

## **INTRODUCCIÓN.**

### **1.1. Antecedentes**

Cuando se pretende estimar la calidad del hormigón de una estructura ya terminada, se puede recurrir a las probetas testigo y/o a la realización de ensayos no destructivos.

La prueba de rotura de probetas testigos se utiliza principalmente como base para el control de calidad para asegurar que los requerimientos del proyecto estén asegurados. No es pensada para determinar la resistencia del hormigón puesta en obra, puesto que no se tienen en cuenta ninguno de los efectos de colocación, compactación, o curado.

Históricamente se han llamado “Pruebas no destructivas” a las primeras pruebas que no dañaron al concreto, sin embargo al pasar los años, los nuevos métodos han establecido ese resultado como un daño local superficial. Por lo tanto, la terminología de “Pruebas in situ” se utiliza como categoría general la cual incluye los métodos que no alteran al concreto y los que dan lugar a daño menor de la superficie. Utilizadas para estimar algunas propiedades o características del concreto durante la evaluación de estructuras existentes.

### **1.2. El Problema.**

#### **1.2.1. Planteamiento**

En el laboratorio de Suelos y Hormigón de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho se cuenta con los siguientes equipos para determinar la resistencia a compresión y características del hormigón:

- ✚ La “**prensa hidráulica**” que sirve para determinar la resistencia a partir de una probeta testigo donde los ensayos son muy precisos, debido a que este equipo cuenta con un sistema eléctrico, que permite obtener un margen de error mínimo, además de la misma ser calibrada por IBMETRO cada seis meses.

✚ **Equipos no destructivos** sirven para determinar la resistencia a compresión, módulo de elasticidad, dureza exterior a partir de diferentes parámetros como la resistencia exterior del hormigón, penetración y su compacidad, estos equipos son:

- El Esclerómetro.
- Pistola de Penetración.
- Pulsos Ultra Sónico.

La utilización de estos aparatos no destructivos es muy importante cuando no se cuenta con probetas testigos de las obras para inspeccionar estructuras o cuando se quiere analizar estructuras que ya cumplieron su periodo de vida útil, y tienen la ventaja de ser ensayos rápidos y no dañan al hormigón.

Pero estos ensayos no destructivos tienen cierta discrepancia en sus resultados y más aun con el ensayo patrón que es el de la rotura de probetas de hormigón en la prensa hidráulica.

Es importante obtener resultados con mayor exactitud de estructuras que ya están construidas para determinar si están en estado de funcionamiento o si tienen alguna solución por lo cual vemos conveniente buscar la manera de comparar los resultados de estos aparatos y obtener porcentajes, factores de corrección para saber el grado de exactitud de los ensayos no destructivos y obtener curvas de correlación de los equipos utilizados.

### **1.2.2. Formulación**

En el planteamiento de este trabajo surge la siguiente pregunta como punto de partida de la investigación:

¿Cómo podemos reducir la variación de los resultados de pruebas para obtener la resistencia a compresión del hormigón con ensayos no destructivos?

Con comparaciones y correlaciones de los equipos no destructivos a partir de un equipo destructivo patrón de mayor precisión como viene siendo la prensa hidráulica.

### 1.2.3. Sistematización

Para el trabajo de investigación se tratará de evaluar las siguientes preguntas:

- ✚ ¿Qué porcentaje de discrepancia tiene cada equipo?
- ✚ ¿Cómo trabaja cada equipo?
- ✚ ¿Cómo es la manera de utilizar cada equipo?
- ✚ ¿Cómo actuar frente a los hormigones de diferentes resistencias?
- ✚ ¿Es posible correlacionar con una curva uniforme?
- ✚ ¿Qué estudios de laboratorio son necesarios?

#### 1.2.3.1. Alternativas de solución.

Se realizara una comparación, sacando porcentajes de variación y curvas de correlación de los equipos propuestos para determinar la resistencia a la compresión de ensayos no destructivos (esclerómetro, pistola de penetración y pulsos ultrasónicos) con la prensa hidráulica, (ensayo destructivo).

Para evitar la discrepancia entre estos ensayos tenemos las siguientes alternativas:

- ✚ Correlación previa de los resultados obtenidos con los equipos no destructivos y la prensa hidráulica.
- ✚ Utilizar solamente equipos no destructivos para ver la uniformidad o línea de falla en el hormigón.
- ✚ Construcción de tablas de calibración, en función de la técnica usada y resultados obtenidos.

**1.3. Objetivos.**-Este trabajo de investigación tiene los siguientes objetivos:

#### 1.3.1. General

- ✚ Correlacionar los ensayos no destructivos para determinación de la resistencia a compresión con ensayos de rotura de probetas cilíndricas de hormigón en la prensa hidráulica.

#### 1.3.2. Específicos

- ✚ Dosificar probetas de diferentes resistencias.

- ✚ Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los áridos:
- ✚ Determinación de propiedades físicas del cemento.
- ✚ Ensayos de esclerómetro.
- ✚ Ensayos de pulsos ultrasónicos.
- ✚ Ensayos de penetración.
- ✚ Ensayos de rotura compresión de probetas cilíndricas.

#### **1.4. Justificación.**

**1.4.1. Teórica.** La investigación propuesta busca mediante la aplicación de la teoría y los conceptos básicos de los ensayos no destructivos, encontrar nuevas alternativas para la utilización de estos equipos.

Nuevas correlaciones de los mismos nos darán métodos más precisos y eficaces, de tal manera de evitar la variación e incertidumbre en estos ensayos y aprovechar al máximo la disposición de los mismos, pues su uso nos dará una opción más económica al momento de escoger un ensayo de resistencia del hormigón en estructuras.

**1.4.2. Metodológica.-** El resultado de la investigación permitirá establecer una correlación para “maximizar la predicción de los ensayos no destructivos”, realizando pruebas de laboratorio para cuantificar el grado de variación y luego crear tablas o curvas para que a través de ellas podamos obtener datos más precisos de la utilización de estos equipos no destructivos que permitan motivar su utilización tanto en el laboratorio como en obra.

**1.4.3. Práctica.-** Al minimizar la variación de resultados de la resistencia a la compresión con ensayos no destructivos, esto dará mayor aplicabilidad y confianza para analizar estructuras que necesitan un estudio para saber en qué estado se encuentran y si siguen en condiciones de uso o si hay que destruirlas e incorporar medidas preventivas apropiadas en el diseño, construcción y mantenimiento de las mismas.

## **1.5. Alcance La Investigación**

### **1.5.1. Tipo de Investigación y/o Estudio**

Esta investigación consistirá en un estudio de tipo experimental, para ello analizaremos probetas de hormigón con diferente tipo de dosificación y se realizarán pruebas de laboratorio que determinarán la resistencia del hormigón con los diferentes tipos de equipos mencionados, para luego procesar los datos en gabinete.

### **1.5.2. Alcance y/o Restricciones.**

Esta investigación propone correlacionar los equipos de ensayos no destructivos más específicamente los que nos ayudan a determinar la resistencia a compresión del hormigón, como ser (Esclerómetro, Pistola de Penetración y Pulsos Ultrasónicos), los cuales se compararán y correlacionarán a partir de curvas y tablas basados en los resultados que nos da la prensa hidráulica, que es un equipo de ensayo destructivo que es de mucha precisión.

El estudio se realizará con probetas de hormigón de diferentes dosificaciones para tener diferentes resistencias con materiales, áridos extraídos de nuestra zona (río Guadalquivir) y cemento portland IP-30 (El Puente), para los cuales realizaremos estudios de las propiedades de los materiales aptos para el hormigón utilizado en estructuras.

### **1.5.3. Hipótesis**

La correlación de las pruebas no destructivas al hormigón con la prensa hidráulica, permite realizar pruebas no destructivas que tienen mayor precisión en sus resultados y así se mejora la evaluación de estructuras de hormigón donde es necesario determinar la resistencia para saber en qué estado está la misma (condiciones de uso), o también para determinar la resistencia a compresión de estructuras donde no se dejaron probetas testigos.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 El hormigón y sus características**

El **hormigón** es un material compuesto empleado en construcción.

El carácter de hormigón endurecido lo adquiere el hormigón a partir del final de fraguado. El hormigón se compone del árido, la pasta de cemento (que incluye el agua que ha reaccionado con los compuestos del cemento) y las red de poros abiertos o cerrados resultado de la evaporación del agua sobrante, el aire ocluido (natural o provocado por un aditivo).

El aglomerante es en la mayoría de las ocasiones cemento (generalmente cemento Portland) mezclado con una proporción adecuada de agua para que se produzca una reacción de hidratación. Las partículas de agregados, dependiendo fundamentalmente de su diámetro medio, son los áridos (que se clasifican en grava, gravilla y arena). La sola mezcla de cemento con arena y agua (sin la participación de un agregado) se denomina mortero.

El cemento es un material pulverulento que por sí mismo no es aglomerante, y que mezclado con agua, al hidratarse se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo. Además, para poder modificar algunas de sus características o comportamiento, se pueden añadir aditivos y adiciones.

El hormigón convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m<sup>3</sup>. La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad.

Dependiendo de las proporciones de cada uno de sus constituyentes existe una tipología de hormigones. Se considera hormigón pesado aquel que posee una densidad de más de 3200 kg/m<sup>3</sup> debido al empleo de agregados densos (empleo protección contra las radiaciones), el hormigón normal empleado en estructuras que posee una densidad de 2200 kg/m<sup>3</sup> y el hormigón *ligero* con densidades de 1800 kg/m<sup>3</sup>

Las propiedades del hormigón endurecido son:

- **La densidad:** Es la relación de la masa del hormigón y el volumen ocupado. Para un hormigón bien compactado de áridos normales oscila entre 2300-2500 kg/m<sup>3</sup>. En caso de utilizarse áridos ligeros la densidad oscila entre 1000-1300 kg/m<sup>3</sup>. Y en caso de utilizarse áridos pesado la densidad oscila entre 3000-3500 kg/m<sup>3</sup>.
- **Compacidad:** Es la cualidad de tener la máxima densidad que los materiales empleados permiten. Un hormigón de alta compacidad es la mejor protección contra el acceso de sustancias perjudiciales.
- **Permeabilidad:** Es el grado en que un hormigón es accesible a los líquidos o a los gases.

El factor que más influye en esta propiedad es la relación entre la cantidad de agua añadida y de cemento en el hormigón (a/c). Cuanto mayor es esta relación mayor es la permeabilidad y por tanto más expuesto el hormigón a potenciales agresiones.

La principal característica estructural del hormigón es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante).

- **Resistencia:** El hormigón endurecido presenta resistencia a las acciones de compresión, tracción y desgaste. La principal es la resistencia a compresión que lo convierte en el importante material que es. Se mide en Mpa (Mega Pascales) y llegan hasta 50 Mpa en hormigones normales y 100 Mpa en hormigones de alta resistencia. La resistencia a tracción es mucho más pequeña pero tiene gran importancia en determinadas aplicaciones. La

resistencia a desgaste, de gran interés en los pavimentos se consigue utilizando áridos muy resistentes y relaciones agua cemento muy bajas.

- **Dureza:** Es una propiedad superficial que en el hormigón se modifica con el paso del tiempo debido al fenómeno de carbonatación. Un método de medirla es con el índice de rebote que proporciona el esclerómetro Smichtd.
- **Retracción:** Es el fenómeno de acortamiento del hormigón debido a la evaporación progresiva del agua absorbida que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento, y el agua capilar.

## 2.2 Dosificación método ACI

El Instituto Americano del Hormigón (ACI) presentó, como resultado de extensas investigaciones y fundamentándose en los trabajos experimentales de Abrams, Richard y Talbot, Goldbeck y Gray, un método con resultados aceptables para hormigones con dos agregados, de masa unitaria entre los 2,0 Mg/m<sup>3</sup> y los 2,5 Mg/m<sup>3</sup> y con requisitos de resistencia menores a 42 MPa, los cuales son llamados usualmente hormigones normales. La forma más simple de trabajar este método se indica en la figura 1.

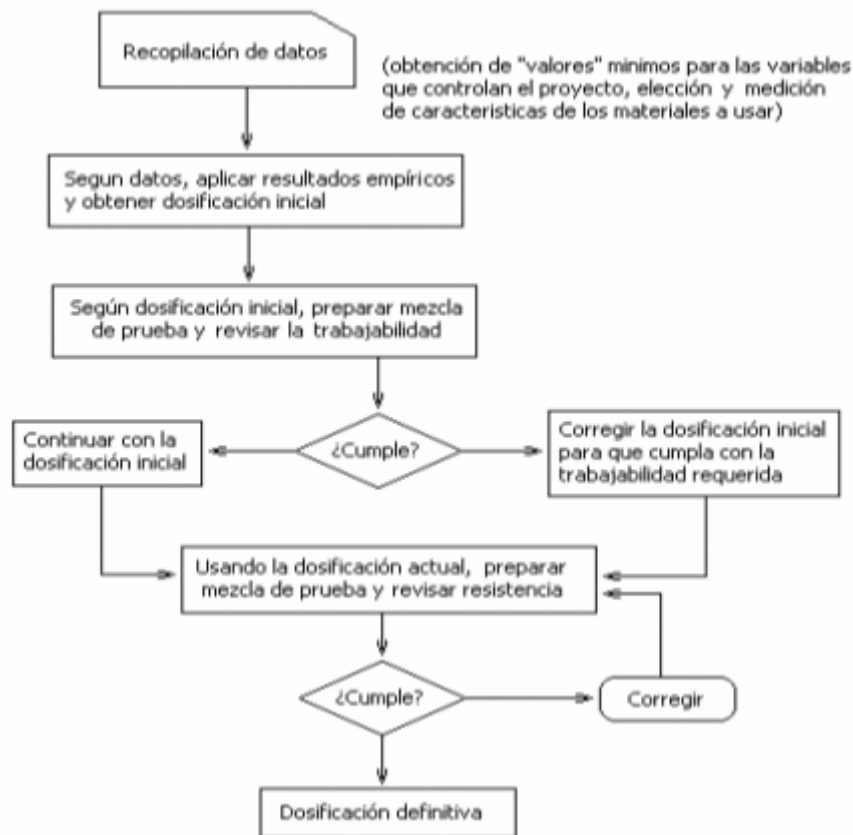


Fig. 2.1 Algoritmo para el diseño de mezclas de hormigón por el método ACI

### 211.1

#### Cálculo de la cantidad inicial de agua (A)

Para la estimación del contenido inicial de agua y el porcentaje de aire atrapado, el ACI recomienda utilizar como primera aproximación los resultados experimentales indicados en la tabla 5 (Ver anexos).

La mayoría de las tablas para obtener la cantidad inicial de agua, especifican unos rangos muy amplios para el asentamiento e incluso no dan valores para algunos de ellos, como en la tabla anterior para el asentamiento entre 50 y 80 mm. Esta deficiencia puede explicarse, por una parte, en el paso de unidades inglesas al Sistema Internacional, y por otra, en que la estimación inicial de la cantidad de agua sólo es una aproximación razonable, esta cantidad se ajusta posteriormente usando el ensayo de asentamiento.

Valores aproximados de agua de mezclado en Kg. y porcentaje de aire atrapado por metro cúbico de hormigón. Estos son los valores máximos, recomendados para la

mezcla inicial de prueba usando agregados angulares, razonablemente bien gradados y que cumplen con ASTM C33 y para un hormigón sin aire incluido.

### **Cálculo del contenido inicial de cemento (C1)**

Antes de calcular de manera explícita el contenido de cemento, debe obtenerse la relación agua cemento necesaria por resistencia A/C para compararla con la necesaria por durabilidad A/C y escoger la definitiva para el proyecto, con la cual se calcula el contenido de cemento.

En la práctica el uso de tablas facilita el cálculo de dicha relación agua-cemento dependiendo de la resistencia promedio de la mezcla ( $f'_{cr}$ ) y la resistencia característica del cemento (Tabla 2. Anexos).

Los valores no indicados representan relaciones agua-cemento o mayores que 0.65 o menores que 0.30 los cuales se salen del rango práctico (Tabla 3. Anexos)

Con este valor se encuentra el contenido de cemento por m<sup>3</sup> de hormigón:

$$C1 = A / (A/C)$$

### **Cálculo de la cantidad de agregado grueso inicial (Pag)**

Las recomendaciones del ACI, basadas en el trabajo experimental del profesor W. M. Dunagan, señalan que dados unos agregados y un determinado asentamiento, es necesario dejar constantes el contenido de agua y el volumen de agregado grueso para mantener la misma trabajabilidad con la misma relación agua-cemento. El ACI, basado en estos resultados, recomienda ciertos volúmenes de agregado dependiendo de su tamaño máximo y del módulo de finura de la arena.

Ver Tabla 6 (ver anexos) Volúmenes de agregado grueso seco y compactado con varilla para 1 m<sup>3</sup> de hormigón.

Una vez estimado este volumen se puede hallar la cantidad de gruesos por metro cúbico de hormigón multiplicándolo por el valor de la masa unitaria seca y compactada con varilla del agregado grueso.

$$\text{Pag} = (b/b_0) \times \text{PUC} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Dónde:

Pag: Masa del agregado grueso seco por metro cúbico de hormigón

b/b<sub>0</sub>: Volumen de agregado grueso seco y compactado con varilla para un metro cúbico de hormigón

PUC: Masa unitaria del agregado grueso seco y compactado con varilla

### **Cálculo de la cantidad de agregado fino inicial (Vaf)**

Aunque existe un procedimiento por peso; este requiere el conocimiento previo de la densidad del hormigón, la cual a este nivel del diseño no se conoce por lo que el método por volumen es el más recomendable inicialmente. Este método se basa en que la suma de los volúmenes absolutos de los componentes del material deben conformar un metro cúbico de hormigón:

$$\mathbf{Vaf = 1000 - Vc - A - Vag \text{ (Ec. 2.2)}}$$

Dónde:

A, Vc, Vag corresponden a los volúmenes absolutos de agua, agregado grueso, cemento, agregados gruesos y finos respectivamente. Usando las características de los materiales descritas (Recopilación de datos), y despejando los finos de la ecuación se puede obtener el valor de la masa de los finos para un metro cúbico de hormigón:

$$\mathbf{Paf = Vaf \times \gamma_f \text{ (Ec. 2.3)}}$$

Dónde:

Paf: masa de los finos

Vaf: volumen de los finos

$\gamma_f$ : peso específico de los finos

### **Mezclas de prueba (Correcciones por humedad)**

Dada la porosidad de los agregados, estos absorben agua que no alcanza a reaccionar con el cemento y que por ende no hace parte de la cantidad que se especifica en cada una de las dosificaciones obtenidas en los numerales anteriores. Es por esto que es necesario, a la hora de preparar cualquier mezcla, corregir las cantidades a medir según sea la cantidad de agua que posean los agregados y el grado de porosidad de los mismos. El no tener en cuenta esta precisión puede ocasionar variaciones de la relación agua cemento y de la trabajabilidad de la mezcla.

Las correcciones de las que se habla en el paso anterior son denominadas correcciones por humedad y aunque no hacen parte directa del método ACI 211.1, se exponen en este trabajo dada su importancia a la hora de elaborar las mezclas para realizar los ensayos de asentamiento, masa unitaria y resistencia a la compresión.

Dada la siguiente dosificación en masa: Agua, Cemento, Finos y Gruesos

La corrección por humedad consiste en calcular nuevas cantidades de agua, agregado grueso y agregado fino según la humedad que posean estos últimos, al momento de realizar la prueba.

### **2.3 Resistencia característica del hormigón**

La resistencia a compresión simple es la característica mecánica más importante de un hormigón. Su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas, según los métodos normalizados. Ahora bien, los valores proporcionan las distintas probetas son más o menos dispersos, en forma variable de una obra a otra, según el cuidado y rigor con que se confeccione el hormigón; y esa circunstancia debe tenerse en cuenta al tratar de definir un cierto hormigón por su resistencia.

El concepto de resistencia característica se refiere, por antonomasia, a la resistencia a compresión medida sobre probetas cilíndricas 15x30 centímetros de veintiocho días de edad, fabricados, conservados y rotos según métodos normalizados.

No es fácil definir las resistencias de un hormigón, ya que su comportamiento, frente a los distintos esfuerzos que ha de estar sometido, es variable y complejo, las medidas de las resistencias preconocidas de la resistencia de materiales pueden servir de base y punto de referencia, pero no son más que valores convencionales que dependen de multitud de factores: unos de ellos ligados con materiales en si (granulometría y calidad de cemento y áridos, dosificación y confección); otros, dependientes de los métodos de ensayo (forma y dimensiones de las probetas, conservación de las mismas, edad, tipo de sollicitación, velocidad de la carga).

Los métodos de ensayos utilizados hoy en día para la determinación de las distintas características del hormigón varían poco de unas normas a otras.

Según su naturaleza los métodos de ensayo normalmente empleados para determinar las resistencias del hormigón pueden ser clasificadas en *destructivos* y *no destructivos*.

#### **2.3.1 Ensayos destructivos**

Los ensayos destructivos son aquellos que determinan la resistencia a compresión mediante la rotura de probetas o piezas de hormigón mediante la aplicando de una

fuerza axial. Las probetas de hormigón pueden fabricarse en moldes apropiados o bien extraerse de una obra ya construida.

### **2.3.1.1 Rotura a compresión**

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de concreto tales como cilindros moldeados y núcleos taladrados. Esta limitado al concreto que tenga un peso unitario mayor de  $800 \text{ Kg/m}^3$ . La rotura de las probetas se la realiza en una prensa hidráulica.

Una vez preparada la prensa, primero se debe centrar la probeta sobre el plato inferior; después se lleva el plato superior hasta que quede en contacto con ella, haciendo girar a mano la parte móvil acoplándola a la rótula, a fin de realizar un contacto uniforme.

La carga debe aplicarse de una manera continua y sin salto, a una velocidad constante tal que el incremento de la carga por segundo produzca un aumento de tensión de  $0.5 \pm 0.2 \text{ N/mm}^2$ . Se tolera una velocidad durante la aplicación de la primera mitad de la rotura. Se continúa el ensayo hasta la rotura, registrando la carga máxima soportada por la probeta.

### **2.3.1.2 Equipo**

#### **2.3.1.2.1 Prensa Hidráulica**

Los ensayos de las probetas pueden efectuarse en cualquier máquina de ensayo, de capacidad suficiente, siempre que la carga se aplique de una manera continua y sin saltos. El error máximo de la máquina, dentro del campo de las cargas utilizables, no deben ser superior al  $\pm 1$  por 100. La prensa para ensayos de compresión estará provista de platos de acero, cuyo espesor será suficiente para evitar toda deformación y cuyas caras tendrán una dureza Rockwell C no inferiores a 55. Uno de estos platos ira montado sobre una rotula esférica y será, normalmente, él se apoye sobre una base superior de la probeta; el otro plato, sobre el otro plato reposara la probeta, debe estar constituido por un bloque muy rígido.



*Fig. 2.2 Prensa Hidráulica Digital.*

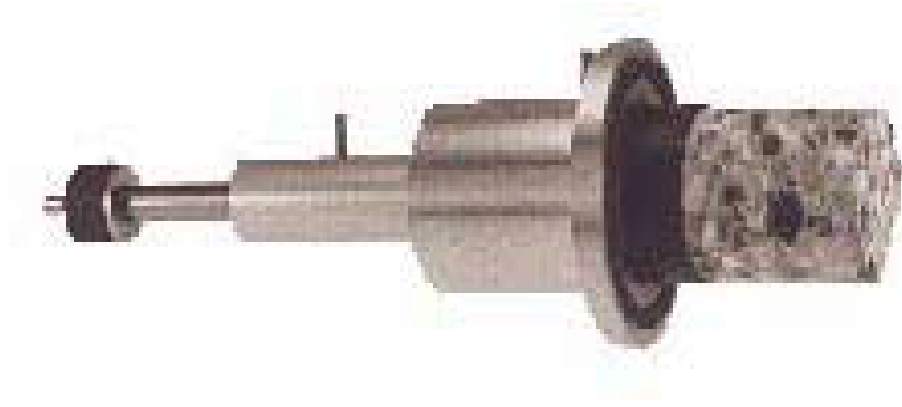
#### **2.3.1.2.2 Extractor de núcleo**

Es considerada la prueba más concluyente para determinar la resistencia a compresión de un concreto. Consiste en una broca cilíndrica hueca en cuyo extremo van engastados cristales de diamante y que por abrasión desgasta el material circundante.

Existen no obstante una serie de factores que pueden influir sobre la determinación de la resistencia, encontrándose entre otros:

**Diámetro del núcleo:** Con el fin de disminuir la preponderancia del agregado grueso en la superficie de falla, se estipula que el diámetro del núcleo debe ser por lo menos tres veces el tamaño máximo del agregado. La dispersión de resultados es menor en la medida en que aumenta el diámetro del núcleo.

Relación longitud / diámetro o de “esbeltez”  $e$  Se busca que esta sea en lo posible lo más cercana a 2, reconociendo que valores mayores de ella disminuyen los valores de resistencia a compresión determinados y viceversa. Parece ser que la resistencia del concreto también influye, haciendo que sean diferentes los factores de corrección por esbeltez (para hacer comparables los resultados con los obtenidos en cilindros estandarizados), como también las condiciones de curado.



*Fig. 2.3 Extractor de núcleo.*

**Dirección de extracción respecto a la de fundida:** Debido al fenómeno de exudación o “sangrado” existen diferencias si los núcleos son extraídos en dirección horizontal o vertical. En general, son menores las resistencias de núcleos extraídos en dirección horizontal (perpendicular a la dirección de fundida) que en dirección vertical, en valores aproximados de un 10%.

### **2.3.2 Ensayos no destructivos**

Los ensayos no destructivos determinan la calidad del hormigón sin destruir la pieza o estructura ensayada en sitio.

El objetivo de las pruebas in situ es estimar características del concreto en la estructura.

La característica deseada es muy a menudo la fuerza compresiva. Para hacer una estimación de la fuerza, es necesario tener un lazo conocido entre el resultado de la prueba in situ y la fuerza del concreto. Para una construcción en ejecución, este lazo se establece generalmente empíricamente en el laboratorio.

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.

### **2.3.2.1 Esclerometria**

Este método de ensayo cubre la determinación del número de rebote del concreto endurecido usando un martillo de acero impulsado por resorte. No es un método muy exacto ya que los resultados se encuentran muy influenciados por numerosas variables, aunque se presenta muy útil a la hora de comprobar la calidad del hormigón entre distintas zonas de la misma obra. Posee un manejo sencillo y de bajo costo.

Los valores indicados en unidades SI o en libras-pulgadas (indicadas entre paréntesis) deben ser considerados separadamente como el estándar, los valores indicados en cada sistema pueden no ser equivalencias exactas; por lo tanto cada sistema pueden no ser usado independientemente del otro.

Un martillo de acero golpea con una predeterminada cantidad energía a un émbolo de acero en contacto con la superficie del concreto y se mide la distancia de rebote del martillo.

Las relaciones entre el número de rebote y la resistencia del concreto que provee los fabricantes de los martillos, deben ser usadas solamente para dar indicaciones de la resistencia relativa del concreto en diferentes regiones de la estructura. Para usar este método de ensayo para estimar la resistencia, es necesario establecer la relación entre la resistencia y el número de rebote para una mezcla de concreto dada y para un determinado martillo. Establecer la relación, correlacionando los números de rebote obtenidos en la estructura, con las resistencias de núcleo obtenidos tomados de las mismas localizaciones. Obtener por lo menos dos núcleos de cada una de seis localizaciones con diferentes números de rebote. Seleccionar las localizaciones con diferentes números de rebote.

La prueba es sensible a variaciones locales en el concreto; por ejemplo un partícula grande de agregado inmediatamente debajo del émbolo daría como resultado un número de rebote anormalmente elevado; por el contrario, la presencia de un vacío en el mismo lugar daría un resultado demasiado bajo. Por esta razón, es recomendable tomar 10 o 12 lecturas bien distribuidas en el área puesta a prueba y considerar un

valor promedio como representativo del concreto. El error estándar de la media es más elevado que cuando la resistencia se determina mediante la prueba de compresión.

### **2.3.2.2 Penetración**

Este método de ensayo es aplicable para evaluar la uniformidad del concreto y para delinear zonas de calidad pobre o concreto deteriorado en estructuras.

Este método de ensayo es aplicable para estimar la resistencia en el lugar, proporcionando una relación que ha sido experimentalmente establecida entre la resistencia a la penetración y el esfuerzo en el concreto. Una relación puede ser establecida para un aparato de ensayo dado, usando materiales de concreto similares y proporciones de mezcla como en la estructura.

Probetas de acero son conducidas con un propulsor explosivo de alta energía, y las estas pueden penetrar algunas partículas de agregado. La resistencia a la penetración de la probeta es afectada por la resistencia del concreto tan bueno como la naturaleza del agregado grueso. Los pines de acero son más pequeños en tamaño que las probetas y son conducidas por un propulsor de resorte de baja energía. Los pines son dirigidos a penetrar la fracción de mortero solamente; por lo tanto, un ensayo en el cual un pin golpea las partículas del agregado grueso es descartado.

Los resultados de este método de ensayo en superficie dañada del concreto, el cual puede requerir reparación en acabado arquitectónico expuesto.

### **2.3.2.3 Velocidad de Pulsos Ultrasónicos**

Este método de ensayo cubre la determinación de la velocidad de propagación de pulso de ondas de esfuerzo longitudinal a través del concreto. Este método de ensayo no aplica para la propagación de otro tipo de ondas de esfuerzo a través del hormigón.

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.

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.

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.

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.

La velocidad de pulso,  $V$ , de ondas longitudinales de esfuerzo en una masa de concreto es relativa a sus propiedades elásticas y su densidad de acuerdo con la siguiente relación:

$$V = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Dónde:

$E$  = módulo de elasticidad dinámico

$\mu$  = relación de Poisson dinámica

$\rho$  = densidad

Este método de ensayo se aplica para juzgar la uniformidad y calidad relativa del concreto, para indicar la presencia de vacíos y grietas, y para evaluar la efectividad de la reparación de las grietas. También es aplicable para indicar cambios en las propiedades del concreto, y en el análisis de estructuras, para estimar la severidad de deterioro o agrietamiento.

El grado de saturación del concreto afecta la velocidad de pulso, y este factor puede ser considerado cuando se evalúan los resultados del ensayo. La velocidad de pulso en concreto saturado puede ser un 5 % mayor que en concreto seco.

La longitud de onda de las vibraciones son iguales a la velocidad de pulso dividida por las frecuencias de vibración.

La exactitud de la medición depende de la habilidad del operador para determinar precisamente la distancia entre los transductores y del equipo para medir precisamente el tiempo de tránsito del pulso. La fuerza de señal recibida y la medición del tiempo de tránsito son afectadas por el acoplamiento de los transductores a las superficies de concreto. Suficiente agente de acoplamiento y presión debe ser aplicada a los transductores para asegurar tiempo de tránsito estable. La fuerza de la señal recibida también es afectada por la longitud de viaje y por la presencia y grado de agrietamiento o deterioro en el concreto ensayado.

Los resultados obtenidos por el uso de este método de ensayo no son considerados como un medio de medir la resistencia, ni tampoco como un ensayo adecuado para establecer confianza con el módulo de elasticidad del concreto de campo con el asumido en el diseño.

El equipo de ensayo disponible actualmente limita longitudes de aproximadamente 50mm (2 pulg) mínima y 15 m (50 pies) máxima, dependiendo en parte de la frecuencia e intensidad de la señal generada. El límite superior de la longitud de recorrido depende en parte de las condiciones superficiales y en parte de las características interiores del concreto bajo investigación. Un pre-amplificador en el transductor receptor puede ser usado para incrementar la longitud máxima de recorrido que puede ser ensayada. La longitud de recorrido máxima es obtenida

usando transductores de frecuencia resonante relativamente bajas (10 a 20 KHz) para minimizar la atenuación de la señal en el concreto. (La frecuencia de resonancia del transductor ensamblado determina la frecuencia de vibración en el concreto). Para longitudes de recorrido menores, donde la pérdida de la señal no es factor gobernante es preferible usar frecuencias resonantes de 50 KHz o más para alcanzar mediciones más precisas del tiempo de tránsito y alcanzar una mayor sensibilidad.

Puesto que la velocidad de pulso en el acero puede ser arriba del doble que en el concreto, las medidas de velocidad de pulso en la vecindad del acero en concreto reforzado, puede ser mayor que en concreto no reforzado de la misma composición. Donde sea posible, evitar mediciones cerradas en acero paralelo a la dirección de propagación del pulso.

Para evaluar la calidad del concreto así como de los materiales que lo conforman por la medida de la velocidad de los pulsos de ultrasonido, es necesario que ésta medida sea con un alto orden de exactitud. Se hace esto usando un aparato que genere pulsos convenientes y mida exactamente el tiempo de duración de la transmisión (es decir tiempo del tránsito) que la muestra experimentó. Las mediciones son directas, semi indirectas y indirectas.

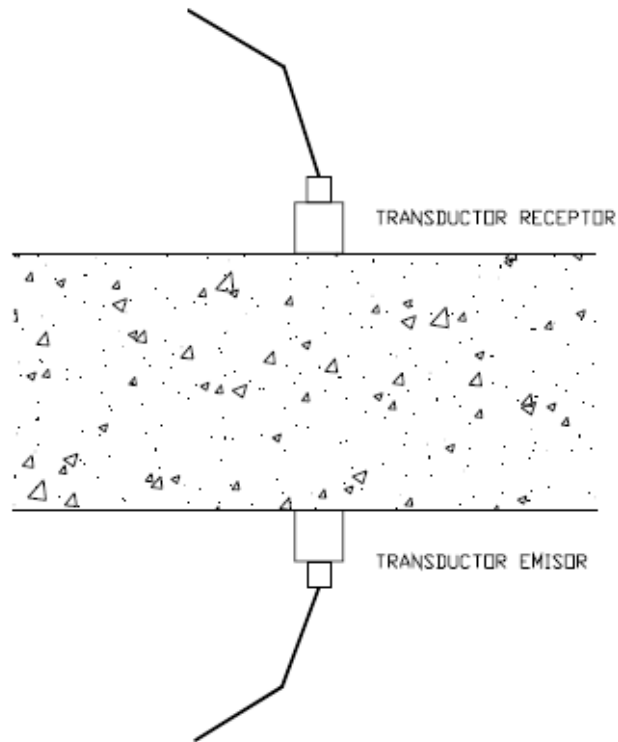
#### **Medición Directa.**

La distancia que los pulsos viajan en el material (es decir la longitud del camino) se debe medir también para permitir a la velocidad sea determinada por:

**Velocidad del pulso = longitud del camino / Tiempo de tránsito**

Longitudes de camino y tiempos del tránsito cada uno se mide a una exactitud de alrededor +/- 1%.

El instrumento indica el tiempo tomado por el pulso de ultrasonido en viajar desde el transductor de salida hasta el transductor de recepción, se logra esto cuando los transductores son colocados en los lugares convenientes en la superficie del espécimen o estructura a ensayar.



*Fig. 2.4 Esquema de medición directa*

### **Medición Indirecta**

En este método, el transductor que transmite se coloca en un extremo conveniente en la superficie de la estructura del concreto, el transductor de recepción se coloca en la misma superficie en posiciones sucesivas a lo largo de una línea. Se grafica la distancia contra el tiempo de tránsito. La pendiente de la línea recta trazada a través de éstas ubicaciones proporciona la velocidad media del pulso en la superficie.

En general, será encontrado que la velocidad del pulso determinada por el método indirecto de prueba será más baja que, usando el método directo. Si es posible emplear ambos métodos de medida entonces se puede establecer entre ellos un lazo y un factor de corrección derivado. Cuando no es posible utilizar el método directo se puede obtener un valor aproximado para  $V_d$  a partir de:

$$V_d = 1.05 V_1 \text{ (Ec. 2.5)}$$

Dónde:

$V_d$ : es la velocidad del pulso obtenida usando el método directo.

$V_1$ : es la velocidad del pulso obtenida usando el método indirecto.

Si los puntos no mienten en una línea recta, se puede tomar como una indicación que el concreto cercano a la superficie es de calidad variable o que en el concreto existe una grieta.

El cambio de A de la cuesta (según lo mostrado en la Figura 4) en el diagrama podría indicar que la velocidad del pulso cerca de la superficie es mucho más baja que en una llanura más profunda en el concreto. Esta capa superficial, de calidad inferior podría presentarse como resultado de daño por helada, fuego, ataque del sulfato, etc.

Para las distancias de separación del transductor hasta X0, el pulso viaja en la capa superficial de concreto dañado y la pendiente de la línea proporciona la velocidad del pulso en esta capa. Para valores mayores a X0, el pulso ha viajado a lo largo de la superficie del concreto sano, y la pendiente de la línea proporciona una velocidad del pulso en el concreto más alta. El espesor de la capa superficial afectada se estima como sigue:

$$t = \frac{X_0}{2} * \sqrt{\frac{V_s - V_d}{V_s + V_d}} \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Dónde:

Vd: es la velocidad del pulso en el concreto dañado (en m/s)

Vs: es la velocidad del pulso en el concreto sano subyacente (en m/s)

t: es el espesor de la capa de concreto dañado (en m)

X0: es la distancia en la cual ocurre el cambio de la cuesta (en m)

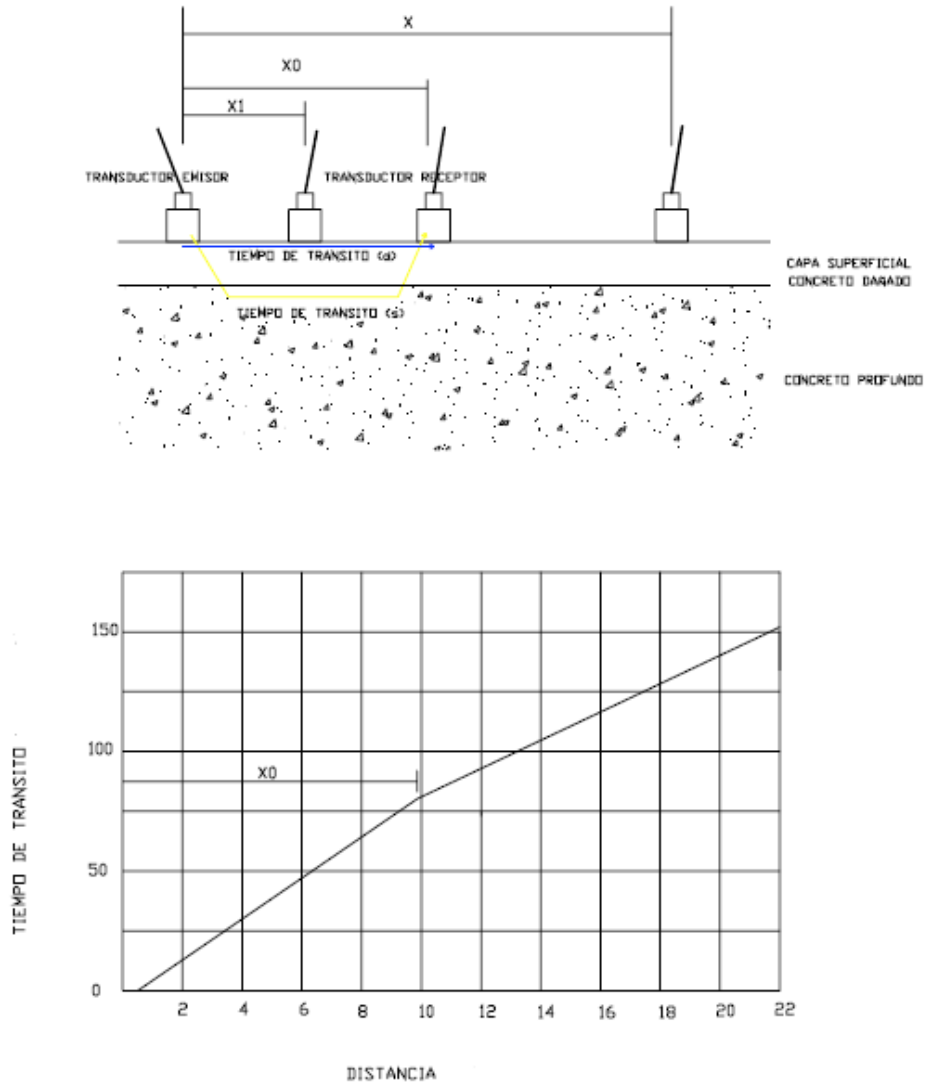


Fig.2.5 Determinación de la capa de la superficie dañada por el método Indirecto.

- También se lo utiliza para los siguientes usos según el manual del equipo fabricado:

#### Correlación de velocidad de pulso y resistencia.

Debería ser comprendido que las propiedades importantes físicas de los materiales que influyen en la velocidad de pulso son el módulo elástico y la densidad. En el hormigón estas propiedades son relacionadas con el tipo de conjunto, su proporción (en la mezcla) y sus propiedades físicas y las propiedades físicas de la pasta de cemento, que se relacionan. Principalmente, al original a/c proporción (de la mezcla) y la madurez del hormigón.

De otra parte, el resistencia de concreto es más relacionado con la proporción a/c que agregar el tipo y las dimensiones de conjunto y pasta. Así las correlaciones entre la velocidad de pulso y la resistencia de hormigón son físicamente indirectas y tienen que ser establecidas para la mezcla específica concreta. Para un hormigón desconocido; la valoración de resistencia, sobre la base de la velocidad de pulso sola, no es confiable.

### **Evolución de la homogeneidad y uniformidad del concreto.**

Según la velocidad de pulsos ultrasónicos en el hormigón podemos ir evaluando si el hormigón está vaciado de forma homogénea, tomando en cuenta que la velocidad sea la misma o con poca variación en toda la estructura de hormigón.

### **La presencia de grietas, vacíos, deterioró regiones**

#### **Estimación del módulo de elasticidad dinámico**

Se puede calcular el módulo de elasticidad dinámico a través de la velocidad de pulso

$$E_D = V^2 \cdot Q \cdot \frac{(1 + n) \cdot (1 - 2 \cdot n)}{1 - n}$$

Dónde:

V: velocidad en km/s

Q: densidad del concreto en Kg/m<sup>3</sup>

n: Poisson ( para hormigones de alta resistencia n=0,15; para hormigones de baja resistencia n=0,30 )

E<sub>D</sub>: Modulo de elasticidad dinámico MN/m<sup>2</sup>

## **Profundidad de grieta**

Una vez localizada una grieta se puede determinar su profundidad con el uso de análisis de la velocidad de pulsos ultrasónicos, con la utilización de la siguiente expresión:

$$h = x \cdot \sqrt{\frac{tc^2}{ts^2} - 1}$$

Dónde:

X: distancia adoptada

h: Profundidad de la grieta

ts: tiempo de transmisión de la onda en una superficie sin grietas, en una distancia de 2x.

tc: tiempo de transmisión de onda en una superficie con grieta, cuando el transmisor y receptor está a una distancia x.

### **2.3.2.4 Equipos**

#### **2.3.2.4.1 Esclerómetro**

Martillo de rebote. Consiste de un martillo de acero cargado con un resorte, que cuando es liberado golpea un émbolo de acero en contacto con la superficie del concreto. El martillo cargado por el resorte debe desplazarse a una velocidad consistente y reproducible. La distancia de rebote desde el émbolo de acero, se mide en una escala lineal unida al marco del instrumento.

#### **Piedra abrasiva**

Consiste de carburo de silicio de textura de grano medio o un material equivalente. Yunque de verificación de los martillos de rebote, de aproximadamente 150 mm (6 pulg) de diámetro y 150 mm (6 pulg) de altura fabricado de acero de herramientas con un área de impacto endurecida de un valor de dureza Rockwell de  $66 \pm 2$  HRC.

Debe estar provisto de una guía para central el martillo de rebote perpendicular a la superficie.

### **Verificación**

Los martillo de rebote deben ser sometidos a mantenimiento y verificación anualmente y siempre que haya una razón para cuestionar su operación. Verificar la operación funcional de un martillo de rebote por medio del yunque de verificación. Durante la verificación, colocar el yunque sobre un piso o losa de concreto. El fabricante del martillo debe indicar el número de rebote a ser obtenido por el martillo de rebote apropiadamente operado cuando se ensaya sobre un yunque de verificación de una dureza especificada.

Típicamente, un martillo de rebote dará un número de rebote de  $80 \pm 2$  cuando se ensaya sobre un yunque. El yunque de verificación debe ser soportado sobre una base rígida para obtener números de rebote confiable. La verificación en el yunque de verificación, no garantiza que el martillo dará lecturas repetibles en otros puntos de la escala de lectura. El martillo puede ser verificado a números de rebote más bajos, usando bloques de piedra pulida que tengan una dureza uniforme. Algunos usuarios comparan varios martillos sobre superficies de piedra o de concreto que tengan el rango de números de rebote que se presume encontrar en la obra.

### **Área de ensayo**

#### **Selección de la superficie de ensayo**

Los miembros de concreto a ser ensayados deben tener por lo menos 100 mm (4 pulg) de espesor y estar fijos dentro una estructura. Evitar áreas que exhiban ratoneras, escamas, textura rugosa o alta porosidad. No deben compararse resultados de concreto que no fueran conformados con formaletas similares. Las superficies alisadas con llana generalmente exhiben números de rebote mayores que las superficies de acabados formaleteados. Si es posible las losas estructurales deben ser ensayadas desde la parte inferior para evitar superficies terminadas.

#### **Preparación de la superficie de ensayo**

Un área de ensayo debe ser de por lo menos 150 mm (6 pulg) de diámetro. Las superficies de textura gruesa, suave o con mortero suelto deben ser pulidas planas, con la piedra abrasiva. Las superficies conformadas lisas por la formaleta o por llana,

no necesitan ser pulidas antes de su ensayo. No debe compararse valores entre superficies pulidas y no pulidas. Remover agua libre superficial presente antes de hacer el ensayo.



*Fig. 2.6 Esclerómetro (Controls).*

#### **2.3.2.4.2 Pistola de Penetración (Pistola de Windsor).**

Consiste en un dispositivo que proyecta sondas. Se basa en la medida de la profundidad en que penetran dichos clavos en la superficie del elemento a examinar (Pucinotti 2009).

#### **Ensayos de Resistencia con Pines:**

##### **Unidad de Conducción**

El conductor será un dispositivo capaz de conducir un pin dentro del concreto con una precisión de cantidad de energía controlada. El pin será forzado a introducirse en el concreto, creando un agujero así que la profundidad de la penetración puede ser medida.

El conductor de resorte requiere una verificación regular de la cantidad de energía transferida al pin. Servicio es requerido cuando hay una razón para cuestionar sus propiedades de operación.

##### **Pin**

El pin será una barra de acero endurecido, tratado en caliente para dureza Rockwell 62 a 66 HRC, con un extremo afilado y el otro desafilado. Las dimensiones de los pines serán uniformes dentro de  $\pm 2.0\%$ .

Un pin con longitud aproximada de 30 mm (1.2 pulg), un diámetro de 3.6 mm (0.14 pulg) y una punta fresada en un ángulo de 22.5 grados con su eje longitudinal.

### **Equipo de Medición**

#### **Instrumento de Medición**

Un medidor de espesores con una placa de referencia será usado para medir la profundidad de penetración de la punta del pin dentro del concreto al más cercano 0.001 pulg (0.025 mm).

El cilindro medido de la profundidad deberá tener un diámetro y un ángulo de derribado que son menores que el del pin.



*Fig. 2.7 Pistola Winsord.*

#### **2.3.2.4.3 Pulsos Ultrasónico**

El aparato de prueba, consiste de un generador de pulso, un par de transductores (transmisor y receptor), un amplificador, un circuito medidor de tiempo, una pantalla (display) de tiempo y cables conectores.

##### **Generador de Pulso y Transductor Transmisor**

El generador de pulso consistirá en circuitos para generar pulsos de voltaje El transductor para transformar esos pulsos electrónicos en ondas explosivas de energía mecánica tendrá una frecuencia resonante en el rango de 20 a 100 kHz.

##### **Transductor Receptor y Amplificador**

El transductor receptor será similar al transductor transmisor. El voltaje generado por este será amplificado tanto como sea necesario para producir pulsos disparados al circuito medidor de tiempo. El amplificador tendrá una respuesta uniforme entre media y tres veces la frecuencia resonante del transductor receptor.

##### **Agente de Acoplamiento**

Un material viscoso (tal como aceite, vaselina, gelatina soluble en agua, hule moldeable o grasa) para asegurar eficiente transferencia de energía entre el concreto y los transductores. La función del agente de acoplamiento es eliminar aire entre las superficies de contacto de los transductores y el concreto. El agua es un aceptable agente de acoplamiento cuando se estanca en la superficie, o para ensayos bajo el agua.



*Fig. 2.8 Análisis de Pulsos Ultrasónicos.*

### **3. OBTENCIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.1. Dosificación**

##### **3.1.1. Determinación de la característica de los agregados**

Como agregados para la confección de hormigones pueden emplearse arenas y gravas naturales o procedentes de machaqueo, que reúnan igual o superior grado las características de resistencia y durabilidad que se exijan al hormigón.

Los áridos pueden ser rodados o machacados. Los primeros proporcionan hormigones más dóciles y trabajables, requiriendo menos cantidad de agua que los segundos. Los machacados confieren al hormigón fresco una cierta actitud que dificulta su puesta en obra. En ambos efectos influye más la arena que la grava. En cambio, los áridos machacados proporcionan mayor trabazón que refleja mayor resistencia en el hormigón.

Las características de las propiedades de los agregados empleados en la elaboración del hormigón estructural, tienen un valor importante al diseñar las proporciones del mismo, por eso mismo es importante caracterizar los agregados.

##### **3.1.1.1. Agregado grueso**

Es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava. La resistencia de la grava viene ligada de sus dureza, densidad y módulo de elasticidad. Se aprecia en la limpieza y agudeza de los cantos vivos resultantes del machaqueo.

Este debe cumplir con ciertas características especificadas por norma las cuales las desarrollaremos en los siguientes sub capítulos.

##### **3.1.1.1.1. Granulometría**

La distribución de los distintos tamaños de los grados que componen un árido tiene una importancia decisiva en las características de hormigón. El estudio de dicha distribución suele efectuarse mediante la curva granulométrica, que se determina cribando el árido a través de una serie normalizada de cribas y tamices.

Los agregados gruesos deben cumplir con los requisitos indicados en la Tabla 1 (ver anexos 1) para el número de tamaño especificado.

Los resultados obtenidos de la granulometría (anexo 3) ensayada del material seleccionado son los siguientes:

Tamices	% Que pasa	% Que pasa s/g	
	del total	Especif. ASTM C-33	
2 1/2"	100	100	100
2"	100	100	100
1 1/2"	100	95	100
1"	88.5		
3/4"	67.1	35	70
1/2"	32.7		
3/8"	18.8	10	30
Nº4	1.1	0	5
BASE	0		

### 3.1.1.1.2. Determinación del peso específico y absorción

#### **Peso específico**

Es la masa por unidad de volumen de un material expresada en  $\text{kg/m}^3$ .

#### **Peso específico (s)**

Es la masa seca al horno de los agregados por unidad de volumen de las partículas, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables dentro de las partículas, pero no incluyendo los vacíos entre las partículas.

#### **Peso específico (sss)**

Es la masa saturada de superficie seca del agregado de los poros impermeables y de los poros permeables llenos de agua de las partículas, pero no incluyendo los vacíos entre las partículas.

#### **Peso específico aparente**

Es la masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas de los agregados.

#### **Absorción del Agua**

Es el incremento en la masa del agregado debido a la penetración de agua entre los poros de las partículas durante un período de tiempo, prescrito, pero no incluyendo el agua adherida a la superficie externa de las partículas. Se le expresa como un porcentaje de la masa seca. .

### **Realización del ensayo**

Sumergir una muestra del agregado en agua por  $24 \pm 4$  h para esencialmente llenar los poros. Luego remover la muestra del agua, secar el agua de la superficie de las partículas y determinar el volumen de la muestra por el método de desplazamiento de agua. Finalmente secar la muestra al horno y determinar su masa. Utilizando los valores de masa obtenidas y las formulas indicadas.

- **Calcule el peso específico con las formulas siguientes:**

### **Peso específico a granel**

$$GE = A / (B - C) \text{ (Ec. 3.1)}$$

### **Peso específico en condición saturada superficialmente seca.**

$$GE_{sss} = B / (B - C) \text{ (Ec. 3.2)}$$

### **Peso específico Aparente**

$$Ge_a = A/A - C \text{ (Ec. 3.3)}$$

Dónde:

A = Peso de la muestra seca.

B = Peso de muestra en la condición saturada superficialmente seca.

C = Peso de muestra sumergida = D - E.

- **Calcule el porcentaje de absorción, como sigue:**

$$\text{Absorción, \%} = [(B - A)/A] \times 100 \text{ (Ec. 3.4)}$$

Dónde:

B= Peso de la muestra en condición de saturada superficialmente seca.

A= Peso de la muestra seca.

Los resultados obtenidos de la muestra (anexo 3) ensayada del material seleccionado son los siguientes:

<b>PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm3)</b>	<b>PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm3)</b>	<b>PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm3)</b>	<b>% DE ABSORCIÓN</b>
<b>2.56</b>	<b>2.61</b>	<b>2.67</b>	<b>1.63</b>

### **3.1.1.1.3. Determinación del % de humedad**

Es necesario obtener la humedad del agregado para poder realizar los cálculos de dosificación, esto es muy sencillo pesando una muestra húmeda y luego dejándola secar en el horno para luego pesar la muestra seca, y calculamos con la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{A-B}{B} \cdot 100 \text{ (Ec. 3.5)}$$

Los resultados obtenidos de la granulometría (anexo 3) ensayada del material seleccionado son los siguientes:

<b>% de Humedad</b>	<b>2.88</b>
---------------------	-------------

### **3.1.1.1.4. Determinación del peso unitario**

La determinación del peso unitario entre las partículas de los agregados a granel en condición compactada o suelta, y el cálculo de los vacíos, agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos, basándose en una misma determinación. Este método de prueba es aplicable a aquellos agregados que no excedan de 125 mm (5 pulg) en tamaño nominal máximo.

El término común en nuestro medio con el cual se denomina la densidad total en agregados es la determinación de los pesos volumétricos sueltos y varillado del agregado de 3 capaz de 25 golpes con varilla de 5/8".

Se utiliza recipiente según el tamaño máximo del agregado estipulado en la tabla 2 (anexo 1).

### **Procedimiento**

El procedimiento de paleo para calcular la densidad en masa suelta sólo debe usarse cuando se estipule expresamente. De lo contrario, la densidad en masa compactada debe determinarse mediante el procedimiento de varillado.

### **Procedimiento de Varillado**

Llenar el recipiente a un tercio y nivelar la superficie con los dedos. Varillar la capa de agregado dando 25 golpes con la varilla de apisonado, distribuyéndolos uniformemente sobre la superficie. Llenar el recipiente a dos tercios de la capacidad total y vuelva a nivelar y varillar como se hizo anteriormente. Finalmente, llenar el recipiente hasta rebosarlo y varillar nuevamente tal como lo hizo con anterioridad.

Nivelar la superficie de agregados con los dedos o con una regla enrasadora, de tal manera que cualquier proyección ligera de los pedazos más grandes del agregado grueso equilibren aproximadamente los vacíos más grandes en la superficie por debajo del tope del recipiente.

Al varillar la primera capa no permita que la varilla toque con fuerza el fondo del recipiente. Al varillar la segunda y tercera capas, aplique bastante fuerza, pero no más de la necesaria como para ocasionar que la varilla penetre en la capa previa de agregados.

Los resultados obtenidos de la muestra (anexo 3) ensayada del material seleccionado son los siguientes:

<b>PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>1.547</b>

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>1.625</b>

### 3.1.1.2. Agregado fino

El agregado fino puede ser arena natural, arena manufacturada, o una combinación de ambas.

La arena constituye de hecho la mayor parte del porcentaje en peso del hormigón. Dicho porcentaje usualmente supera el 60% del peso en el hormigón fraguado y endurecido. La adecuación de un árido para la fabricación de hormigón debe cumplir un conjunto de requisitos usualmente recogidos en las normas. Dichos requisitos se refieren normalmente a la composición química, la granulometría, los coeficientes de forma y el tamaño.

#### 3.1.1.2.1. Granulometría

El agregado fino deberá estar bien gradado entre los límites fino y grueso y deberá llegar a tener la granulometría que especifica la norma ASTM en la tabla 3 (anexo 1).

Los resultados obtenidos de la muestra (anexo 3) ensayada del material seleccionado son los siguientes:

Tamices	% que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
3/8	100.0	100	100
Nº4	98.5	95	100
Nº8	94.2	80	100
Nº16	86.2	50	85
Nº30	65.4	25	60
Nº50	24.8	5	30
Nº100	5.7	0	10
BASE	0.0	MF	2.25

### 3.1.1.2.2. Determinación del porcentaje que pasa el tamiz N°200

La determinación exacta de material más fino que la malla No.200 puede lograrse utilizando únicamente este método de ensayo. Se debe emplear el método de ensayo de la norma ASTM C 117 para materiales más finos que la malla No.200 por lavado y donde el material pasante no debe exceder de un 5% de la muestra total.

Se debe tomar una porción de muestra fina y se la somete a lavado en el tamiz No.200 hasta lograr que el agua sea totalmente cristalina, se hace secar en el horno para determinar luego su peso.

El porcentaje que pasa de lo determina mediante:

$$\% \text{ que pasa No.200} = 100 - (B/A) \cdot 100 \text{ (Ec. 3.6)}$$

Dónde:

A: peso inicial de la muestra

B: peso retenido el tamiz No.200

<b>peso de la muestra inicial</b>	<b>peso de la muestra retenida en tamiz No.200</b>
<b>% que pasa tamiz No.200</b>	<b>4.777</b>

### 3.1.1.2.3. Determinación del peso específico y absorción

El peso específico es una propiedad física de los agregados y está definida por la relación entre el peso y el volumen de una determinada masa, lo que significa que depende directamente de las características del agregado.

Existen tres tipos de pesos específicos los cuales están basadas en la relación entre masa en el aire y el volumen del material.

#### **Peso específico a granel**

Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo los poros no saturable, y la masa de un volumen igual de agua.

#### **Peso específico (SSS)**

La relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo sus poros saturables y no saturables, pero sin incluir los vacíos entre las partículas y la masa de un volumen igual agua.

### **Peso específicos aparente**

La relación ente la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo la masa del agua dentro de los poros saturables, después de inmersión en agua durante 24 horas, pero sin incluir los vacíos entre las partículas, comparando con la masa de un volumen igual de agua.

Para la realización de este ensayo se debe seguir el siguiente procedimiento:

La muestra sumergida 24 horas se la debe secar superficialmente hasta que al hacer la prueba del cono con el pisón, la arena se deslice al sacar el cono formando una pirámide, este es el punto donde la muestra está saturada con la superficie seca.

Introducir 500gr de la arena a un matraz previamente calibrado, luego llenarlo de agua hasta el tope y hacer rodar el matraz para eliminar el aire, pesamos el matraz lleno de material y vacío. Dejar secar la muestra para luego obtener su peso seco.

Los cálculos se los realiza utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V-W} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

$$\text{Peso específico (SSS)} = \frac{500}{V-W} \quad (\text{Ec. 3.8})$$

$$\text{Peso específicos aparente} = \frac{500-A}{(V-W)-(500-A)} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{500-A}{A} \cdot 100 \quad (\text{Ec. 3.10})$$

Los resultados obtenidos de la muestra (anexo 3) ensayada del material seleccionado son los siguientes:

P. E.	P. E.	P. E.	%
A GRANEL	SATURADO CON	APARENTE	DE
(gr/cm3)	SUP. SECA	(gr/cm3)	ABSORCIÓN
	(gr/cm3)		
<b>2.49</b>	<b>2.55</b>	<b>2.66</b>	<b>2.54</b>

#### 3.1.1.2.4. Determinación del peso unitario

Este ensayo se lo realiza de la misma manera ya mencionada anteriormente para el agregado grueso pero tomando en cuenta el tamaño del recipiente.

Se utiliza recipiente según el tamaño máximo del agregado estipulado en la tabla 2 (anexo 1).

Los resultados obtenidos de la muestra (anexo 3) ensayada del material seleccionado son los siguientes:

<b>PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm3)</b>
<b>1.524</b>

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm3)</b>
<b>1.639</b>

#### 3.1.1.2.5. Determinación de la humedad

La obtención de la humedad se la realiza al igual que del agregado grueso

Los resultados obtenidos de la granulometría (anexo 3) ensayada del material seleccionado son los siguientes:

% de Humedad	<b>1.24</b>
--------------	-------------

### 3.1.1.2.6. Calculo de la dosificación

En la dosificación de las probetas de hormigón se trabajó con la norma ACI para las resistencias de 150, 170, 190, 210, 230 y 250 Kg/cm<sup>2</sup> para la realización de la correlación para la determinación de la resistencia a compresión.

#### 3.1.1.2.6.1. Dosificación para 150Kg/cm<sup>2</sup> de resistencia.

Datos obtenidos de los agregados:

ENSAYO	Unidad	Valor
1.- Modulo de finura de la arena (MF)	s/u	2.25
2.- Peso unitario Compactado de la grava ( PUC )	kg/m <sup>3</sup>	1625
3.- Peso específico de la arena ( $\gamma_f$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2.66
4.- Peso específico de la grava ( $\gamma_g$ )	gr/cm <sup>3</sup>	2.67
5.- Absorción de la arena ( Aa )	%	2.54
6.- Absorción de la Grava ( Ag )	%	1.6
7.- Humedad de la Arena ( Ha )	%	1.24
8.- Humedad de la Grava ( Hg )	%	2.88
9.- Tamaño máximo Nominal ( TMN )	pulg	1.00
10.- Tamaño Máximo ( TM )	pulg	1.50
11.- Peso específico del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	3.14

#### Características de diseño:

De la tabla 2 a través de la resistencia de diseño  $f_{ck}'$  tenemos que la resistencia característica del hormigón es  $f_{ck} = f_{ck}' + 70$ .

Para determinar que el asentamiento debemos tomar entramos a la tabla 1 tomando en cuenta que será con colación manual y sin vibración.

En la determinación de relación agua cemento la obtenemos de la tabla 3 donde tomamos en cuenta la resistencia a los 28 días y la línea media.

Resistencia de diseño ( $f_{ck}'$ )	150	kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia Característica ( $f_{ck}$ ) (Tabla 2)	220	kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento ( S ) (Tabla 1)	3	pulg
Relación Agua / Cemento ( a/c ) (Tabla 3)	0.7	s/u

### **Vol. del Agregado Grueso / Vol. unitario concreto (b/bo)**

Este dato lo obtenemos de la tabla 4 a través del tamaño máximo del agregado y el módulo de finura del agregado grueso.

Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario concreto ( b/bo) (Tabla 4)	0.765	s/u
---	-------	-----

### **Requerimiento de agua para el hormigonado (A)**

La cantidad de agua está determinado a través de la tabla 5 y tomando en cuenta el tamaño máximo del agregado y el asentamiento adoptado.

Requerimiento de Agua ( A) (Tabla 5)	175	kg/m <sup>3</sup>
--------------------------------------	-----	-------------------

#### **Cálculos:**

- **Peso Agregado Grueso ( Pag )**

$$Pag = \frac{b}{bo} PUC$$

$$Pag = 0.765 \times 1625$$

$$Pag = 1242.76 \text{ Kg/m}^3$$

- **Peso cemento ( Pc )**

$$Pc = \frac{A}{a/c}$$

$$Pc = \frac{175}{0.7}$$

$$Pc = 250 \text{ kg/m}^3$$

- **Volumen de Agregado Grueso ( Vag )**

$$Vag = \frac{Pag}{\gamma g}$$

$$Vag = \frac{1242.76}{2.67}$$

$$Vag = 464.61 \text{ lt/m}^3$$

- **Volumen del cemento ( Vc )**

$$V_c = \frac{P_c}{\gamma_c}$$

$$V_c = \frac{250}{3.1}$$

$$V_c = 79.62 \text{ lt/m}^3$$

- **Volumen de Arena ( Vaf )**

$$V_{af} = 1000 - V_c - A - V_{ag}$$

$$V_{af} = 1000 - 79.62 - 175 - 464.61$$

$$V_{af} = 280.77 \text{ lt/m}^3$$

- **Peso del agregado fino ( Paf )**

$$P_{af} = V_{af} \cdot \gamma_f$$

$$P_{af} = 280.77 \times 2.66$$

$$P_{af} = 747.43 \text{ kg/m}^3$$

**Corrección por agua:**

- **Peso Húmedo de la arena ( Pha )**

$$P_{ha} = P_{af} \times (1 + H_a)$$

$$P_{ha} = 756.67 \text{ kg/m}^3$$

- **Peso Húmedo de la Grava ( Phg )**

$$P_{hg} = P_{ag} \times (1 + H_g)$$

$$P_{hg} = 1278.56 \text{ kg/m}^3$$

- **Agua corregida a la grava ( Acg )**

$$A_{cg} = P_{ag} \times (A_g - H_g)$$

$$A_{cg} = -15.60 \text{ lt/m}^3$$

- **Agua corregida a la Arena ( Acf )**

$$A_{cf} = P_{af} \times (A_a - H_a)$$

$$A_{cf} = 9.75 \text{ lt/m}^3$$

- **Total Agua Corregida ( Atc )**

$$A_{tc} = A_{cg} + A_{cf}$$

$$A_{tc} = -5.84 \text{ lt/m}^3$$

### **Pesos húmedos de los ingredientes por (m<sup>3</sup>) de hormigón**

<b>Ingrediente</b>	<b>Peso Seco kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Peso Húmedo kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Cemento</b>	250.00	250.00
<b>Agua</b>	175.00	169.16
<b>Grava</b>	1242.76	1278.56
<b>Arena</b>	747.43	756.67

### **Proporciones de mezcla**

<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Grava</b>
<b>1.0</b>	<b>3.0</b>	<b>5.0</b>

Los resultados obtenidos de las dosificaciones (anexo 4)

## **3.2. Resistencias característica del hormigón a compresión**

### **3.2.1. Ensayos destructivos**

#### **3.2.1.1. Rotura a compresión**

Se realizó a los 28 días de vaciado los ensayos de rotura para cada dosificación con numero de 9 probetas, con dimensiones estándar de 150mm de diámetro y 300mm de altura, las cuales estaban visualmente en buenas condiciones (sin cangrejas, lisas, cara superior e inferior paralelas y con área uniforme), se utilizó una prensa hidráulica digital (marca Controls), con una velocidad constante de 0,5 MPa/s, sensibilidad de 0,1 KN, y también utilizamos cabezales de rotura (marca Controls) que consta de dos bases metálicas superior e inferior donde entran en ellas una lámina de Shore A-50 para 10 a 40 MPa y tienen una confiabilidad de 95%.

Los resultados obtenidos de la rotura de probetas (anexo 5) son los siguientes:

N°	Resistencia	Resistencia	Resistencia	Resistencia	Resistencia	Resistencia
	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)
1	144.78	167.94	187.80	211.04	221.90	242.67
2	145.00	166.85	188.37	206.72	223.00	243.19
3	138.52	165.25	188.20	210.76	221.81	242.42
4	146.59	166.95	187.39	210.27	223.75	242.02
5	145.46	166.92	182.78	211.57	222.53	242.00
6	144.86	145.58	182.61	211.46	220.12	222.83
7	144.86	167.08	188.32	152.44	224.95	242.21
8	141.97	169.25	187.99	211.94	224.70	243.13
9	141.97	164.54	188.77	202.63	222.86	242.21
<b>Dosificación</b>	150	170	190	210	230	250

### 3.2.2. Ensayos no destructivos

#### 3.2.2.1. Esclerometria

La Esclerometria en las probetas se la realizo en una de sus caras, con una posición del equipo de -90 grados con la horizontal y con una matriz de 5 x 5 donde en total hicimos 25 disparos, de los cuales obtenemos su número de rebote, estos datos hay que procesarlos como esta en norma, se procede a sacar promedio de los 25 datos de numero de rebote, de los datos que difieran en 6 unidades del promedio se desprecian y de los datos restantes se los promedia nuevamente y con ese promedio entramos al ábaco del equipo.

- Ensayo y calculos realizados para la probeta número 1 de dosificación de 150 kg/cm2

#### LECTURAS DE CAMPO

20	18	22	18	20
22	20	20	20	24
22	22	22	22	24
22	22	18	24	24
20	20	20	14	20

#### LECTURAS PROCESADAS

20	18	22	18	20
22	20	20	20	24
22	22	22	22	24
22	22	18	24	24
20	20	20		20

Promedio 10 primeras lecturas: 21 Valor promedio de rebote, R: 21.083  
 Edad del hormigón, días: 28

**Resistencia del hormigón: 157.55 [Kg/cm<sup>2</sup>]**

Los demás ensayos los tenemos en (anexo 6)

Tabla de todos los ensayos para todas las probetas.

N°	Datos resultantes de los ensayos de Esclerometria en Kg/cm2					
1	157.55	178.91	198.97	217.62	226.01	258.74
2	157.66	177.57	200.55	206.56	226.92	251.57
3	143.21	174.90	199.24	219.44	228.25	251.57
4	158.41	174.90	197.69	220.27	233.38	253.24
5	158.41	178.56	189.34	222.34	229.64	245.76
6	154.46	177.01	187.41	216.25	223.26	256.78
7	156.97	177.01	194.56	220.71	235.85	249.21
8	145.55	180.31	198.05	221.12	237.08	248.97
9	151.53	174.90	197.82	206.56	204.47	248.41
<b>Dosificación</b>	150	170	190	210	230	250

### 3.2.2.2. Ultrasonido

Para el análisis ultrasónico de los especímenes de hormigón se utilizó un equipo marca Controls, se colocó el transmisor en una de las caras circulares y el receptor en la otra cara con el uso de glicerina en gel suficiente como para que la lectura del tiempo se mantenga constante, obtuvimos 10 lecturas de tiempos para cada probeta, los tiempos que obtenemos del ultrasonido está en micro segundos, y si la distancia entre el transmisor y receptor la dividimos entre el tiempo obtenemos la velocidad con que la onda viaja a través del hormigón

Los cálculos son:

$$V = \frac{d}{t}$$

Donde:

V: Velocidad que transita la onda ( Km/s )

d: Distancia entre el receptor y el receptor ( mm )

t: tiempo en llegar la onda de un extremo a otro (  $\mu$ s )

Cálculos de todas las pruebas están en (anexo 7)

Tabla de resultados para todas las probetas:

N°	Análisis de Pulsos Ultrasónicos velocidad ( Km/s )					
	1	3.602	3.553	3.524	3.478	3.460
2	3.603	3.558	3.519	3.491	3.447	3.33
3	3.614	3.560	3.516	3.480	3.451	3.32
4	3.598	3.557	3.512	3.482	3.456	3.32
5	3.595	3.565	3.517	3.479	3.456	3.32
6	3.603	3.557	3.521	3.478	3.384	3.31
7	3.597	3.555	3.509	3.483	3.444	3.32
8	3.611	3.496	3.507	3.484	3.139	3.32
9	3.599	3.560	3.510	3.485	3.442	3.32
Dosificación	150	170	190	210	230	250

### 3.2.2.3. Penetración

Las pruebas de penetración del hormigón para la determinación de la resistencia a la compresión realizadas con una pistola de penetración Windsor, se la realizo con pines de 6.35 milímetros de diámetro, se realizó los ensayos para las diferentes dosificaciones, tomando en cuentas las diferentes recomendaciones del fabricantes y de norma.

Se realizó 3 disparos para cada dosificación para poder sacar una media como esta en norma y en el manual del equipo.

Una vez teniendo las lecturas de la penetración se entra tablas de moh para tener la resistencia del hormigón.

Se obtuvo los siguientes resultados:

Penetración (Kg/cm2)
152.649
172.826

196.672
221.129
233.358
255.370

### 3.3. Curvas de correlación

#### 3.3.1. Correlación del esclerómetro.

Si bien tenemos que el esclerómetro es un equipo de pruebas no destructivas al hormigón, que nos determina la dureza exterior, no obstante tiene cierta relación con la resistencia del hormigón, pero no la podemos tomar como su resistencia, si bien estos valores tienen un grado de similitud.

Para lo cual se hicieron pruebas de hormigones con resistencias desde 150 – 250 Kg/cm<sup>2</sup>, en las cuales observamos que la dureza exterior del hormigón tiene de un 3 – 9 % de variación.

Realizando las curvas de correlación esclerometria y rotura en la prensa hidráulica de las probetas de hormigón, encontramos algunas pruebas totalmente disparadas (resaltadas de amarillo en las tablas) las cuales fueron depuradas por que no cumplían con el patrón que seguían las demás, las graficamos primeramente por separado por dosificación para tener mayor apreciación las cuales las encontramos en los anexos, una vez echa esta selección de datos obtuvimos una curva que sigue cierta tendencia y una buena correlación.

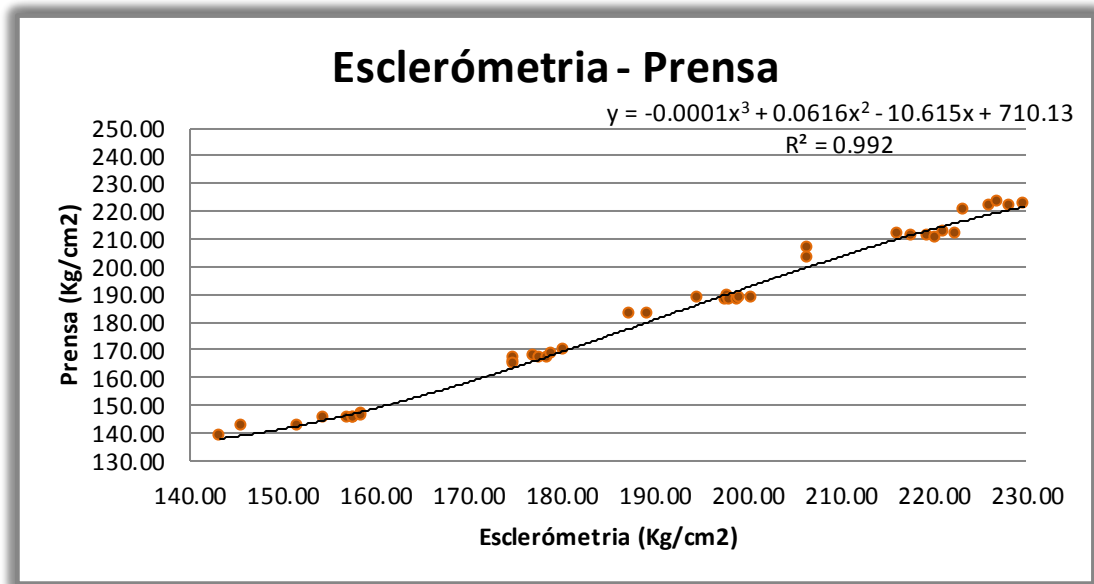
Tabla de todos los datos de las pruebas de esclerometria y rotura de probetas por la prensa.

	N°	Rotura de Probetas	Esclerometria
		(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Dosificación de 150 kg/cm <sup>2</sup>	3	138.52	143.21
	8	141.97	145.55
	9	141.97	151.53
	6	144.86	154.46
	7	144.86	156.97
	1	144.78	157.55
	2	145.00	157.66

	4	146.59	158.41
	5	145.46	158.41
Dosificación de 170 kg/cm <sup>2</sup>	3	165.25	174.90
	4	166.95	174.90
	9	164.54	174.90
	6	145.58	177.01
	7	167.08	177.01
	2	166.85	177.57
	5	166.92	178.56
	1	167.94	178.91
	8	169.25	180.31
	Dosificación de 190 kg/cm <sup>2</sup>	6	182.61
5		182.78	189.34
7		188.32	194.56
4		187.39	197.69
9		188.77	197.82
8		187.99	198.05
1		187.80	198.97
3		188.20	199.24
2		188.37	200.55
Dosificación de 210 kg/cm <sup>2</sup>		2	206.72
	9	202.63	206.56
	6	211.46	216.25
	1	211.04	217.62
	3	210.76	219.44
	4	210.27	220.27
	7	152.44	220.71
	8	211.94	221.12
	5	211.57	222.34
Dosificación de 230 kg/cm <sup>2</sup>	9	222.864	
	6	220.124	223.26
	1	221.900	226.01
	2	223.002	226.92
	3	221.814	228.25
	5	222.535	229.64
	4	223.746	233.38
	7	224.946	235.85
	8	224.698	237.08
Dosificación de 250 kg/cm <sup>2</sup>	5	242.003	245.76
	9	242.211	248.41
	8	243.128	248.97

	7	242.211	249.21
	2	243.186	251.57
	3	242.425	251.57
	4	242.021	253.24
	6	222.835	256.78
	1	242.673	258.74

- Curva de correlación para datos de dureza exterior de esclerometria  
 $140 < r > 225 \text{ Kg/cm}^2$



Donde obtenemos la siguiente ecuación:

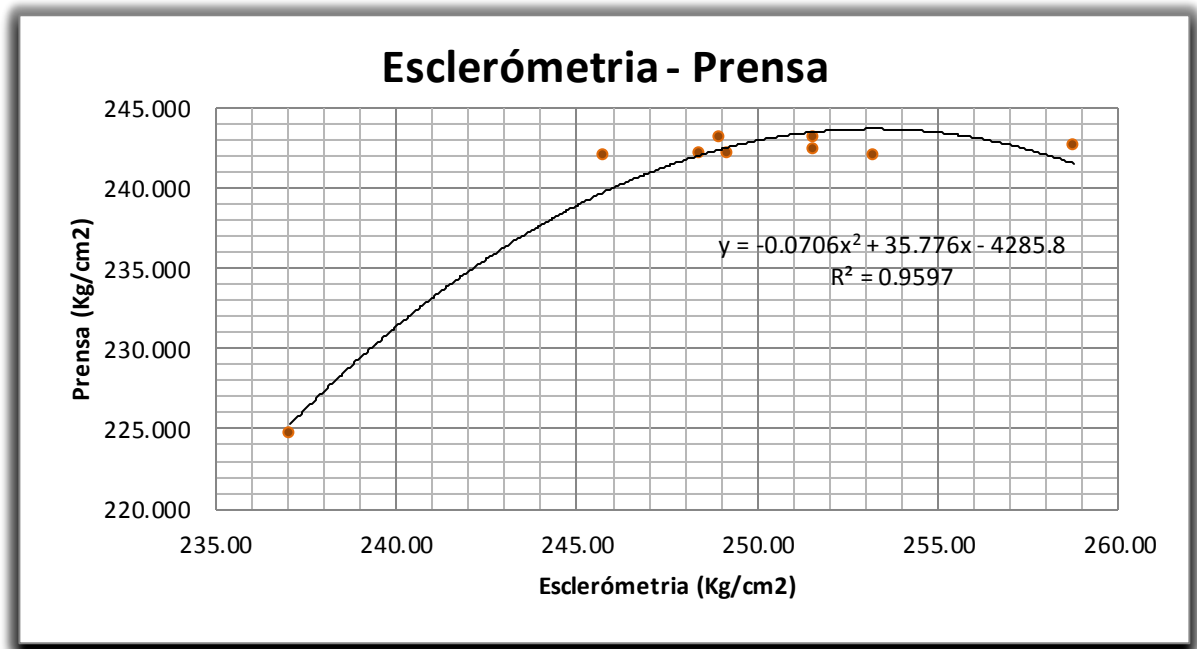
$$R = -0.0001 \cdot r^3 + 0.0616 \cdot r^2 - 10.615 \cdot r + 710.13$$

Dónde:

R: resistencia del hormigón correlacionada por la prensa.

r: resistencia obtenida de la prueba de esclerometria.

- Curva de correlación para datos de dureza exterior de esclerometria  
 $225 < r > 260 \text{ Kg/cm}^2$



Donde obtenemos la siguiente ecuación:

$$R = 0.0706 \cdot r^2 + 35.776 \cdot r + 4285.8$$

Dónde:

$R$ : resistencia del hormigón correlacionada por la prensa.

$r$ : resistencia obtenida de la prueba de esclerometria.

### 3.3.2. Correlación del ultrasonido

En la correlación del ultrasonido con la prensa hidráulica es más indirecta ya que en el ultrasonido obtenemos la velocidad de onda con que el hormigón la deja transitar, en estos ensayos no tenemos parámetros para poder saber cuál es la resistencia del hormigón.

Al correlacionar estos datos con los de la rotura de probetas hemos evidenciado que existen variaciones bastante considerables en estas lecturas ya que el ultrasonidos es muy sensible al momento de poner en contacto los sensores con el hormigón un pequeño movimiento puede hacer variar mucho como lo indica la norma, también se depuro muchos datos que no tenían ninguna relación con los demás y eran erróneos,

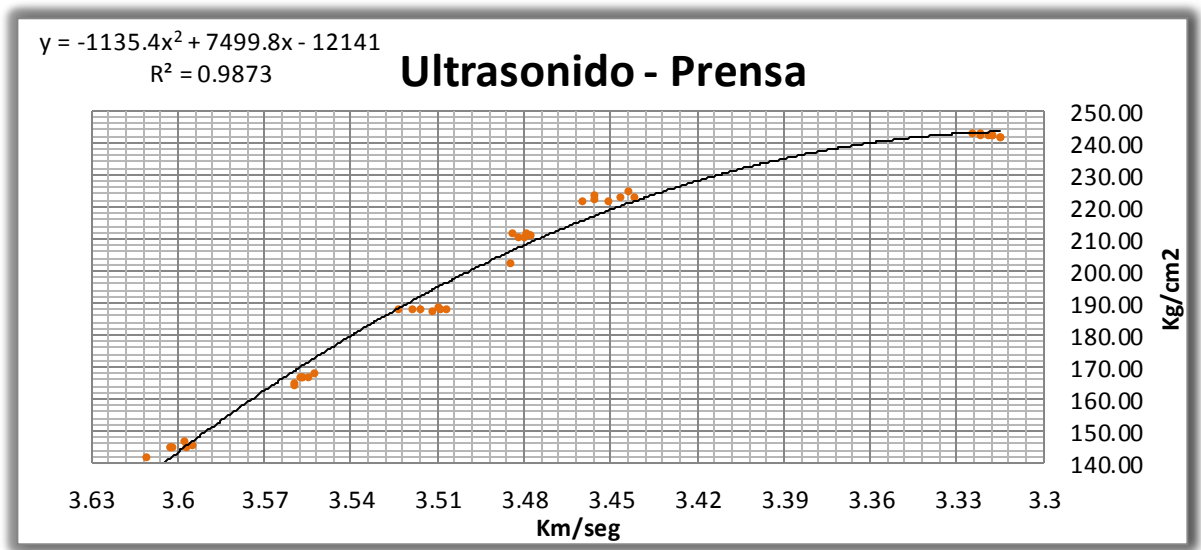
se realizó curvas para cada dosificación para poder tener mayor apreciación de los datos disparados.

Tabla de todos los datos de las pruebas de ultrasonido y rotura de probetas por la prensa.

	N°	Rotura de Espécimen	Ultrasonido
		(Kg/cm <sup>2</sup> )	(Km/s)
Dosificación de 150 kg/cm <sup>2</sup>	3	138.52	3.614
	8	141.97	3.611
	2	145.00	3.603
	6	144.86	3.603
	1	144.78	3.602
	9	141.97	3.599
	4	146.59	3.598
	7	144.86	3.597
	5	145.46	3.595
Dosificación de 170 kg/cm <sup>2</sup>	6	145.58	3.565
	9	164.54	3.560
	3	165.25	3.560
	2	166.85	3.558
	5	166.92	3.557
	4	166.95	3.557
	7	167.08	3.555
	1	167.94	3.553
Dosificación de 190 kg/cm <sup>2</sup>	1	187.80	3.524
	6	182.61	3.521
	2	188.37	3.519
	5	182.78	3.517
	3	188.20	3.516
	4	187.39	3.512
	9	188.77	3.510
	7	188.32	3.509
	8	187.99	3.507
Dosificación de 210 kg/cm <sup>2</sup>	2	206.72	3.491
	9	202.63	3.485
	8	211.94	3.484
	7	152.44	3.483

	4	210.27	3.482
	3	210.76	3.480
	5	211.57	3.479
	1	211.04	3.478
	6	211.46	3.478
Dosificación de 230 kg/cm <sup>2</sup>	1	221.90	3.460
	4	223.75	3.456
	5	222.53	3.456
	3	221.81	3.451
	2	223.00	3.447
	7	224.95	3.444
	9	222.86	3.442
	6	220.12	3.384
8	224.70	3.139	
Dosificación de 250 kg/cm <sup>2</sup>	2	243.19	3.33
	7	242.21	3.32
	8	243.13	3.32
	1	242.67	3.32
	3	242.42	3.32
	9	242.21	3.32
	4	242.02	3.32
	5	242.00	3.32
6	222.83	3.31	

- Curva de correlación para hormigones que estén entre los 140 - 225 Kg/cm<sup>2</sup>.



Esta curva corresponde a la siguiente ecuación:

$$R = -1135,4 \cdot v^2 + 7499,8 \cdot v - 12141$$

Dónde:

R: resistencia del hormigón correlacionada por la prensa.

v: velocidad que tarda la onda en pasar de un punto a otro.

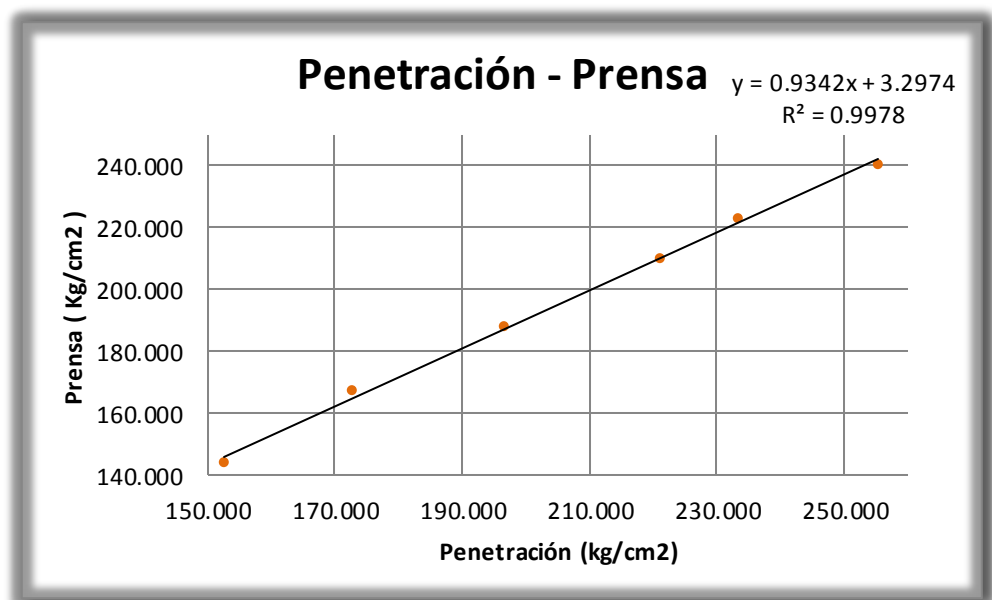
Nota: esta curva corresponde para velocidades 3.3 – 3.6 km/s.

### 3.3.3. Correlación de la Penetración

Tabla de todos los datos de las pruebas de penetración y rotura de probetas por la prensa.

Dosificación Kg/cm <sup>2</sup>	Rotura de Espécimen (Kg/cm <sup>2</sup> )	Penetración (Kg/cm <sup>2</sup> )
150	143.778	152.649
170	166.847	172.826
190	187.431	196.672
210	209.550	221.129
230	222.848	233.358
250	240.299	255.370

De la cual corresponde a la siguiente curva.



$$R = 0,9342 \cdot r + 3,2974$$

Dónde:

R: resistencia del hormigón correlacionada por la prensa.

r: resistencia obtenida de la prueba de penetración.

*Nota:* esta curva corresponde para datos de penetración de 150 -260 kg/cm<sup>2</sup>

## **4. CONCLUSIONES**

### **4.1. Conclusiones.**

#### **4.1.1. Esclerómetro.**

- Se cumplió con el objetivo previsto, logrando correlacionar estos datos y formando curvas de correlación, obteniendo la ecuación representativa (curva de correlación).
- Con la obtención de esta correlación, se logró reducir el error de este ensayo de esclerometría, no se cumplió la hipótesis planteada ya que para una evaluación de una estructura se requiere tener una correlación completa para todo tipo de materia, pero sirve como comienzo para realizar una correlación completa con todo tipo de materiales del hormigón.
- Se evidenció, que el análisis en una esclerometría en general tiene una buena estimación de resultados, que pueden variar con una buena realización del ensayo, yendo por el lado de la seguridad de un 10%, donde este resultado se lo minimiza con la correlación de este hormigón, con la rotura de probetas en una prensa hidráulica, para tener mayor seguridad de los resultados.
- Tomando en cuenta, este trabajo de la correlación de esclerometría para un hormigón con características específicas, de un tipo de material, recomendamos para hormigones de diferentes tipos, o del cual no se tiene ninguna información, realizar una extracción de núcleo, para que a través de ese testigo poder correlacionar las demás lecturas a otras estructuras.
- Hay que tomar en cuenta en el limado de la zona de ensayo, que la zona quede bastante lisa y no tenga imperfecciones que hacen variar la lectura.
- En los puntos donde se golpea y se identifica un pequeño agujero producto de una pequeña burbuja de aire, donde en la superficie no se percibía, la lectura baja apreciablemente, estos puntos hay que identificarlos para tomarlos o no en cuenta.
- Una lectura que se hizo directamente donde se ha identificado un agregado grueso se la debe despreciar.

#### **4.1.2. Velocidad de pulsos ultrasónicos**

- Se dio cumplimiento a todos los objetivos de este previstos en este trabajo, logrando correlacionar la resistencia obtenida de la rotura de probetas y la velocidad de pulsos ultrasónicos, donde esta correlación es indirecta, de la cual se obtuvo su curva de correlación.
- Gracias a esta correlación con este equipo de pruebas no destructivas, se logró darle uso significativo e impulsando a realizar una correlación completa, para la evaluación de resistencias en hormigones, solo con esta correlación no se cumple con la hipótesis planteada en este trabajo.
- La transmisión de los pulsos ultrasónicos en el hormigón, depende de su composición, con la que logra su densidad y que en los hormigones, la densidad va aumentando, al ir aumentando su resistencia.
- Esta prueba al hormigón es muy delicada, ya que hay que tener mucho cuidado al momento de hacer la prueba, se tiene que tomar en cuenta varios factores como:
  - La cantidad glicerina en gel para el contacto del transmisor y receptor con el hormigón, tiene que ser la adecuada de manera que al contacto se sienta viscosidad y que la transición de la onda sea constante.
  - La superficie debe estar lisa y limpia.
  - El hormigón debe estar seco ya que la velocidad aumenta considerablemente.
- Se puede utilizar esta correlación para hormigones que estén compuestos de los mismos componentes como procedencia de los agregados, tamaño máximo de los mismos y cemento.

#### **4.1.3. Penetración**

- Se realizó los ensayos de penetración y rotura de probetas de hormigón en la prensa hidráulica, cumpliendo a lo planteado en los objetivos de este trabajo.
- No se cumplió con hipótesis planteada en este trabajo dado que es para un determinado material.
- Se pudo evidenciar que es uno de los más precisos y que tienen menos discrepancia entre las pruebas no destructivas.

- Las pruebas que se hizo con la pistola de penetración, se observa, que es un ensayo que no tiene mucha variación de 2 – 5% y más aun con la correlación se reduce.
- Es un ensayo que hay que tener mucho cuidado, porque es muy peligroso, puede causar graves lesiones.
- El costo es mayor que los otros ensayos no destructivos, ya que utiliza fulminante y pin para cada prueba los cuales quedan en desuso.

## **5. Recomendaciones**

Se sugiere que en todo proyecto de construcción se deje mayor información como:

- Información del tipo de suelo donde fue fundado.
- Detalles de la armaduras de todos los elementos estructurales.
- Caracterización de los agregados utilizados en el hormigón.
- Dosificación.
- Todos los materiales utilizados en la construcción.