2	2.2	3.9
<b>Resistencia</b>	37.2	38.2	33.2	38.8	36.8	42.8	46.8	42.5	38.8	40.2	33.2



## NIVEL 4

	<i>eje 1'</i>	<i>eje 2</i>	<i>DIAGONAL</i>	<i>eje 2'</i>	<i>eje 3'</i>	<i>eje A</i>	<i>Eje A'</i>	<i>eje B</i>	<i>eje C</i>	<i>eje D</i>
	50	46	52	48	40	40	52	54	36	52
	49	44	54	48	40	40	52	50	34	50
	48	48	48	50	40	40	54	50	33	58
	42	44	54	50	50	40	48	48	38	52
	40	44	50	50	50	40	48	50	39	56
	39	54	52	51	50	44	45	47	40	58
		52			50	46	50	50	52	50
		53			48	44	52	52	55	52
		46			50	41	56	54	54	49
		52				42		56	54	52
		44				39		55	55	50
		52				50		52	54	48
		50				56		50		
		48				50		56		
		54						54		
		52						54		
		52						52		
		48						48		
		46								
Promedio	44.67	48.89	51.67	49.50	46.44	43.71	50.78	51.78	45.33	52.25
DesvEst	4.9	3.7	2.3	1.2	4.9	5.1	3.4	2.8	9.3	3.4
Resistencia	32.9	41.1	47.5	45.8	35.5	31.3	44.4	47.0	27.7	<b>46.8</b>

CONTINUACIÓN HORIZONTAL DE TABLA NIVEL 4

eje E	eje F	RAMPA 3	RAMPA 4	muro 1	muro 2	muro 3	muro 4	muro 5	muro 6	
49	42	56	42	46	42	46	39	46	48	
50	46	40	41	46	46	50	41	44	44	
49	48	44	40	50	40	47	42	34	50	
50	48	39	42		44	46	41	42	44	
50	46	39	44		43	45	42	40	44	
52	44	39	38		42	52	44	38	48	
46	50									
50	49							46	48	
48	48							44	44	
48	50							34	50	
48	44							42	44	
52	48							40	44	
								38	48	
<b>49.33</b>	46.92	42.83	41.17	47.33	42.83	47.67	41.50	40.67	46.33	
<b>1.7</b>	2.5	6.7	2.0	2.3	2.0	2.7	1.6	4.1	2.5	
<b>44.8</b>	39.8	27.7	32.0	40.7	34.4	40.6	33.0	28.4	38.9	<b>38.0</b>

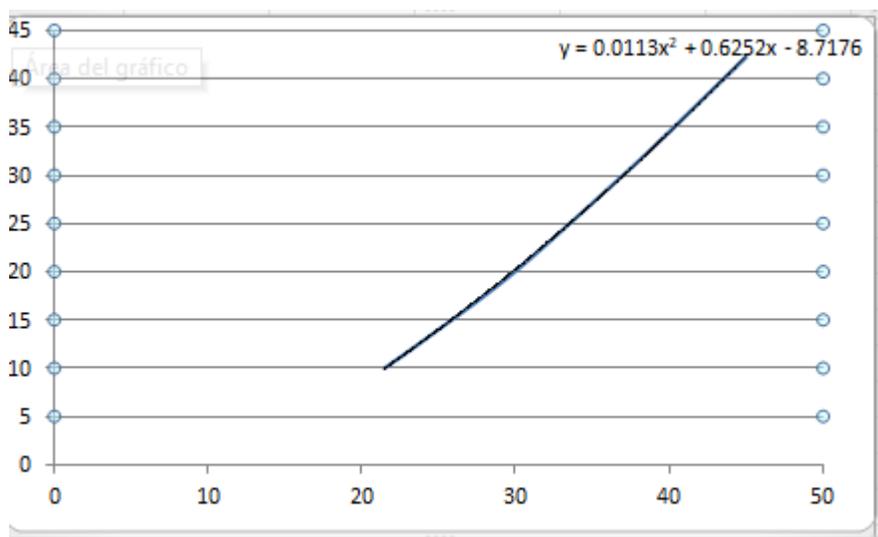


4.3 CARACTERÍSTICAS DE LA RESISTENCIA DE CONCRETO OBTENIDOS

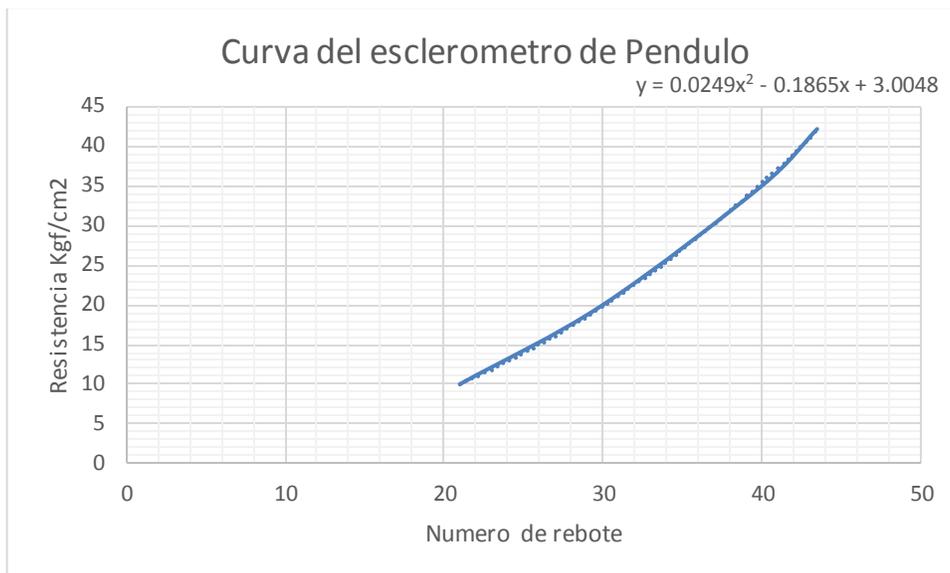
Obtenemos el promedio general= suma de promedios de cada nivel/ núm. de niveles.

185.0

		37.0	N/mm <sup>2</sup>
<b>Promedio General</b>		<b>370</b>	<b>kgf/cm<sup>2</sup></b>



$$y = 0.009x^2 + 0.727x - 10.23$$



Obteniendo el promedio de todos los ensayos tenemos:

42	46	44	52	48	50	49	48	44	52	44	50	46
46	45	40	50	51	50	51	48	46	50	48	54	50
46	46	48	51	51	50	50	54	47	54	48	48	50
42	47	48	48	44	52	52	48	43	50	52	48	48
44	48	50	48	50	52	48	44	50	50	52	54	46
42	48	52	52	48	50	50	52	58	48	44	54	42
44	50	50	54	42	48	48	50	58	48	44	50	42
46	54	52	54	40	47	46	52	46	48	48	50	48
46	54	40	48	40	48	42	48	48	48	46	50	50
50	50	45	42	37	46	44	50	52	50	48	49	46
48	48	47	42	44	50	48	46	40	49	50	52	48
42	49	50	48	44	48	45	48	38	48	46	54	48
48	52	50	50	44	48	45	50	42	44	41	48	46
48	46	50	48	45	50	45	50	46	40	39	46	44
46	54	47	46	50	48	54	52	45	38	50	52	46
46	52	46	44	52	47	55	50	40	54	48	52	46
44	50	40	45	50	42	50	50	48	50	48	54	49
42	48	47	44	42	42	48	52	45	50	48	56	42
46	48	50	40	42	44	49	48	50	46	48	50	48
44	42	45	42	46	48	50	46	50	46	50	48	48
42	43	48	46	46	48	48	42	46	48	48	46	38
48	48	48	46	47	42	46	54	42	42	46	48	38
50	42	48	44	49	48	44	50	48	44	46	48	40
46	42	52	42	44	42	45	50	54	40	46	46	42
48	43	50	50	44	44	45	48	55	40	50	50	42
48	50	54	48	48	50	40	40	53	52	55	50	46
48	49	46	48	44	50	50	44	42	48	52	50	46
42	48	46	50	44	53	50	48	44	44	52	44	46
44	44	49	48	42	45	49	42	44	44	46	45	50

44	46	46	38	48	48	52	33	50	46	34	50	40	41	46
46	34	48	36	42	48	52	38	48	46	42	54	56	50	48
48	38	48	38	40	50	54	39	48	50	40	51	58	46	46
50	36	45	38	39	50	48	40	48	42	38	46	60	42	48
50	38	50	40	46	50	48	52	52	46	48	52	50	50	40
48	40	50	48	44	51	45	55	42	40	44	43	44	44	46
50	38	46	50	48	40	50	54	46	44	50	43	44	42	42
52	36	46	44	44	40	52	54	48	43	44	54	44	44	
48	40	46	48	44	40	56	55	48	42	44	47	56	52	
44	42	45	48	54	50	54	54	46	46	48	48	54	50	
48	40	42	46	52	50	50	52	44	50	48	49	56	46	
44	38	42	46	53	50	50	50	50	47	44	50	50	47	
42	36	40	45	46	50	48	58	49	46	50	49	52	46	
42	42	46	42	52	48	50	52	48	45	44	51	56	42	
44	42	48	46	44	50	47	56	50	52	44	50	54	50	
40	44	46	46	52	40	50	58	44	39	48	50	52	46	
40	44	46	48	50	40	52	50	48	41		56	50	45	
46	44	50	44	48	40	54	52	56	42	43	50	52	46	
44	40	52	46	54	40	56	49	40	41	42	50	50	50	
46	36	48	44	52	40	55	52	44	42	38	48	49	41	
42	32	50	40	52	44	52	50	39	44	47	43	54	42	
48	40	54	38	48	46	50	48	39	46	79	44	52	40	
44	41	48	42	46	44	56	49	39	44	52	50	51	45	
40	42	48	44	52	41	54	50	42	34	44	50	48	46	
45	48	46	45	54	42	54	49	41	42	42	50	50	36	
42	46	36	40	48	39	52	50	40	40	48	46	52	38	
44	42	36		54	50	48	50	42	38	50	40	50	44	
40	50	40	50	50	56	36	52	44	46	44	50	41	38	
38	48	38	49	52	50	34	46	38	44	46	46	44	34	

	Promedio	<b>46.7544529</b>	
	DesvEst	<b>4.75402738</b>	
	Promedio- DesvEst	<b>42.0004255</b>	
	Esfuerzo Asociado	<b>36.2</b>	<b>N/mm2</b>
	Esfuerzo Asociado	<b>362</b>	<b>kg/cm2</b>

## 5.0 UBICACIÓN

Descripción de edificio estudiado con péndulo esclerométrico

Ubicación: Carlos Echanove 136, Colonia Jardines de la Palma, Cuajimalpa, Ciudad de México.  
Fig. 5.1 y 5.2

A partir del primer nivel, se localiza la zona habitacional, la cual da cabida a 60 viviendas, edificio desarrollado en 16 niveles, cada nivel cuenta con cuatro departamentos distribuidos en forma de H.



Fig. 5.1

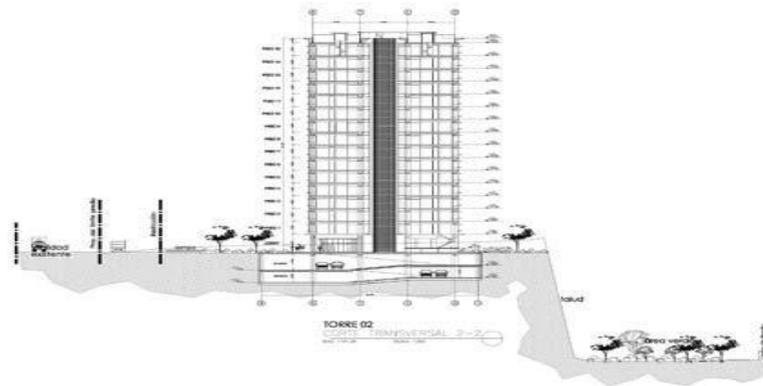


Fig. 5.2



Fig. 5.3

## 5.2. CARACTERÍSTICAS Y TIPO DE INSTRUMENTO

### ESCLERÓMETRO DE PÉNDULO

Es un aparato que permite obtener *in situ*, de forma simple y no destructiva, la resistencia a la compresión del concreto y morteros de albañilería. (5.2.1)

El ensayo es útil para evaluar la homogeneidad del material, verificar si existe un determinado nivel mínimo de resistencia y tomar decisiones acerca de la necesidad de realizar ensayos más completos. La tensión de rotura a compresión, referente a probetas cúbicas o cilíndricas, es estimada en base a su correlación con el índice esclerométrico.



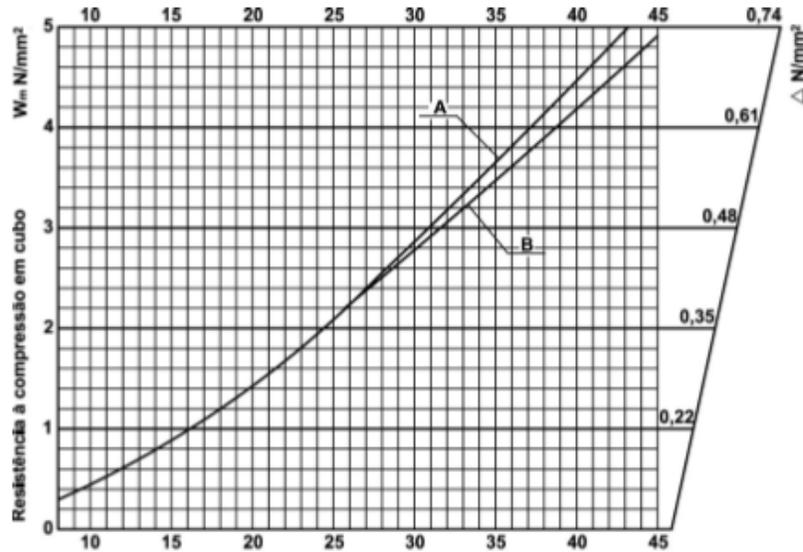
Fig. 5.2.1 Esclerómetro de Péndulo Tipo Pt

Cuando se presiona el botón de disparo, se libera instantáneamente una masa que choca contra la superficie a ensayar, que reacciona, provocando un rebote. Este resalto se traduce en un desplazamiento, en sentido contrario al inicial, de la cabeza del péndulo que, alcanzando el desplazamiento máximo, es trabado por dispositivo específico, pudiendo leerse el valor

correspondiente en la escala del equipo. Cuanto más dura y compacta sea el mortero, mayor será el rebote.

El valor de referencia obtenido a través de la escala del aparato - índice esclerométrico - permite evaluar el valor de la resistencia a la compresión del material, teniendo en cuenta la posición del esclerómetro con la superficie ensayada (vertical u horizontal).

<http://www.oz-diagnostico.pt/fichas/1F%20043.pdf>



A - Ensayo en concreto B - Ensayo en muros

Fig. 5.2.2 Curva representativa de la resistencia para el esclerómetro del tipo Pt

<http://www.oz-diagnostico.pt/fichas/1F%20043.pdf>

### 5.3. DATOS RECABADOS

Variables calculadas para cada eje.

Promedio =  $\sum$  de elementos de la columna/ núm. de elementos.

Desviación estándar =  $\sqrt{\text{varianza}}$

Resistencia =  $0.00351(\text{promedio} - \text{des. est.})^2 + 0.7264(\text{promedio} - \text{des. est.}) - 8.4$







**NIVEL 7**

	EJE 1	EJE 2	DIAGONAL	EJE 2'	EJE 3'	EJE A	EJE A'	EJE B	EJE C	EJE D	EJE E	
	87	87	82	80	90	95	79	80	86	102	89	
	82	80	88	86	80	80	81	95	89	96	89	
	82	81	88	84	84	81	81	80	89	98	84	
	83	83	85	83	83	86	80	91	91	82		
	80	87	85	80		93		85	92	79		
	85	94				80		91	89			
	83	84				92		80	83			
	87	87				88		80	81			
		85						81	83			
		85						81	76			
		99						81	79			
		81						80	84			
		101						82				
		104						83				
		107						85				
		98										
		91										
		87										
		90										
<b>Promedio</b>	83.63	90.05	85.60	82.60	84.25	86.88	80.25	83.67	85.17	91.40	87.33	
<b>DesvEst</b>	2.5	8.2	2.5	2.6	4.2	6.1	1.0	4.9	5.0	10.2	2.9	
<b>Resistencia</b>	37.0	37.7	38.7	36.1	36.1	36.7	35.5	35.1	36.2	37.1	39.9	<b>36.9</b>

**NIVEL 8**

	<i>eje 1</i>	<i>eje 2</i>	<i>diagonal</i>	<i>eje 2'</i>	<i>eje 3'</i>	<i>eje A</i>	<i>eje A'</i>	<i>eje B</i>	<i>eje C</i>	<i>eje D</i>	<i>eje E</i>	
	88	84	68	97	82	86	119	91	90	85	88	
	91	83	81	97	85	80	116	94	84	92	91	
	96	83	80	99	86	90	116	95	87	91	90	
	76	84	90	86	82	89	118	80	87	84	79	
	84	90	80	92		88	119	81	95	87	79	
	97	87		92		89	90	84	88	90	78	
	96	97		98		89	89		87			
	87	87				84	83		89			
	88	86										
	79	90										
	85	78										
	86	88										
	82	95										
	82	97										
		84										
		88										
		91										
		86										
		83										
		83										
		84										
		85										
<b>Promedio</b>	86.93	86.95	79.80	94.43	83.75	86.8	106.25	87.5	88.3	88.17	84.1	
<b>DesvEst</b>	6.4	4.8	7.8	4.6	2.1	3.4	15.8	6.7	3.2	3.3	6.1	
<b>Resistencia</b>	36.6	37.9	29.6	44.6	37.5	39.0	45.2	36.8	40.5	40.2	34.5	<b>38.4</b>

**NIVEL 9**

	eje 1	eje 2	eje 2'	eje 3'	eje B	eje C	eje D	eje E	
	85	88	95	80	82	82	85	90	
	80	84	92	82	81	86	86	86	
	82	87	87	85	88	86	81	84	
	90	90	93	86	88	84	82	87	
	88	83	91	90	80	92	80	97	
	88	79		84	83	89			
	81	86		80					
	84	83		90					
	87	85		80					
		84		86					
		78							
		100							
		99							
		100							
		103							
		100							
		79							
		79							
		80							
		81							
		90							
		88							
		85							
		89							
<b>Promedio</b>	85.00	87.50	91.60	84.30	83.67	86.50	82.80	88.80	
<b>DesvEst</b>	3.5	7.6	3.0	3.8	3.5	3.6	2.6	5.1	
<b>Resistencia</b>	37.4	36.0	43.6	36.5	36.2	38.6	36.3	39.3	<b>38,0</b>

**NIVEL 10**

	eje 1	eje 2	diagonal	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje E	
	89	85	75	82	80	83	88	82	
	83	85	80	83	94	80	85	83	
	83	83	72	83	90	82	86	86	
	80	84	77	85	79		89		
	86	81	85	76	75		90		
	78	82	82	80	81		88		
	86	79		78	86		92		
	88	80		88	88		83		
	94	77		88	75				
	90	79		85	83				
	90	89							
	85	87							
	76	86							
	78	87							
	78								
	86								
	89								
	88								
<b>Promedio</b>	84.83	83.14	78.50	82.80	83.10	81.67	87.63	83.67	
<b>DesvEst</b>	5.1	3.6	4.8	4.0	6.3	1.5	2.9	2.1	
<b>Resistencia</b>	35.9	35.7	31.0	35.1	33.4	36.2	40.1	37.4	<b>35,6</b>







*Nivel 4*

	eje 1	eje 2	diagonal	eje 2'	eje 3'	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje D	eje E
	82						82	84	99	88	100
								87	82	95	
<b>Promedio</b>	82.00						82.00	85.50	90.50	91.50	100.00
<b>DesvEst</b>								2.1	12.0	4.9	
<b>Resistencia</b>								39.0	34.8	41.7	38.5

*Nivel 5*

	eje 1	eje 2	diagonal	eje 2'	eje 3'	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje D	eje E
	79									89	
										85	
<b>Promedio</b>	79.00									87.00	
<b>DesvEst</b>										2.8	
<b>Resistencia</b>										39.6	39.6

*NIVEL 6*

	eje 1	eje 2	diagonal	eje 2'	eje 3'	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje D	eje E
	83							94	80	102	
								101		89	
<b>Promedio</b>	83.00							97.50	80.00	95.50	
<b>DesvEst</b>								4.9		9.2	
<b>Resistencia</b>								47.2		41.5	44.3

*NIVEL 7*

	eje 1	eje 2	diagonal	eje 2'	eje 3'	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje D	eje E
	87							80	83	87	
<b>Promedio</b>	87.00							80.00	83.00	87.00	
<b>DesvEst</b>											
<b>Resistencia</b>	42.1							36.1	38.6	42.1	39.7425025

**NIVEL 8**

	eje 1	eje 2	diagonal	eje 2'	eje 3'	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje D	eje E
	86						90	74	86	86	96
										87	
<b>Promedio</b>	86.00						90.00	74.00	86.00	86.50	96.00
<b>DesvEst</b>										0.7	
<b>Resistencia</b>	41.2						44.8	31.2	41.2	41.1	39.9090898

**NIVEL 9**

	eje 1	eje 2	diagonal	eje 2'	eje 3'	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje D	eje E
	82							95	85	85	86
								80	88	86	
<b>Promedio</b>	82.00							87.50	86.50	85.50	86.00
<b>DesvEst</b>								10.6	2.1	0.7	
<b>Resistencia</b>	37.8							33.5	39.8	40.2	41.2

**NIVEL 10**

	eje 1	eje 2	diagonal	eje 2'	eje 3'	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje D	eje E
	86							83	84	80	
	90								95		
	87										
<b>Promedio</b>	87.67							83.00	89.50	80.00	
<b>Desv.Est.</b>	2.1								7.8		
<b>Resistencia</b>	40.9							38.6	37.5	36.1	38.285532

**NIVEL 11**

	eje 1	eje 2	diagonal	eje 2'	eje 3'	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje D	eje E
	80							82	87	84	
	87								91		
<b>Promedio</b>	83.50							82.00	89.00	84.00	
<b>Desv.Est.</b>	4.9								2.8		
<b>Resistencia</b>	34.9							37.8	41.4	39.5	38.3873421

**NIVEL 12**

	eje 1	eje 2	diagonal	eje 2'	eje 3'	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje D	eje E
						87		92	83	82	
								75	88	84	
<b>Promedio</b>						87.00		83.50	85.50	83.00	
<b>Desv.Est.</b>								12.0	3.5	1.4	
<b>Resistencia</b>						42.1		29.2	37.7	37.4	36.6

**NIVEL 14**

	eje 1	eje 2	diagonal	eje 2'	eje 3'	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje D	eje E
	82								84	79	75
	72										
<b>Promedio</b>	77.00								84.00	79.00	75.00
<b>Desv.Est.</b>	7.1										
<b>Resistencia</b>	28.0								39.5	35.3	32.0 33.6896015

**NIVEL 15**

	eje 1	eje 2	diagonal	eje 2'	eje 3'	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje D	eje E
	83							85	95	86	
	90							90	85		
	78										
	82										
<b>Promedio</b>	83.25							87.50	90.00	86.00	
<b>Desv.Est.</b>	5.0							3.5	7.1		
<b>Resistencia</b>	34.6							39.5	38.6	41.2	38.5

**NIVEL 16**

	eje 1	eje 2	diagonal	eje 2'	eje 3'	eje A	eje A'	eje B	eje C	eje D	eje E
	82							78	84		
	97							77	73		
								79			
<b>Promedio</b>	89.50							78.00	78.50		
<b>Desv.Est.</b>	10.6							1.0	7.8		
<b>Resistencia</b>	35.2							33.6	28.6		32.5

5.4 CARACTERÍSTICAS DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO OBTENIDO

		1070.2
Promedio total		38.22
		382 kgf/cm <sup>2</sup>

Calculo del promedio de todos los valores calculados.

TABLA C2

82	80	81	93	94	98	88	85	104	82	81	98	80	96	87	83	96	96	68	89	83
82	86	80	95	95	100	83	97	82	76	91	99	84	94	86	80	90	87	81	83	79
83	84	82	96	91	107	97	83	80	80	84	90	81	88	83	79	100	88	80	91	86
80	83	83	89	102	95	99	85	90	89	84	84	88	82		82	94	79	90	94	83
85	80	85	88	106	94	98	86	82	91	80	83	73	88	79	84	105	85	80	95	85
83	90	86	92	94	99	95	88	90	85	78	83	92	89	82	85	95	86	97	80	84
87	80	89	90	107	93	94	85	87	93	84	78	76	91	83	84	100	82	97	81	78
87	84	89	80	109	95	94	85	80	97	85	82	84	98	92	76	100	82	99	84	100
80	83	91	82	110	95	98	95	85	90	86	88	88	87	96	86	98	84	86	90	99
81	95	92	80	107	105	86	96	90	80	80	84	72	72	90	100	87	83	92	84	100
83	80	89	87	100	96	85	95	96	92	84	90	71	71	72	95	92	83	92	87	103
87	81	83	86	108	95	92	81	90	97	85	93	88	58	92	97	91	84	98	87	100
94	86	81	94	95	88		88	92	96	89	91	87	65	91	101	85	90	82	95	79
84	93	83	83	99	101	82	88	95	98	88	96	86	89	92	100	89	87	85	88	79
87	80	76	95	104	104	89	90	97	92	82	83	80	86	80	90	82	97	86	87	80
85	92	79	100	100	109	88	82	95	100	93	82	85	89	75	98	89	87	82	89	81
85	88	84	101	92	100	77	86	91	89	89	89	81	88	77	92	82	86	86		90
99	79	102	109	96	95	80	90	89	98	82	84	83	85	84	88	90	90	80	85	88
81	81	96	108	94	97	78	86	85	89	101	84	85	88	86	93	84	78	90	80	85
101	81	98	96	99	91	75	88	92	96	86	75	78	85	80	98	84	88	89	82	89
104	80	82	97	94	81	99	87	104	96	93	90	84	80	74	96	89	95	88	90	95
107	80	79	100	88	93	96	92	108	91	91	84	88	73	76	85	86	97	89	88	92
98	95	89	109	94	88	97	90	106	88	88	90	86	78	70	85	90	84	89	88	87
91	80	89	110	95	80	92	94		89	85	88	90	79	78	87		88	84	81	93
87	91	84	107	96	80	93	95	88	90	90		71	83	90	87	88	91	119	84	91
90	85		87	81	99	96	93	86	64	96	88	70	80	85	80	91	86	116	87	80
82	91	88	86	85	80	95	99	87	84	96	83	75	79	97	84	96	83	116	88	82
88	80	88	87	80	85	93	103	79	70	84	84	80	87	93	93	76	83	118	84	85
88	80	92	92	93	85	90	105	81	70	87	83	98	86	96	94	84	84	119	87	86
85	81	87	92	97	87	83	96	81	72	84	82	92	83	84	95	97	85	90	90	90

CONTINUACIÓN DE TABLA C2

84	83	75	85	86	98	83	93	84	87	79	85	77	83	89	92	95	80	84	90	
80	80	80	86	97	86	88	99	82	89	75	78	78	84	85	91	96	102	95	86	
90	86	72	89	82	90	78	101	90	88	85	83	82	86	87	92	92	89	80	95	
80	78	77	90	80	92	74	97	83	80	92	78	92	91	82	86	90			85	
86	86	85	88	82	88	75	77	86		89	80	87	92	84	90	84	87	80		
82	88	82	92	80	87	79	78	92	88	83	78	85	92	93	84		80	87	82	
81	94	82	83	81	82	97	78	84	85	78	84	81	92	85	91	83	83	82	97	
88	90	83	82	85	99	94	84	82	90	79	87	85	88	94	92	82	87	87	78	
88	90	83	83	80	95	92	83	86	83	76	76	84	88	92	86	92		91	77	
80	85	85	86	83	97	88	86	88	87	82	80	86	85	85	97	84	86	84	79	
83	76	76		83	93	86	77	84	84	84	80	84	87	85	96	83	90		84	
82	78	80	84	90	99	87	73	82	80	88	85	84	78	89	95	84	74	87	73	
86	78	78	85	85	93	85	84	82	83	88	84	80	85	102	75		86	92		
86	86	88	82	84	99	85	80	90	88	88	87	82	81	112	76	82	86	75		
84	89	88	98	82	80	80	82	83	82	84	86	82	88	114	72	82	87	83		

92	88	85	98	82	89	83	92	86	85	89	84	76	86	94	73	84	96	88		
89	85	80	94	83	86	82	82	92	70	82	87	84	85	85	75	87		82		
85	85	94	82	86	95	90	94	84	72	88	76	87	89	92	77	99	82	84		
86	83	90	87	80	96	93	87	82	75	87	80	80	85	84	74	82	95			
81	84	79	86	86	99	96	82	86	76	78	83	84	93	91	81	88	80	82		
82	81	75	87	88		99	84	88	79	78	78	81	84	92	81	95	85	72		
80	82	81	85	83	81	102	89	84	88	79	86	88	88	86	82	100	88	84		
90	79	86	80	81	84	103	89	82	85	82	87	78	82	90	83		85	79		
86	80	88	80	90	80	86	93	97	85	81	85	86	84	74	86	79	86	75		
84	77	75	85	95	92	81	91	88	92	94	86	88	84	77	91	89	86			
87	79	83	86	95	96	79	82	93	84	92	88	85	89	90	93	85		83		
97	89	83	83	97	103	84	84	94	84	96		91	82	83	88		86	90		
	87	80	85	96	70	76	83	88	86	90	84	92	86	82	86	83	90	78		
89	86	82	83	99	75	82	87	82	88	90	89	86		83		94	87	82		
83	87	88	85	95	67	94	90	86	88	89	72	90	80	82	83	101	83	85		

Promedio General      87.0159798  
 DesvEst General      7.83288718  
                                  79.1830926

Resistencia General      **35.4**      N/mm2

Resistencia General      **354**      kg/cm2

## Conclusiones

Las pruebas no destructivas en concreto, son materia de estudio para una parte de los laboratorios especializados y se encuentran en continuo desarrollo y perfeccionamiento, En particular, el progreso de las técnicas electrónicas ha contribuido decisivamente al grado de precisión de los resultados que hoy día se obtienen.

En el método de los esclerómetros, cuando se usa el martillo de rebote, Schmidt, los resultados que se obtienen pueden ser afectados por muchas variables, entre ella: posición del martillo horizontal, vertical o inclinado; el estado de la superficie; humedad del concreto; tamaño y rigidez de la pieza; concentración del agregado grueso en la superficie, etc. *En manos expertas*, el martillo Schmidt es una herramienta útil; pero en manos inexpertas conduce a conclusiones inexactas.

Como observación general diremos que en el método de la velocidad de propagación ultrasónica, cuando se intenta establecer una correlación entre el agrietamiento de probetas y la velocidad de propagación, no deberá olvidarse que para obtener resultados válidos es necesario que la dimensión mínima de la probeta sea mayor que 1.5 a 2 veces la longitud de onda del pulso ultrasónico.

Debido a que los tres primeros métodos tratados en el presente trabajo, poseen sus propias limitaciones, se llegó a una conclusión, mejorar la aproximación de los resultados haciéndolos más precisos, creando un método mixto. Para ser utilizado en diferentes escenarios, por ejemplo: los ensayos ultrasónicos pueden resultar poco precisos con concretos con alta dosificación de cemento, donde utilizar el esclerómetro puede conducir a errores considerables cuando la capa superficial del concreto está excesivamente endurecida (por un curado al vapor, tal vez) o la compactación ha sido anormalmente alta, en relación con un concreto normal. Esta inspección tal vez, sería más precisa utilizando la técnica de “núcleos de concreto”

En este trabajo aproximamos los resultados utilizando un resultado gráfico y análisis estadísticos que se presenta en una interfaz fácil de emplear, con ayuda del paquete MATHCAD<sup>[9]</sup> que suministro la notación matemática de actualización instantánea, la información de unidades y los cálculos como realizados en un cuaderno de trabajos diarios.

Se pueden realizar trabajos de inspección utilizando los métodos descritos, solo que hay que saber cuál técnica utilizar, eso lo determinara la experiencia del técnico o del ingeniero

---

<sup>[9]</sup><http://www.ptc.es/engineering-math-software/mathcad>

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- 1.- Jiménez Montoya, P., García Meseguer, A., Moran Cabre, F.; Hormigón armado. Tomo I; Editorial Gustavo Gili, 9ª Edición, Barcelona, 1978, pp 117, 132, 133, 134, 135, 136, 137.
  - 2.- <http://blog.360gradosenconcreto.com/resistencia-mecanica-del-concreto-y-resistencia-a-la-compresion/>
  - 3.- Malhotra (1976), de Bungey (1989), y de Malhotra y de Carino (1991)
  - 4.- <http://www.e-medida.es/documentos/Numero-11/sensores-fibra-optica>
  - 5.- <https://es.slideshare.net/b13studio/presentacion-tecnicas-diagnosis-hormigon>
  - 6.- [https://es.wikipedia.org/wiki/Dureza\\_Rockwell](https://es.wikipedia.org/wiki/Dureza_Rockwell)
  - 7.- <http://neodexndt.com/es/pull-out/>
  - 8.- [Naik et al. 1987]
  - 9.- <http://www.ptc.es/engineering-math-software/mathcad>
    - ACI 228. 2R-98 (1998). Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures. ACI Committee 228.
    - Carino, N. y Petersen, C. G. (2012) "NDT & Advanced Methods for Evaluation of Concrete". Education Wordshop, Agosto 2012. Germann Instruments, Evanston, Ill.
    - Germann Instruments (2010). NDT System.
    - Krenchel, H. and Shah, S. P. (1985): "Fracture Analysis of the Pull-Out Test". RILEM, Materials and Structures nr. 108. Chapman & Hall. London, GB.
    - Petersen, C. G. and Poulsen, E. (1993). "LOK-test and CAPO-test". Dansk Betoninstitut A/S. Dinamarca.
    - Malhotra, V. M. Evaluation of the Pullout Test to determine strength of in-situ concrete (1975). Materials and Structures (RILEM, Paris) Vol. 8, No. 43, Jan-Feb, 1975. pp 19-31.
- [2] CSTR 11 Concrete Society Technical Report N°11 "Concrete core testing for strength
- [3] ACI 214.4R-03 "Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results" [

La dureza Rockwell o ensayo de dureza Rockwell es un método para determinar la dureza, es decir, la resistencia de un material a ser penetrado. El ensayo de dureza Rockwell constituye el método más usado para medir la dureza debido a que es muy simple de llevar a cabo y no requiere conocimientos especiales. Se pueden utilizar diferentes escalas que provienen de la utilización de distintas combinaciones de penetradores y cargas, lo cual permite ensayar prácticamente cualquier metal o aleación. Hay dos tipos de penetradores: unas bolas esféricas de acero endurecido (templado y pulido) de 1/16, 1/8, 1/4 y 1/2 pulg, y un penetrador cónico de diamante con un ángulo de  $120^\circ \pm 30'$  y vértice redondeado formando un casquete esférico de radio 0,20 mm (Brale), el cual se utiliza para los materiales más duros.

El ensayo consiste en disponer un material con una superficie plana en la base de la máquina. Se le aplica una precarga menor de 10 kg, básicamente para eliminar la deformación elástica y obtener un resultado mucho más preciso. Luego se le aplica durante unos 15 segundos una fuerza que varía desde 60 a 150 kgf a compresión. Se desaplica la carga y mediante un durómetro Rockwell se obtiene el valor de la dureza directamente en la pantalla, el cual varía de forma proporcional con el tipo de material que se utilice. También se puede encontrar la profundidad de la penetración con los valores obtenidos del durómetro si se conoce el material.

Para no cometer errores muy grandes el espesor de la probeta del material en cuestión debe ser al menos diez veces la profundidad de la huella. También decir que los valores por debajo de 20 y por encima de 100 normalmente son muy imprecisos y debería hacerse un cambio de escala.

El cambio de escala viene definido por tablas orientativas, puesto que no es lo mismo analizar cobre que acero. Estas tablas proporcionan información orientativa sobre qué escala usar para no dañar la máquina o el penetrador, que suele ser muy caro.

Esfera de 1/8 pulgada 150 Aplicaciones análogas al tipo anterior. Las durezas Rockwell y Rockwell Superficial vienen dadas por la siguiente fórmula:

$n \text{ HR } L e t r a$   $\{\displaystyle n\{\text{HR}\}\text{Letra}\}$

Dónde:  $n$   $\{\displaystyle n\}$  es el valor de dureza obtenido

$HR$   $\{\displaystyle \{\text{HR}\}\}$  es el identificador del ensayo Rockwell

$L e t r a$   $\{\displaystyle \text{Letra}\}$  va a continuación de  $HR$   $\{\displaystyle \{\text{HR}\}\}$

y es la letra correspondiente a la Escala usada

Un ejemplo para un material en el que se obtiene en el ensayo una dureza de 60 y se ha usado la escala B sería:

60 HRB  $\{\displaystyle 60\{\text{HRB}\}\}$

Detalles:

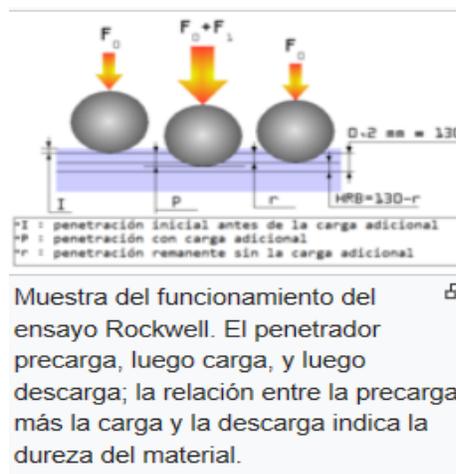
Para materiales muy duros, se emplea un cono con punta de diamante de  $120^\circ$  y una carga de 60 kg, y se simboliza HRA

Para aceros de baja resistencia se emplea una bola de acero extraduro de 1/16" y una carga de 100 kg, se simboliza HRB

Para aceros de alta resistencia se emplea un cono con punta de diamante de  $120^\circ$  y una carga de 150 kg, y se simboliza HRC

Para la medida superficial de un material en el que ha aplicado un esfuerzo de 30 kg con bola de 1/16 pulgadas:

30 HR30TW  $\{\displaystyle 30\{\text{HR30TW}\}\}$



[https://es.wikipedia.org/wiki/Dureza\\_Rockwell](https://es.wikipedia.org/wiki/Dureza_Rockwell)



Durómetro