

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"Correlaciones entre Resistencia a la Compresión, Flexión y Tracción por Compresión Diametral de hormigones para Pavimento con Agregado Calcáreo de tamaño máximo 19mm, utilizando prensa de Compresión – Flexión, Equipo Esclerométrico y de Ultrasonido"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

LUIS ANTONIO AGUILAR MADERO

GUAYAQUIL – ECUADOR



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Noviembre del 2001

BIBLIOTECA FACULTAD
I. C. T.
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Nº. DE INVENTARIO <u>Q-67331</u>
VALOR <u>\$ 4.00</u>
CLASIFICACION <u>620.112/AGU</u>
Fecha de Ingreso <u>13-09-06</u>
PROCEDENCIA <u>Decreto</u>
SOLICITADO POR <u>FICT</u>

AGRADECIMIENTO

A toda las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente en el Ing. Hugo Egüez Director de Tesis, Ing. Paúl Carrión e Ing. José Camposano, por su invaluable ayuda.

DECLARACIÓN EXPRESA

"La Responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



LUIS ANTONIO AGUILAR MADERO



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Edison Navarrete C.
DECANO DE LA FICT
PRESIDENTE

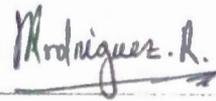


Ing. Hugo Egüez A.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Mancero
VOCAL



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



Ing. Julio Rodríguez R
VOCAL



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es encontrar la relación que existe entre métodos destructivos y no destructivos con un hormigón de $f'c = 27.5$ MPa, con agregado calcáreo de tamaño máximo 19 mm y cemento puzolánico Rocafuerte Tipo 1P.

Se presentan experiencias de laboratorio donde se evaluaron las relaciones entre el Ultrasonido, Rebote Esclerométrico, la Resistencia a la Compresión Flexión y Tracción por Compresión Diametral. Cada muestra consiste en dos cilindros de 150mm de diámetro y 300 mm de largo, una viga de 450 mm de claro con 150mm x 150 mm de lado de cuyos extremos se calan núcleos de 100 mm de diámetro por 150 mm de largo.

En su primera parte se revisan todas las especificaciones según el código A.C.I. del 2001 y las normas ASTM del 2001, con el objeto de realizar pruebas estandarizadas a los especímenes. Ésta revisión consiste en determinar las medidas, métodos y restricciones con que se deben de elaborar las pruebas, así como la velocidad de carga, el curado y la

preparación de especímenes. De la misma manera se definen fórmulas a utilizarse para determinar las respectivas resistencias, según el área de aplicación de la carga.

Con respecto a los ensayos no destructivos, se detalla cuales son las condiciones en las que se debe de aplicar cada uno, la valoración de las medidas, las cuales no dependen solamente de las propiedades, sino también de; qué medidas se han elegido para la valoración, qué métodos y medios se utilizan para determinar estas medidas, con qué detalle se ha desarrollado el procedimiento de ensayo, y qué métodos se adoptan para procesar los datos y valorar los resultados de ensayo.

Luego los resultados obtenidos con los ensayos se analizan por medio de correlaciones simples y múltiples, con la finalidad de demostrar que entre las poblaciones de los resultados de resistencia obtenidos mediante ensayos no destructivos y las de las resistencias determinadas por via destructivas presentan altos coeficientes de correlación lo que evidencia que no hay diferencias significativas. Se elaboran diferentes gráficas que relacionan todos los ensayos individual y colectivamente entre sí, tratando de hallar la mejor de las correlaciones, $0 \leq r^2 \leq 1$, siendo el más cercano a cero la peor, y la más próxima a uno la mejor.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Para concluir se establece que las correlaciones obtenidas con dos o tres variables tienen coeficientes de correlación muy buenos, considerándose confiable los resultados obtenidos en este reporte.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

ÍNDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGÍA.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
CAPITULO 1	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos.....	3
CAPITULO 2	
2. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL HORMIGÓN.....	4
2.1. Resistencia a la Compresión.....	4
2.2. Resistencia a la Flexión.....	6

2.3. Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral.....	11
---	----

CAPITULO 3

3. PRINCIPIOS DE MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS.....	15
3.1. Rebote Esclerométrico.....	15
3.2. Ultrasonido.....	19

CAPITULO 4

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	22
4.1. Materiales Utilizados.....	22
4.1.1. Agregados.....	22
4.1.2. Cemento.....	23
4.1.3. Hormigón $f'c = 27.5$ MPa.....	24
4.2. Equipos Utilizados.....	24
4.2.1. Martillo de Rebote.....	24
4.2.2. Ultrasonido.....	26
4.3. Metodología Empleada.....	27
4.3.1. Preparación de Muestras.....	27
4.3.2. Elaboración de Ensayos.....	29
4.3.2.1. Resistencia a la Compresión.....	29
4.3.2.2. Resistencia a la Flexión.....	33

4.3.2.3.	Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral.....	34
4.3.2.4.	Rebote Esclerométrico.....	34
4.3.2.5.	Ultrasonido.....	35

CAPITULO 5

5.	METODOLOGÍA ESTADÍSTICA EMPLEADA.....	36
5.1.	Correlación Simple.....	36
5.2.	Correlación Múltiple.....	37

CAPITULO 6

6.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	40
6.1.	Correlación de Ensayos Mecánicos.....	40
6.1.1.	Compresión vs. Flexión.....	40
6.1.2.	Compresión vs. Tracción por Compresión Diametral.....	41
6.1.3.	Flexión vs. Tracción por Compresión Diametral.....	41
6.2.	Correlación de Ensayos Mecánicos y de Métodos No Destructivos.....	42
6.2.1.	Rebote vs. Compresión.....	42
6.2.2.	Rebote vs. Flexión.....	42
6.2.3.	Rebote vs. Tracción por Compresión Diametral.....	43
6.2.4.	Ultrasonido vs. Compresión.....	43

6.2.5.	Ultrasonido vs. Flexión.....	44
6.2.6.	Ultrasonido vs. Tracción por Compresión Diametral.....	44
6.3.	Correlación Múltiple de Ensayos Mecánicos.....	45
6.3.1.	Tracción por Compresión Diametral / Flexión vs. Compresión.....	45
6.3.2.	Flexión / Tracción por Compresión Diametral vs. Compresión.....	45
6.4.	Correlación Múltiple de Ensayos Mecánicos y de Métodos No Destructivos.....	46
6.4.1.	Rebote / Ultrasonido vs. Compresión.....	46
6.4.2.	Rebote / Ultrasonido vs. Flexión.....	46
6.4.3.	Rebote / Ultrasonido vs. Tracción por Compresión Diametral.....	47
6.4.4.	Tracción por Compresión Diametral / Rebote vs. Compresión.....	47
6.4.5.	Tracción por Compresión Diametral / Ultrasonido vs. Compresión.....	48
6.4.6.	Flexión / Rebote vs. Compresión.....	48
6.4.7.	Flexión / Ultrasonido vs. Compresión.....	49

CAPITULO 7

7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	50
----	-----------------------------	----



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

CAPITULO 8

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....55

APÉNDICE.

BIBLIOGRAFIA.

P
M
m
P
A
A
K
S
M
M
K
N
N
K
P
M
K
K
T
F
R
U



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

ABREVIATURAS

f'c	Resistencia a la Compresión.
MPa	Mega Pascales.
mm	Milímetros
1P	1 Puzolánico.
ASTM	American Standard Test Method.
ACI	America Concrete Institute.
Kg/m ³	Kilogramo por metro cúbico.
SSS	Saturado Superficialmente Seco.
max.	Máximo.
Min.	Mínima.
kg/cemento	Por kilogramo de cemento.
Nm	Newton metro.
N/mm ²	Newton por milímetro cuadrado.
KHz	Kilo Hertz.
m	metro.
m/s	metro por segundo.
KN/s	kilo Newton por segundo.
KN	kilo Newton.
T	Tracción por compresión Diametral.
F	Flexión.
R	Rebote.
U	Ultrasonido.

SIMBOLOGÍA

r^2	Coeficiente de correlación.
%	Porcentaje.
LCD	Despligue de Pantalla Líquida.
Σ	Sumatoria
<	Menor que.
π	PI, 3.1415....
\pm	Mas y Menos.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 2.1. Ensayo de Resistencia a la Compresión.....	6
Figura 2.2. Ensayo de Resistencia a la Flexión.....	7
Figura 2.3. Detalle de Ensayo de Resistencia a la Flexión.....	11
Figura 2.4. Distribución de esfuerzos en el Ensayo de Tracción por Compresión Diametral.....	13
Figura 2.5. Esquema del sujetador de núcleos para Tracción por Compresión Diametral.....	14
Figura 3.1. Esquema del uso del Martillo de Rebote.....	15
Figura 3.2. Detalle del interior del Martillo de Rebote.....	16
Figura 3.3. Esquema de componentes de el equipo de Ultrasonido.....	20

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
TABLA 3.1 Requisitos de Granulometría para Agregados Gruesos ASTM C 33.....	23
TABLA 3.2 Propiedades Físicas de Áridos del Ecuador.....	23
TABLA 3.3 Cemento Rocafuerte TIPO 1P.....	24
TABLA 3.4 Dosificación del Hormigón $f'c = 27.5$ MPa.....	24
TABLA 5.1 Correlación Múltiple.....	39



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN.

El martillo de rebote y el ultrasonido son los ensayos no destructivos de uso más generalizados en el hormigón. Estos métodos se aplican generalmente en estructuras construidas para evaluar la resistencia del hormigón, cuando se dispone de curvas de correlación. Por medio de diversas pruebas se puede correlacionar las diferentes resistencias del hormigón con los Ensayos No Destructivos (END) para así tener una idea de que relación existe entre ellas.

1.1. Antecedentes.

Las propiedades del concreto son una función del tiempo y de la humedad del ambiente, y esta es la razón de que tengan que realizarse pruebas al concreto en condiciones especificadas o conocidas. Se han utilizado diferentes métodos y técnicas de prueba. Puesto que muchas de estas se realizan

en trabajo de laboratorio, y especialmente en investigación, tiene importancia el conocimiento de la influencia de los métodos de prueba sobre la propiedad medida. Por supuesto, es esencial distinguir entre los efectos de las condiciones de prueba y las diferencias intrínsecas de los concretos que se están investigando.

Las pruebas pueden clasificarse de manera general en mecánicas destructivas y no destructivas las cuales pueden evaluar simultáneamente al mismo espécimen y de esa manera hacen posible un estudio del cambio en las propiedades con el tiempo. Los ensayos no destructivos también permiten evaluaciones del concreto en una estructura real. Diferentes trabajos con respecto al uso de el esclerómetro y el ultrasonido se han presentado, muchos de ellos con resultados satisfactorios. Se han logrado determinar curvas para diferentes tipos de mezclas, expuestas a diferentes ambientes, pudiendo así estimar con precisión resistencias y propiedades del hormigón construido.

El trabajo se realiza, tratando de relacionar por medio de ensayos no destructivos tres tipos de ensayos destructivos,

obteniendo por medio de la esclerometría y ultrasonido correlaciones que nos permiten interpretar de manera acertada las resistencias del hormigón.

1.2. Objetivos.

Correlacionar diferentes ensayos destructivos y no destructivos con un hormigón $f'c = 27.5$ MPa, elaborado con agregado calcáreo de tamaño máximo 19mm, cemento Pórtland Tipo IP, por medio de la esclerometría y el ultrasonido.



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

CAPITULO 2

2. CARACTERISTICAS MECANICAS DEL HORMIGON.

Los ensayos que evalúan las características mecánicas del hormigón vienen regularizadas por las normas ASTM, en sus distintos puntos.

2.1. Resistencia a la Compresión.

La más común de todas las pruebas sobre concreto endurecido es la prueba de resistencia a la compresión axial, en parte porque es fácil de practicarse, y en parte porque muchas, aunque no todas, de las características deseables del concreto están relacionadas cualitativamente con su resistencia; pero fundamentalmente por la importancia intrínseca de la resistencia a la compresión del concreto en el diseño estructural. Aunque la prueba de resistencia a la compresión se utiliza invariablemente en la construcción, tiene algunas

desventajas. Los resultados de las pruebas de resistencia pueden ser afectados por variaciones en el tipo del espécimen de prueba; tamaño del espécimen; tipo de molde; curado; preparación de la superficie del extremo; rigidez de la máquina de pruebas; y rapidez de la aplicación de esfuerzo. Por esta razón, las pruebas deberán seguir una norma individual, sin desviación de los procedimientos prescritos⁽¹⁾.

Las pruebas de resistencia a la compresión en especímenes tratados de manera normal, las cuales incluyen compactación completa y curado húmedo durante un periodo especificado, nos dan resultados que representan la cualidad potencial del concreto. Por supuesto, el concreto en la estructura puede ser inferior en realidad, por ejemplo, a causa de una compactación inadecuada, segregación, o un curado pobre. Estos efectos tienen importancia si queremos saber cuándo debe removerse la cimbra, o cuándo puede continuar la construcción posterior, o cuándo se debe poner en servicio la estructura. Para este propósito, los especímenes de prueba son curados en condiciones tan cercanamente similares como sea posible a aquellas existentes en la estructura real. incluso entonces, los



(1) Pruebas del Concreto Endurecido, Tecnología del Concreto.

efectos de temperatura y de humedad no serían los mismos en un espécimen de prueba que en una masa de concreto relativamente grande. Los cilindros son especímenes normalizados según normas ASTM estándares.

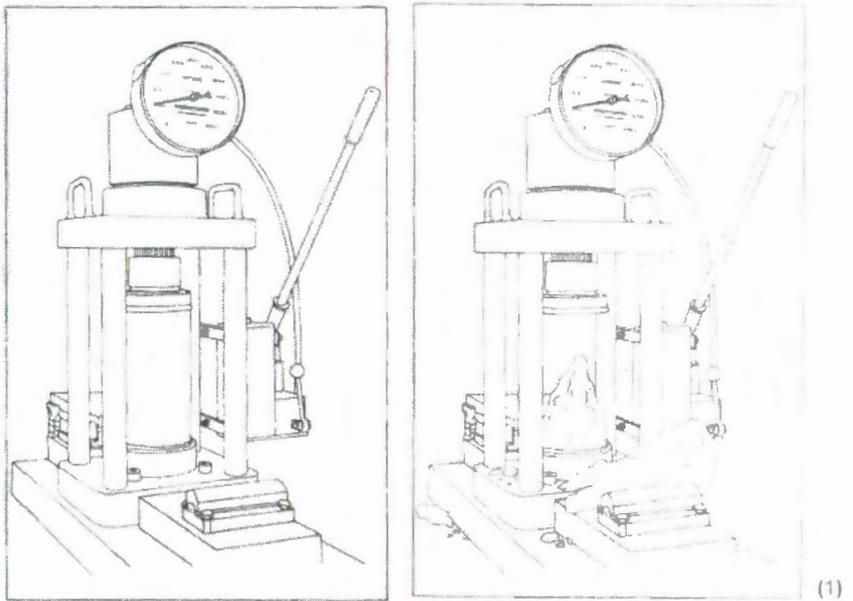


FIGURA 2.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

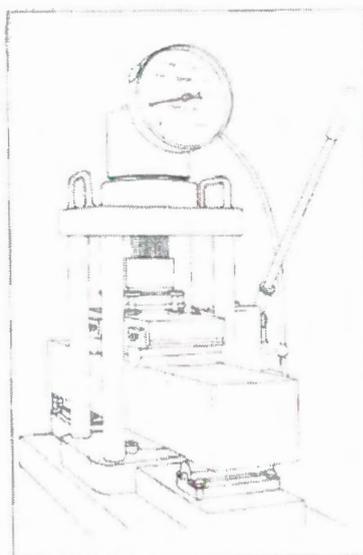
2.2. Resistencia a la Flexión.

En estas pruebas, una viga de concreto simple (sin refuerzo) se sujeta a flexión longitudinal pura usando carga de dos puntos y simétrica hasta que ocurre la falla. Puesto que los puntos de carga están espaciados a un tercio del claro libre, la

⁽¹⁾ Compressive Strength Test (ASTM C 39).htm

prueba es llamada prueba de carga en los tercios. El esfuerzo a tensión máximo teórico alcanzado, entre cargas, en la fibra inferior de la viga de prueba es conocido como el **módulo de rotura**⁽¹⁾.

Las vigas normalmente son probadas sobre su lado en relación con la posición como se cuela pero, siempre y cuando el concreto sea sin segregación, la posición de la viga como se prueba en relación con la posición como se cuela no afecta el módulo de rotura.



(2)

FIGURA 2.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN.

(1) Pruebas del Concreto Endurecido, Tecnología del Concreto.

(2) Compressive Strength Test (ASTM C 39).htm

La norma ASTM C 78-94 prescribe carga en los tercios en vigas de 150 por 150 por 750 mm soportadas sobre un claro libre de 450 mm pero también pueden utilizarse vigas de 100 por 100 mm, siempre y cuando el lado de la viga sea al menos tres veces el tamaño máximo del agregado. Si ocurre la fractura dentro del tercio central de la viga, el módulo de rotura se calcula sobre la base de la teoría elástica ordinaria, y es entonces igual a:

$$\frac{PL}{bd^2}$$

donde

P = carga máxima total sobre la viga

L = claro libre

b = ancho de la viga, y d = peralte de la viga.

Sin embargo, si ocurre fractura fuera de los puntos de carga, digamos, a una distancia cercana al apoyo, siendo a la distancia promedio medida sobre la superficie de tensión de la viga, pero



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

no más de 5 por ciento del claro libre, entonces el módulo de rotura es dado por:

$$\frac{3Pa}{bd^2}$$

Esto significa que el esfuerzo máximo de tensión en la sección crítica, y no el esfuerzo máximo sobre la viga, se considera en los cálculos.

Existen posibles razones adicionales de por qué la prueba a flexión da un mayor valor de resistencia que una prueba de tensión directa hecha sobre el mismo concreto. Primero, cualquier excentricidad accidental en una prueba de tensión directa da por resultado una menor resistencia evidente del concreto. El segundo argumento es similar a aquél que justifica la influencia de la disposición de cargas sobre el valor del módulo de rotura: en tensión directa, el volumen total del espécimen se sujeta al esfuerzo máximo, así que es alta la probabilidad de que ocurra un elemento débil. Tercero, en la prueba de flexión, el esfuerzo de fibra máximo alcanzado puede ser mayor que en tensión directa porque la propagación de una

grieta es bloqueada por el material menos esforzado más cercano al eje neutro. Así, la energía disponible está por abajo de la necesaria para la formación de nuevas superficies de agrietamiento. Estas diversas razones en cuanto a la diferencia entre el módulo de rotura y la resistencia en tensión directa no son todas de igual importancia.

La resistencia a la flexión del concreto es de interés en el diseño de losas de pavimento. Sin embargo, la prueba de flexión no es conveniente para propósitos de control o de cumplimiento porque los especímenes de prueba son pesados y se dañan fácilmente. también, el resultado de la prueba de flexión es afectado de manera importante por las condiciones de humedad del espécimen y, de manera más general, la variabilidad del módulo de rotura es grande. Es, por lo tanto, conveniente establecer experimentalmente una relación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del cilindro, y utilizar la última en pruebas de rutina.

Una amplia serie de pruebas ha mostrado una relación lineal entre el módulo de rotura y la resistencia a la tensión indirecta a una edad dada. Este hallazgo es valioso si se tiene que

determinar la resistencia del concreto de pavimento *in situ*: la extracción de corazones así como las pruebas en éstos, en compresión o en tensión indirecta, es mucho más fácil que cortar vigas para la prueba del módulo de rotura. Más aún, de cualquier forma, los núcleos se extraen con el propósito de verificar el espesor de pavimento.

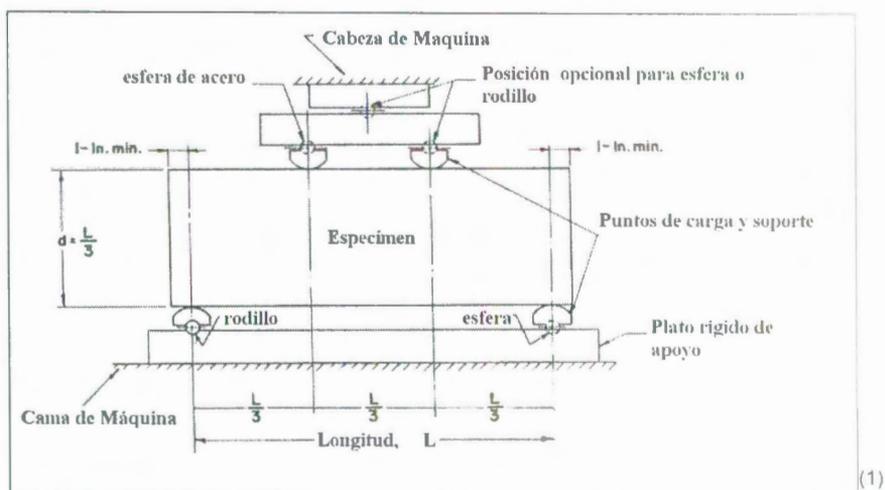


FIGURA 2.3. DETALLE DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. (1)

2.3. Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral.

En esta prueba, se coloca un cilindro de concreto, del tipo utilizado para pruebas de compresión, con su eje horizontal

(1) Standard Test Method for Flexural of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading), ASTM.

entre las platinas de una máquina de pruebas, y se alimenta la carga hasta que ocurre falla por tensión indirecta en forma de separación a lo largo del diámetro vertical⁽¹⁾.

Si la carga es aplicada a lo largo de la generatriz, entonces un elemento en el diámetro vertical del cilindro se sujeta a un esfuerzo a compresión vertical de:

$$\frac{2P}{\pi LD} \left[\frac{D^2}{r(d-r)} - 1 \right]$$

y un esfuerzo de tensión horizontal de $2P / (\pi LD)$ donde

P = carga de compresión sobre el cilindro

L = longitud del cilindro

D = diámetro, y

r y $(D-r)$ = distancias del elemento a partir de las dos cargas respectivamente.

Sin embargo, justamente debajo de la carga, se induce un alto esfuerzo de compresión y, en la práctica, tiras estrechas de un

⁽¹⁾ Pruebas del Concreto Endurecido, Tecnología del Concreto.

material de empaque, tal como madera triplay, se interponen entre el cilindro y las platinas. Sin las tiras de empaque, la resistencia registrada es menor, habitualmente en 8 por ciento. La norma ASTM C 496-90 prescribe tiras de madera triplay, de 3 mm de espesor y 25 mm de ancho.

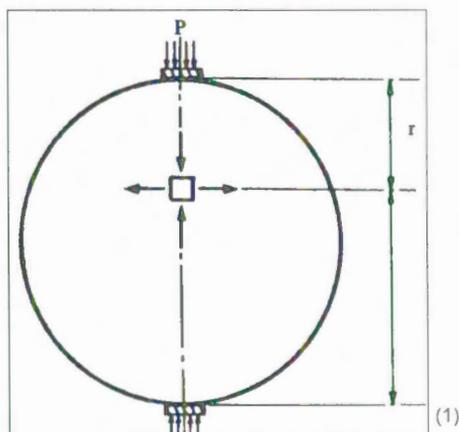


FIGURA 2.4. DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN EL ENSAYO DE TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

Durante la prueba de tensión indirecta, no deberá permitirse que las platinas de la máquina de prueba giren en un plano perpendicular al eje del cilindro, sino deberá permitirse un ligero movimiento en el plano vertical que contenga el eje a fin de ajustar una posible falta de paralelismo de las generatrices del cilindro. Esto puede lograrse por medio de un simple dispositivo

(1) Pruebas del Concreto Endurecido, Tecnología del Concreto.

de rodillos interpuesto entre una platina y el cilindro. La rapidez de carga es prescrita por la norma ASTM496-90.

La prueba de tensión indirecta es más sencilla de ejecutar y da resultados más uniformes que otras pruebas de tensión.

Se debe observar que, de acuerdo con el ACI 318-89 (revisado en 1992) la resistencia a la tensión indirecta no se deberá emplear para propósitos de establecer el cumplimiento.

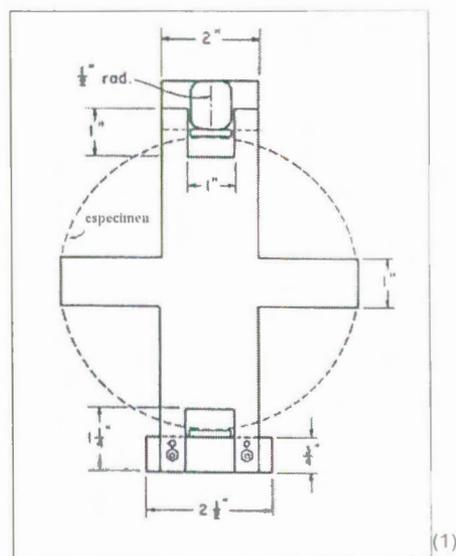


FIGURA 2.5. ESQUEMA DEL SUJETADOR DE NÚCLEOS PARA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL

(1) Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM.

CAPITULO 3

3. PRINCIPIOS DE METODOS NO DESTRUCTIVOS.

3.1. Rebote Esclerométrico.

El modo de trabajo del martillo de rebote también llamado Martillo Schmidt o Martillo Suizo esta ilustrada en la figura.

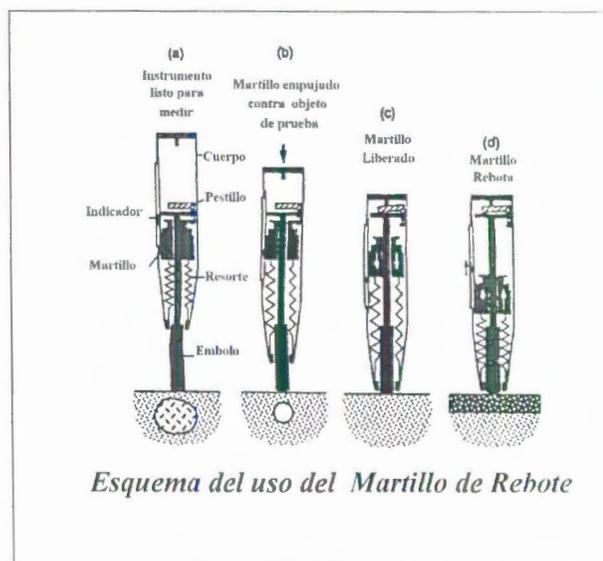


FIGURA 3.1. ESQUEMA DEL USO DEL MARTILLO DE REBOTE

(1) Rebound Number (ASTM C 805)

El mecanismo consiste en los siguientes componentes principales: armazón completo, barra de deslizamiento, martillo y resorte. Para elaborar las pruebas, la barra de deslizamiento debe de estar extendida del cuerpo del aparato y puesta en contacto con la superficie de concreto. Una representación detallada del esclerómetro es la siguiente:



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

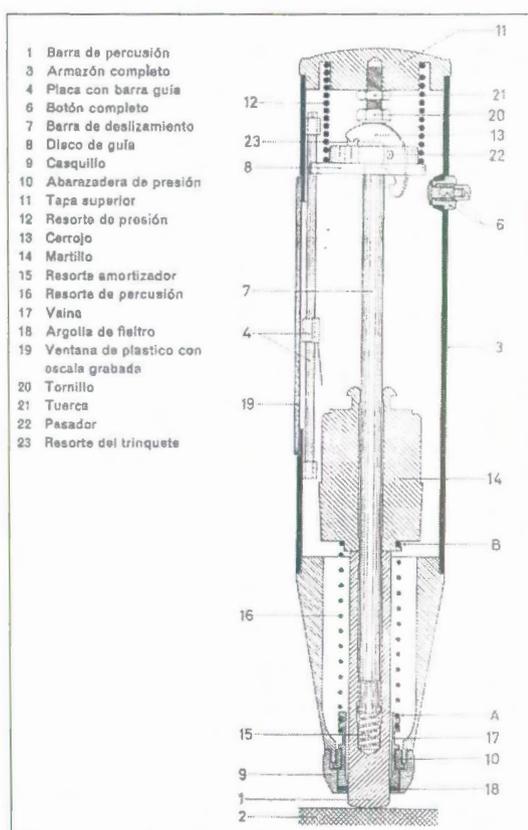


FIGURA 3.2. DETALLE DEL INTERIOR DEL MARTILLO DE REBOTE

Cuando la barra de deslizamiento está extendida, un mecanismo conecta el martillo a la parte superior de la barra. El cuerpo del instrumento es presionado contra la superficie de concreto. Esta acción causa una extensión del resorte conectado al martillo. Cuando el cuerpo es presionado hasta su límite el resorte es soltado y este hala el martillo hacia la superficie de concreto. El martillo impacta el área de la barra y rebota.

La clave, para entender las limitaciones de este método, son los factores que influyen las distancias de rebote. Desde un punto de vista fundamental la prueba es una relación compleja entre carga de impacto y una onda propagada. La distancia de rebote depende de la energía cinética en el martillo después de que es impactado con la barra, y cuanto de esta energía es absorbida durante el impacto. Parte de la energía es absorbida por el mecanismo de fricción en el instrumento, y otra por la interacción de la barra de desplazamiento con el concreto. De esta manera la energía absorbida es relacionada con la resistencia y dureza del concreto. Una baja resistencia y dureza absorbería mas energía que un concreto de alta resistencia y dureza. Entonces una baja resistencia se reflejaría

en un bajo número de rebotes. También puede ocurrir que concretos con diferentes resistencias pero igual dureza tengan diferente número de rebotes, así como que concretos con igual resistencia, tengan diferente dureza y tengan el mismo número de rebotes. Se deduce que los agregados influyen en la dureza, es necesario que se relacionen las pruebas con una misma mezcla.

El número de rebotes es influenciado por el área de concreto a tratarse. La prueba es sensible a condiciones locales. Si la barra es localizada sobre una agregado duro, un inusual alto número de rebotes será registrado. Por otro lado si este es localizado sobre una zona con aireo un agregado muy frágil, un número bajo de rebotes será registrado. Debido a esto el ASTM C 805 requiere un mínimo de 10 pruebas de rebote para un espécimen. Si una lectura difiere en siete unidades de las demás esta será descartada. Si mas de una lectura difiere en siete unidades de las demás todas las lecturas serán descartadas.

Como las pruebas de rebote son tomadas en la superficie de concreto, éstas no representaran la parte interior del concreto,

ya que la presencia de una superficie carbonatada podría ser el resultado de un mayor número de rebotes que no estarían reflejados en el interior del concreto. También la existencia de superficies secas o distintamente curadas influenciarían en los resultados, así como una superficie del concreto rugosa deberá ser nivelada antes de ser probada, ya que los desniveles podrían dar una mala interpretación de su resistencia. Finalmente el número de rebotes será afectada por la orientación que tenga el aparato.

3.2. Ultrasonido.

Para el caso del hormigón existe una serie de equipos comerciales que miden el tiempo de tránsito de un pulso ultrasónico entre dos transductores colocados a ambos lados del elemento constructivo o sobre una cara de éste. A partir de esta medición se obtiene la velocidad de propagación de pulsos ultrasónicos que en general coincide con la velocidad de propagación de pulsos ultrasónicos que en general coincide con las velocidad longitudinal. Dicha velocidad presenta una dependencia conocida con la resistencia a la compresión obtenida por métodos destructivos. Por tanto mediante este método se puede conocer la resistencia de una estructura de

hormigón si previamente se ha obtenido la dependencia entre la velocidad y la resistencia.

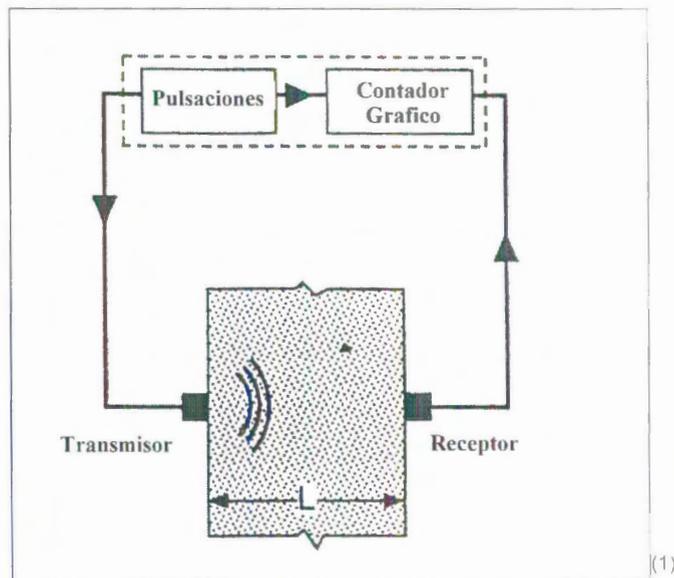


FIGURA 3.3. ESQUEMA DE COMPONENTES DE EL EQUIPO DE ULTRASONIDO.

La norma ASTM C 597 determina la velocidad de propagación de un pulso vibratorio de energía a través de el hormigón. Un pulso manda una señal de alto voltaje y corta duración, a un transductor, causando que este vibre a su frecuencia de resonancia. Al comienzo del pulso eléctrico, un contador electrónico se encenderá. Las vibraciones del transductor serán transmitidas a través de un gel. El pulso se traslada a

⁽¹⁾ Ultrasonic Pulse Velocity (ASTM C 597).

través del miembro y es recibido por un receptor ubicado en el otro extremo. Cuando el pulso es recibido el contador se detiene y marca el tiempo de recorrido de transductor a transductor.

Otros factores además de la resistencia del concreto pueden afectar la velocidad de pulsación. Uno de los factores es la cantidad de mortero en la mezcla. Cuando la mezcla de mortero pasa de un estado seco a uno saturado, está registrado que la velocidad de pulsación se incrementará en un cinco por ciento. Otro factor importante es la presencia de acero en el hormigón, ya que la velocidad de pulsación en el acero es de 40 veces la del hormigón. También puede ser afectada por la presencia de fracturas en el interior del espécimen a probar.

CAPITULO 4

4.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

4.1. Materiales Utilizados.

Para elaborar las muestras se utilizo un hormigón premezclado, con características de $f'c = 27.5$ MPa con una densidad promedio de 2300 kg/m^3 , utilizando moldes para cilindros y vigas estandarizados por las normas ASTM. La composición de los materiales se presenta a continuación:



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

4.1.1. Agregados.

Los agregados consisten en piedra caliza graduada # 67 y #7, con arena gruesa y arena homogeneizada.

Descripción:

TABLA 3.1.

REQUISITOS DE GRANULOMETRIA PARA AGREGADOS GRUESOS ASTM C33							
Número de Tamaño	Tamaño Nominal (mallas con aberturas)	Cantidades menores que pasan cada malla de laboratorio (aberturas cuadradas), por ciento en peso					
		(25 mm)	(19 mm)	(12.5 mm)	(9.5 mm)	(4.75 mm)	(2.36 mm)
67	19,0 a 4.75 mm	100	90 a 100	-	25 a 55	0 a 10	0 a 5
7	12,5 A 4,75 mm	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5

Procedencia : Canteras Huayco.

Densidad : 2600 Kg/m³.

Masa Unitaria Suelta : 1270 Kg/m³.

Masa Unitaria Compactada : 1445 Kg/m³.

Abrasión Los Ángeles : 21,6 %.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

Descripción:

TABLA 3.2

Propiedades físicas de áridos del Ecuador							
Material	Procedencia	Rango tamaño mm	Modulo de Finura	Densidad (SSS) kg/m ³	Absorción %	Masa Unitaria Suelta kg/m ³	Masa Unitaria Compactada kg/m ³
Ar. Homogeneizada	C. Huayco	0,15 - 4,8	3,1	2550	2,99	1285	1585
Ar. Guesa	Río Boliche	0,075 - 4,8	2,5	2600	2,2	1600	1695

4.1.2. Cemento.

TABLA 3.3

CEMENTOS ROCAFUERTE TIPO 1P Normas Ecuatorianas INEN									
TIPO	Frag. Inicial Mpa	Frag. Final Mpa	Resistencia Mpa Min			Blane	Retenido	Expansión autoclave max.	Contracción autoclave max.
			3 días	7 días	28 días				
IP	2,07	3,23	19,7	29,7	39,2	432	3,25 - 10,7	0,025	0,001

4.1.3. Hormigón $f'c = 27.5$ MPa.

Dosificación:

TABLA 3.4

Descripción	Kg/m ³
Piedra Caliza #67	768
Piedra #7	242
Ar. Homogeneizada	473
Ar. Gruesa Boliche	387
Cemento 1P	345
Agua	164
Plastificante Retardante (kg/cemento)	0,60%
Plastificante (kg/cemento)	0,80%

4.2. Equipos Utilizados.

4.2.1. Martillo de Rebote.

El DIGI-SCHMIDT 2 probador de concreto está diseñado para pruebas no destructivas de la uniformidad del hormigón, y para medir su Resistencia a la Compresión. Posee la siguientes características:

- Una unidad Indicadora, con memoria no volátil para 5000 valores medidos, y un despliegue de imagen de 128 x128 LCD.

- Una energía de impacto de 2.207 Nm, un rango de medida de 10 a 70 N/mm² de Resistencia a la Compresión, y una precisión de $\pm 0.2 R$.

Procedimiento.

1. Establecer configuración básica.
 - a) Dirección de Impacto
 - b) Cálculo de el valor requerido.
 - c) Número de serie de lectura.
 - d) Conversión.
 - e) Unidades.
 - f) Correcciones.

2. Pulir superficie con esmeril.
3. Soltar el Martillo.
4. Posicionar el martillo perpendicular a la superficie.
5. Presionar el martillo contra la superficie.
6. Mínimo de lecturas de 8 a 10.
7. Mínima distancia entre impactos 20 mm.

4.2.2. Ultrasonido.

El equipo ultrasónico TICO es utilizado en la pruebas no destructivas para determinar:

1. Uniformidad del Concreto.
2. Cavidades, Fisuras, defectos debido al calor y frío.
3. Módulo de Elasticidad.
4. Resistencia del Concreto.

Posee las siguientes características:

- Una unidad indicadora con memoria no volátil para 250 valores medidos, y un despliegue de imagen de 128 x 128 LCD.
- Transductores de 54 kHz.

Procedimiento.

1. Distancia para lecturas directas 15m.
2. Distancia para lecturas indirectas 0.25 a 0.5 m.
3. Aplicar gel en la superficie de contacto de los transductores.

4. La velocidad de pulsación en el concreto debe ser mayor a 2000 m/s. Caso contrario las superficies deben de ser bien limpiadas y se debe utilizar más gel en los transductores.

4.3. Metodología Empleada.

4.3.1. Preparación de Muestras.

El cilindro normal es de 15cm de diámetro por 30cm de largo. Los cilindros son colados en un molde generalmente hecho de acero o fierro colado, con una base sujeta con abrazaderas; los moldes del cilindro son especificados por la norma ASTM C 470-94, la cual también permite el empleo de moldes desechables de un solo uso, hechos de plástico, placa de acero y cartulina tratada.

Los detalles de los moldes pueden parecer triviales, pero los moldes no convencionales pueden dar lugar a una prueba con resultados engañosos. Por ejemplo, si el molde tiene una baja rigidez, algo del esfuerzo de

compactación se disipa, de manera que la compactación del concreto en el molde puede ser inadecuada; se registrará una menor resistencia. A la inversa, si el molde permite fuga del agua de mezclado, la resistencia del concreto aumentará. La reutilización excesiva de moldes destinados a utilizarse una sola vez o una reutilización limitada conduce a su deformación y a una evidente pérdida de resistencia. El método para hacer cilindros de prueba está prescrito por la norma ASTM C192-90a.

Las pruebas de un cilindro en compresión requieren que la superficie superior del cilindro esté en contacto con la platina de la máquina de pruebas. Esta superficie, cuando está terminada con una llana, no es lo suficientemente tersa o lisa para las pruebas y requiere mayor preparación; ésta es una desventaja de los cilindros probados en compresión. El tratamiento de acabado de la parte superior de los cilindros por medio de cabeceo se considera en una sección posterior, pero incluso aunque los cilindros sean cabeceados, las normas ASTM C192-90a y C31-91 no permiten

depresiones o protuberancias mayores de 3.2 mm; éstas podrían como resultado bolsas de aire.

Las vigas son moldeadas en acero con forma rectangular y con las dimensiones requeridas (150 mm de lado por 450 mm de longitud) para producir un espécimen deseado. La superficie interior de los moldes deberán estar bien lubricadas y libre de impurezas, todos sus ángulos deberán de estar debidamente alineados.

Los núcleos de prueba son obtenidos por medio de calado en los extremos de las vigas después de que han sido sujetas a flexión. Al ser parte de las mismas sus dimensiones están relacionadas, los núcleos tienen 150 mm de altura y un diámetro de 102 mm debido a la broca.

4.3.2. Elaboración de Ensayos.

4.3.2.1. Resistencia a la Compresión.

Para el ensayo de compresión axial, la carga aplicada al espécimen será de 5.0 KN/s. Se utilizarán cilindros de 150 mm de diámetro con 300

mm de altura, los cuales serán sujetos en la prensa.

Además de ser planas las superficies extremas de los cilindros deberán ser normales a su eje, y esto también garantiza que los planos extremos sean paralelos entre sí. Al ser colocado en la máquina de pruebas el eje del espécimen deberá estar tan cercano al eje de la platina como sea posible, pero errores hasta de 6 mm no afectan la resistencia de cilindros hechos con concreto de baja resistencia. Sin embargo, requiere una disposición para la localización positiva y precisa de los especímenes de prueba. Igualmente, una pequeña falta de paralelismo entre las superficies extremas del espécimen no afecta adversamente su resistencia, siempre y cuando la máquina de pruebas esté equipada con un asiento que se pueda alinear libremente con el plano extremo de los especímenes.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

La alineación libre se logra con un asiento esférico. Esto puede actuar no sólo cuando las platinas se ponen en contacto con el espécimen sino también cuando la carga está siendo aplicada. En esta etapa, algunas partes del espécimen se pueden deformar más que otras. Sujeto a carga, el concreto más débil, al tener un menor módulo de elasticidad, se deforma más.

Una descripción de los diferentes tipos de máquinas de prueba está fuera de alcance, pero debería mencionarse que la falla del espécimen es afectada por el diseño de la máquina, especialmente por la energía almacenada en ella. Con una máquina muy rígida, la alta deformación del espécimen con cargas que se aproximan a la carga última no es seguida por el movimiento de la cabeza de la máquina, de manera que la rapidez a la cual se aplica la carga disminuye y se registra una mayor resistencia. Por otro lado, en la máquina menos rígida, la carga sigue más cercanamente la curva de carga-deformación para

el espécimen y, cuando comienza el agrietamiento, la energía almacenada por la máquina se libera rápidamente. Esto conduce a falla con una carga menor de la que ocurriría en una máquina más rígida, acompañada con frecuencia por una explosión violenta.

El comportamiento exacto depende de las características detalladas de la máquina, no solamente de su rigidez longitudinal, sino que también es importante su rigidez lateral.

En cada material, la compresión vertical en acción (el esfuerzo nominal en el espécimen) da por resultado una expansión lateral ocasionada por el efecto de la relación de Poisson. Sin embargo, el módulo de elasticidad del acero es de 5 a 15 veces mayor, y la relación de Poisson es no más del doble más grande que los valores correspondientes para el concreto, así que la deformación lateral de la platina es pequeña

comparada con la expansión transversal del concreto si estuviera libre para moverse.

Entonces puede verse que la platina restringe la expansión lateral del concreto en las partes del espécimen cercanas a sus extremos: el grado de restricción ejercido depende de la fricción realmente desarrollada. Cuando se elimina la fricción, es decir, al aplicar una capa de grafito o de cera de parafina a las superficies de apoyo, el espécimen exhibe una expansión lateral grande y finalmente se separa longitudinalmente.

4.3.2.2. Resistencia a la Flexión.

Los ensayos a flexión longitudinal se realizan a una velocidad de 0.13 KN/s, en vigas rectangulares con dimensiones de 150 mm de lado y 450 mm de longitud. Las superficies en contacto con la máquina de carga en dos puntos se deben de nivelar con una lima para que no haya datos erróneos debido a cargas mal distribuidas.

4.3.2.3. Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral.

Para los ensayos de núcleos utilizados en Tracción por Compresión Diametral, con dimensiones de 150 mm de altura y 102 mm de diámetro, se utiliza la prensa de compresión con una velocidad de 0.5 KN/s, y se dispone del cilindro de manera horizontal para distribuir la carga en la superficie lateral del mismo.

4.3.2.4. Rebote Esclerométrico.

El ensayo fue elaborado sobre los cilindros sujetos en la prensa con una carga de 40 KN, de esta manera se evita que el cilindro salga de su posición en el momento de la medición. La superficie a probar del cilindro se raspa con un esmeril para limpiarla cualquier impureza y de la carbonatación producida por el ambiente. El esclerómetro se presiona contra la superficie y en la pantalla digital del equipo se observa el valor medido, tomando así un total de veinte



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

mediciones, para establecer una media entre todos los valores, verificando que la desviación de estos no sea mayor que 2.

4.3.2.5. Ultrasonido.

Para realizar esta prueba es necesario que las caras de los cilindros estén ubicadas de tal forma que el transmisor y el receptor se encuentren alineados entre si, para que la pulsación sea correctamente propagada. La prueba es fácil de realizar, se colocan en el transmisor y receptor puntos de plastilina para que sirvan de superficie de apoyo entre estos y las caras del cilindro (se hacen mediciones de prueba para calcular el error generado por el uso de la plastilina), luego se alinean los extremos y se lanza la onda que se propaga a través del hormigón. La pantalla digital del equipo indica el tiempo en micro segundos que tarda la pulsación en trasladarse por el hormigón, y en conjunto con la altura medida del cilindro se determina la velocidad en m/s.

CAPITULO 5

5. METODOLOGÍA ESTADÍSTICA EMPLEADA.

Las correlaciones son relaciones establecidas entre variables aleatorias obtenidas en situaciones experimentales.

5.1. Correlación Simple.

Correlación existente entre dos variables. Su buena relación se la comprueba por medio un coeficiente de correlación muestral,

$$r = \sqrt{\frac{S_{xy}}{S_{xx} \cdot S_{yy}}}$$

Su valor oscila entre 0 y 1. Y cuando su valor está mas próximo a 1.0 la correlación es más precisa. Se establece una tendencia determinada por valores de X y Y.

5.2. Correlación Múltiple.

El grado de correlación existente entre tres o más variables se llama correlación múltiple. Los principios fundamentales implicados en los problemas de correlación múltiple son análogos a los de la correlación simple⁽¹⁾.

Para permitir generalizaciones a números grandes de variables, conviene adoptar una notación de subíndices. Denotamos por X_1, X_2, X_3, \dots . Una ecuación de regresión es una ecuación para estimar una variable dependiente, digamos X_1 , a partir de las variables independientes X_2, X_3, \dots y se llama una ecuación de regresión de X_1 , sobre X_2, X_3, \dots . En notación funcional eso se escribe a veces brevemente como $X_1 = F(X_2, X_3, \dots)$.

Para el caso de tres variables, la ecuación de regresión más simple de X_1 sobre X_2 y X_3 tiene la forma:

$$X_1 = b_{1.23} + b_{12.3}X_2 + b_{13.2}X_3 \quad (1)$$

Donde $b_{1.23}, b_{12.3}$ y $b_{13.2}$ son constantes.

⁽¹⁾ Estadística, Murray R. Spiegel

Así como existen rectas de regresión de mínimos cuadrados que aproximan un conjunto de N puntos dato (X, Y) en un diagrama de dispersión, existen también planos de regresión de mínimos cuadrados que ajustan un conjunto de N puntos dato (X_1, X_2, X_3) en un diagrama de dispersión tridimensional.

El plano de regresión de mínimos cuadrados de X_1 sobre X_2 y X_3 tiene ecuación (1) donde $b_{1.23}$, $b_{12.3}$ y $b_{13.2}$ se determinan resolviendo simultáneamente las ecuaciones normales:

$$\begin{aligned}\Sigma X_1 &= b_{1.23}N & + & b_{12.3}\Sigma X_2 & + & b_{13.2}\Sigma X_3 \\ \Sigma X_1 \Sigma X_2 &= b_{1.23}\Sigma X_2 & + & b_{12.3}\Sigma X_2^2 & + & b_{13.2}\Sigma X_3 \Sigma X_2 \\ \Sigma X_1 \Sigma X_3 &= b_{1.23}\Sigma X_3 & + & b_{12.3}\Sigma X_2 \Sigma X_3 & + & b_{13.2}\Sigma X_3^2\end{aligned}$$

Estas pueden obtenerse formalmente multiplicando ambos lados de la ecuación (1) por 1, X_2 y X_3 sucesivamente y sumando en ambos lados.

El error típico de estimación de X_1 sobre X_2 y X_3 se lo puede definir como:

$$S_{1.23} = S_1 \sqrt{\frac{1 - r_{12}^2 - r_{13}^2 - r_{23}^2 + 2r_{12}r_{13}r_{23}}{1 - r_{23}^2}}$$

$$r_{XY} = \frac{\sum XY}{\sqrt{\sum X^2 \sum Y^2}}$$

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_{media})^2}{N}}$$

$$R_{1,23} = \sqrt{1 - \frac{S_{1,23}^2}{S_1^2}}$$

TABLA 5.1

CODIGO MUESTRA	x1	x2	x3	x1*x1	x2*x2	x3*x3	x1*x2	x1*x3	x2*x3	Xmedia	(X1 - Xmedia)^2
	f'c (kg/cm2)	REBOTE	VELOCIDAD clientos (m/s)								
001	21,46	20,40	38,12	460,45	416,16	1453,09	437,74	817,97	777,64	20,61	0,73
002	24,38	20,70	39,37	594,38	428,49	1550,00	504,66	959,84	814,96	20,61	14,25
003	27,69	24,10	40,98	766,48	580,81	1679,66	667,22	1134,65	967,70	20,61	50,13
004	19,80	17,00	37,11	392,22	289,00	1377,21	336,68	734,96	630,88	20,61	0,64
005	30,77	23,40	40,05	946,94	547,56	1604,30	720,07	1232,55	937,26	20,61	103,37
006	29,21	23,30	40,49	853,48	542,89	1639,37	680,70	1182,87	943,40	20,61	74,11
007	16,96	18,60	37,96	287,52	345,96	1441,10	315,39	643,70	706,09	20,61	13,32
008	17,49	17,40	37,87	305,81	302,76	1433,78	304,28	662,17	658,86	20,61	9,72
009	17,91	19,10	38,32	320,66	364,81	1468,62	342,02	686,24	731,96	20,61	7,28
010	6,78	10,10	33,85	46,02	102,01	1145,72	68,52	229,63	341,87	20,61	191,03
011	6,90	10,60	33,49	47,57	112,36	1121,36	73,11	230,97	354,96	20,61	187,91
012	16,91	18,20	38,32	286,03	331,24	1468,62	307,81	848,13	697,47	20,61	13,64
013	23,29	21,60	37,99	542,43	466,56	1443,42	503,07	884,85	820,64	20,61	7,21
014	15,86	16,50	37,14	251,55	272,25	1379,59	261,70	589,10	612,86	20,61	22,52
015	17,68	19,00	36,47	312,68	361,00	1330,42	335,97	644,98	693,02	20,61	8,54
016	16,57	18,50	37,05	274,67	342,25	1372,78	306,81	614,05	685,44	20,61	16,26
017	7,53	8,00	33,45	56,76	64,00	1118,96	60,27	252,02	267,61	20,61	170,86
018	7,28	8,60	33,81	52,93	73,96	1143,32	62,57	245,99	290,79	20,61	177,70
019	25,95	22,70	40,74	673,37	515,29	1659,40	589,05	1057,06	924,70	20,61	28,56
020	29,10	24,50	39,74	847,05	600,25	1578,88	713,05	1156,46	973,51	20,61	72,23
021	32,80	24,70	40,99	1075,57	610,09	1680,21	810,06	1344,32	1012,46	20,61	148,61
022	23,78	20,50	38,22	565,67	420,25	1461,07	487,57	909,11	783,59	20,61	10,10
023	24,24	21,40	38,42	587,67	457,96	1476,23	518,78	931,42	822,23	20,61	13,22
024	26,67	22,20	38,61	711,06	492,84	1490,74	591,98	1029,57	857,14	20,61	36,73
025	19,41	20,30	38,76	376,76	412,09	1502,31	394,03	752,34	786,82	20,61	1,43
026	27,75	24,20	39,68	769,98	585,64	1574,70	671,51	1101,13	960,32	20,61	51,02
027	22,17	19,00	37,24	491,62	361,00	1386,47	421,28	625,60	707,47	20,61	2,46
SUM X	556,35	514,60	1024,25								1433,56
sum XX				12897,35	10399,48	38981,33					
sum x1x							11485,69	21501,66	19781,65		
r12	0,99175	r13	0,95894	r23	0,98249	S1	7,28662	S1.23	0,71287	R1.23	0,99520
						S1 ^2	53,09480	S1.23 ^2	0,50818		

$$556.35 = 27 b_{1,23} + 514.60 b_{12,3} + 1024.25 b_{13,2}$$

$$11485.69 = 514.60 b_{1,23} + 10399.48 b_{12,3} + 19781.65 b_{13,2}$$

$$21501.66 = 1024.25 b_{1,23} + 19781.65 b_{12,3} + 38981.33 b_{13,2}$$

$$b_{1,23} = -29.02 \quad b_{12,3} = 1.1752 \quad b_{13,2} = 0.7178$$

$$f'c = -29.02 + 1.1752 R + 0.7178 U$$

CAPITULO 6



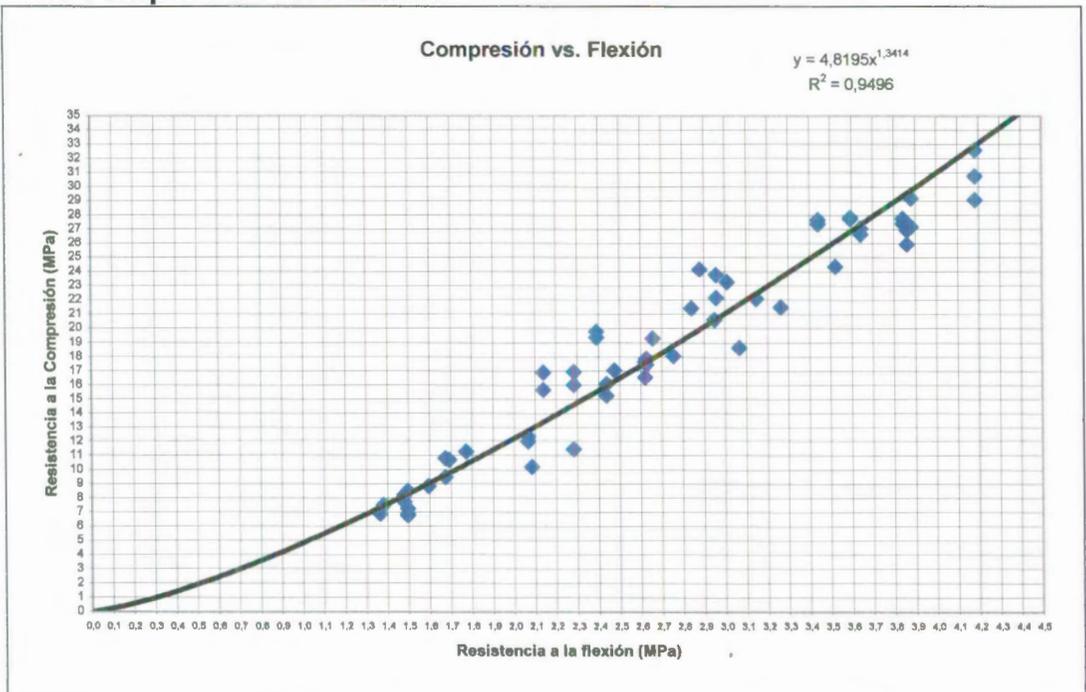
BIBLIOTECA FICT
ESPOL

6. RESULTADOS OBTENIDOS.

6.1. Correlaciones de Ensayos Mecánicos.

Son las correlaciones establecidas entre los ensayos destructivos.

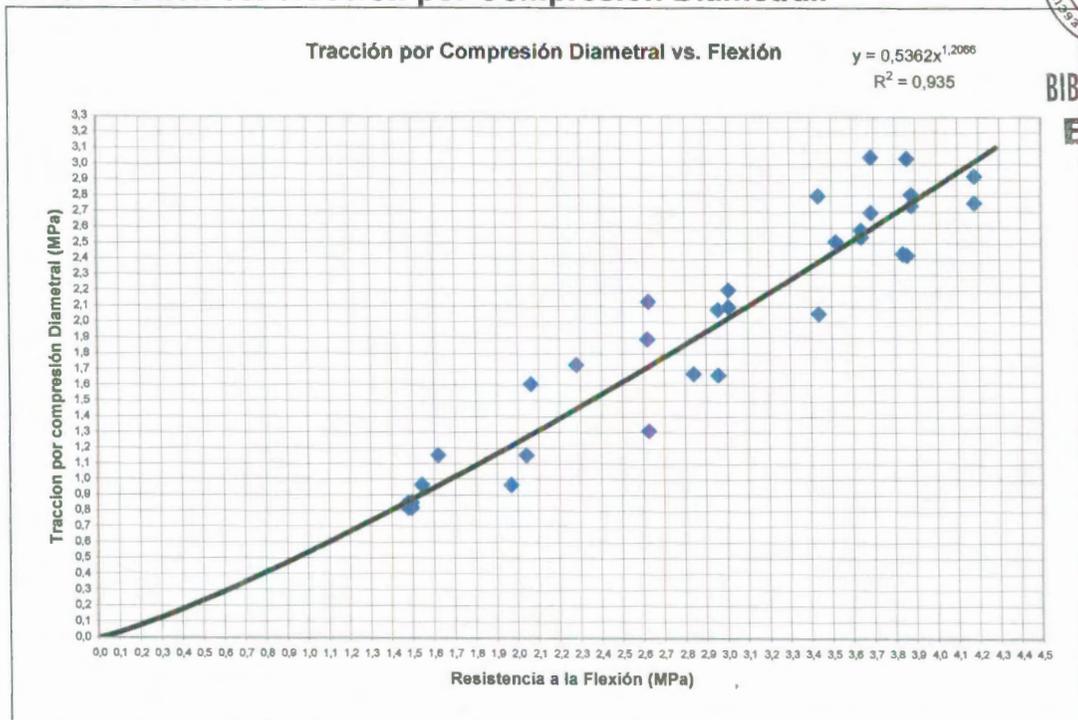
6.1.1. Compresión vs. Flexión.



6.1.2. Compresión vs. Tracción por Compresión Diametral.



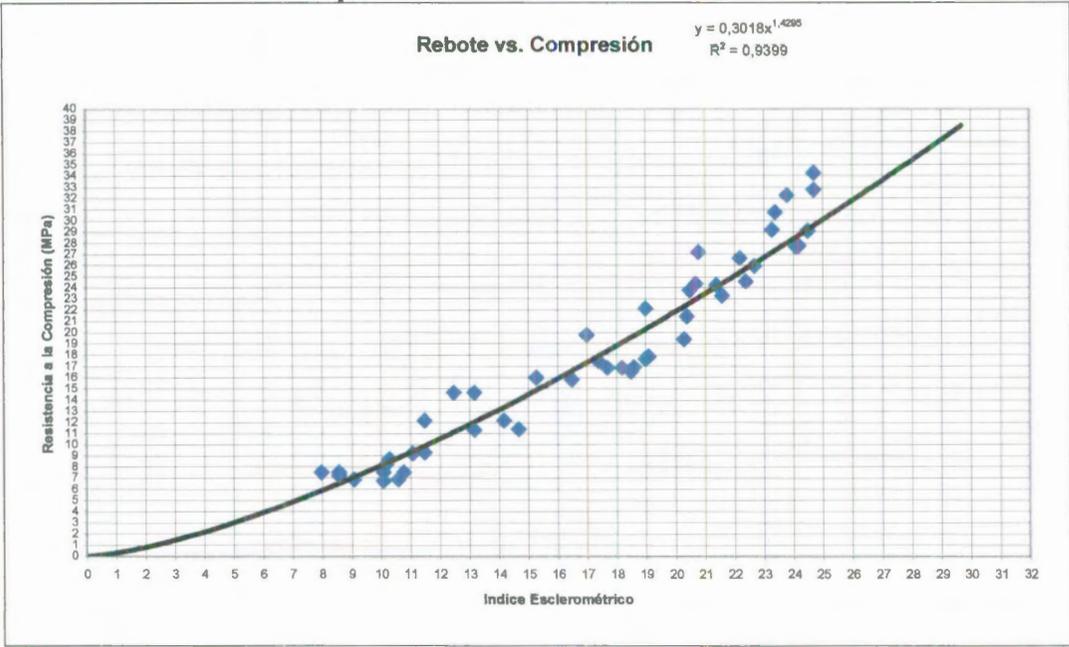
6.1.3. Flexión vs. Tracción por Compresión Diametral.



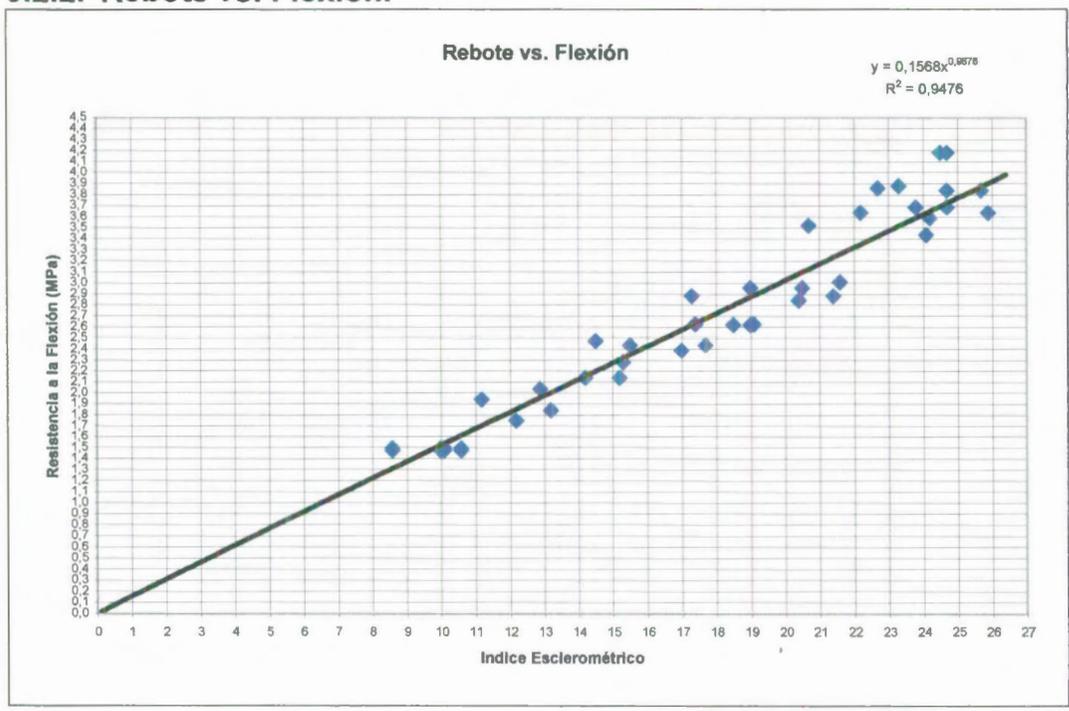
BIBLIOTECA FI
ESPOL

6.2. Correlación de Ensayos Mecánicos y de Métodos No Destructivos.

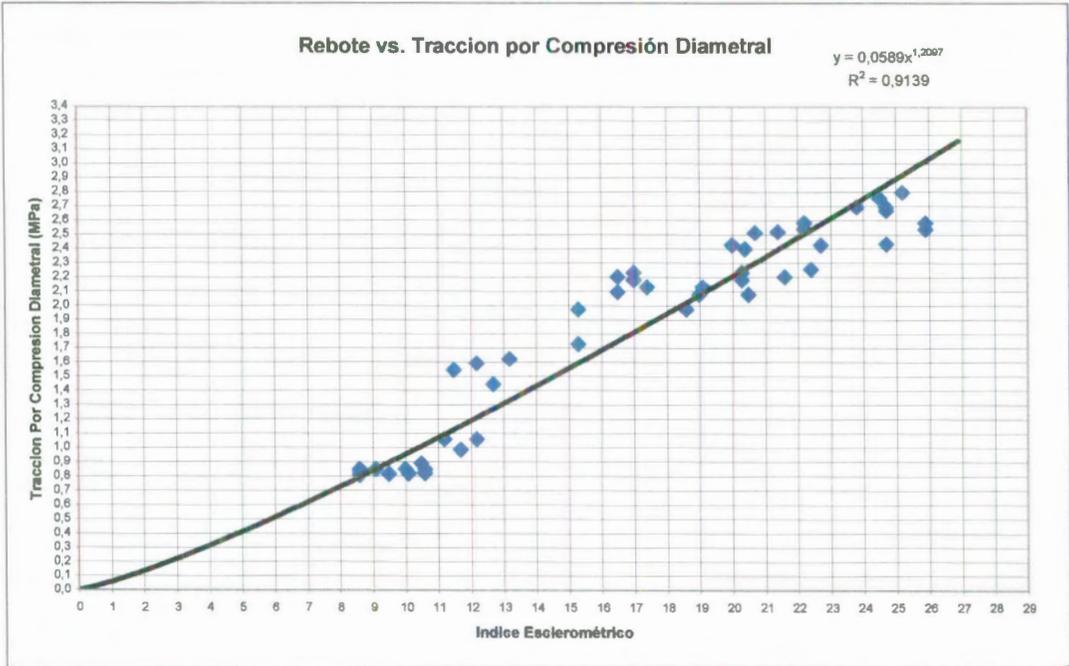
6.2.1. Rebote vs. Compresión.



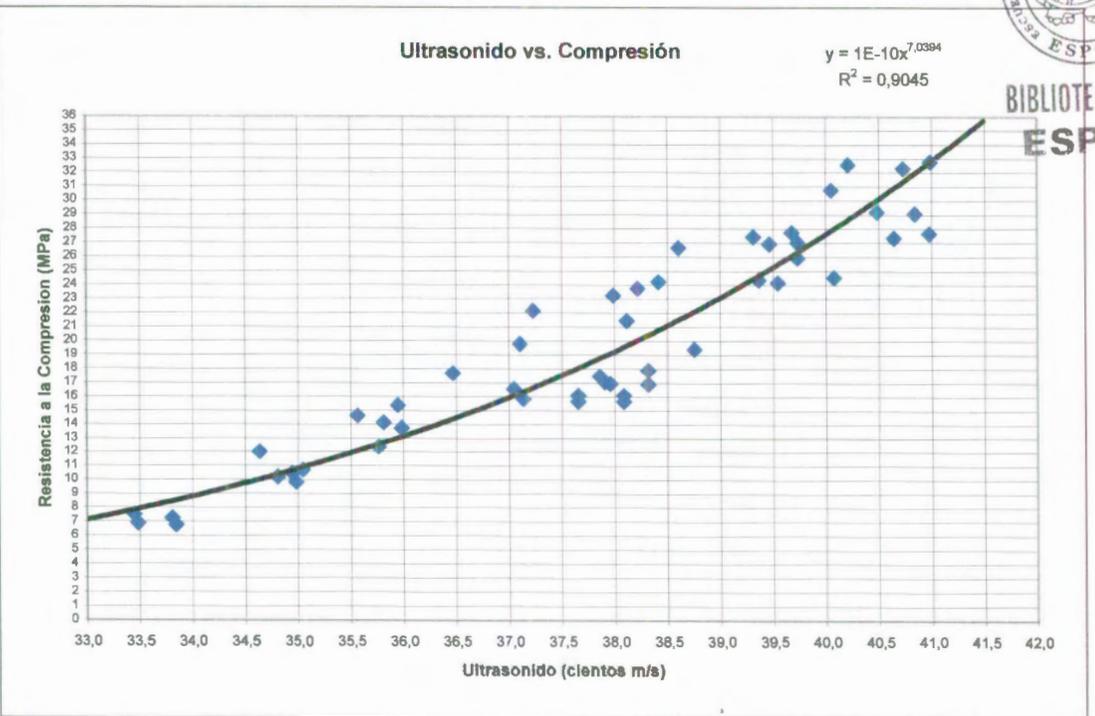
6.2.2. Rebote vs. Flexión.



6.2.3. Rebote vs. Tracción por Compresión Diametral.

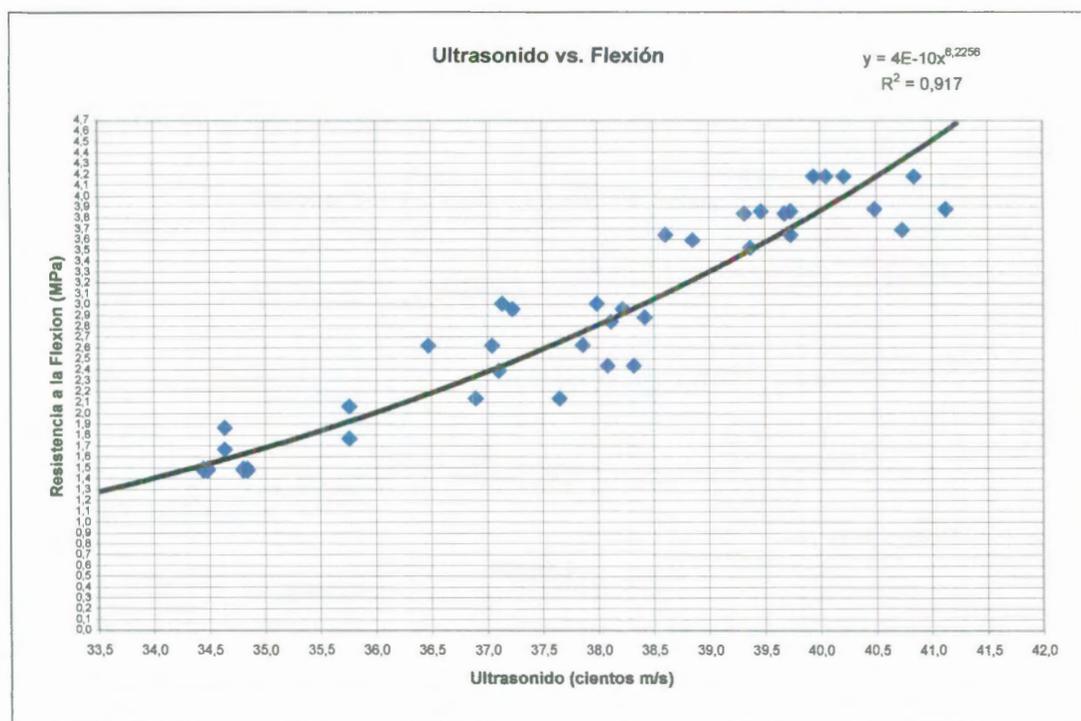


6.2.4. Ultrasonido vs. Compresión.



BIBLIOTECA FICT
 ESPOL

6.2.5. Ultrasonido vs. Flexión.

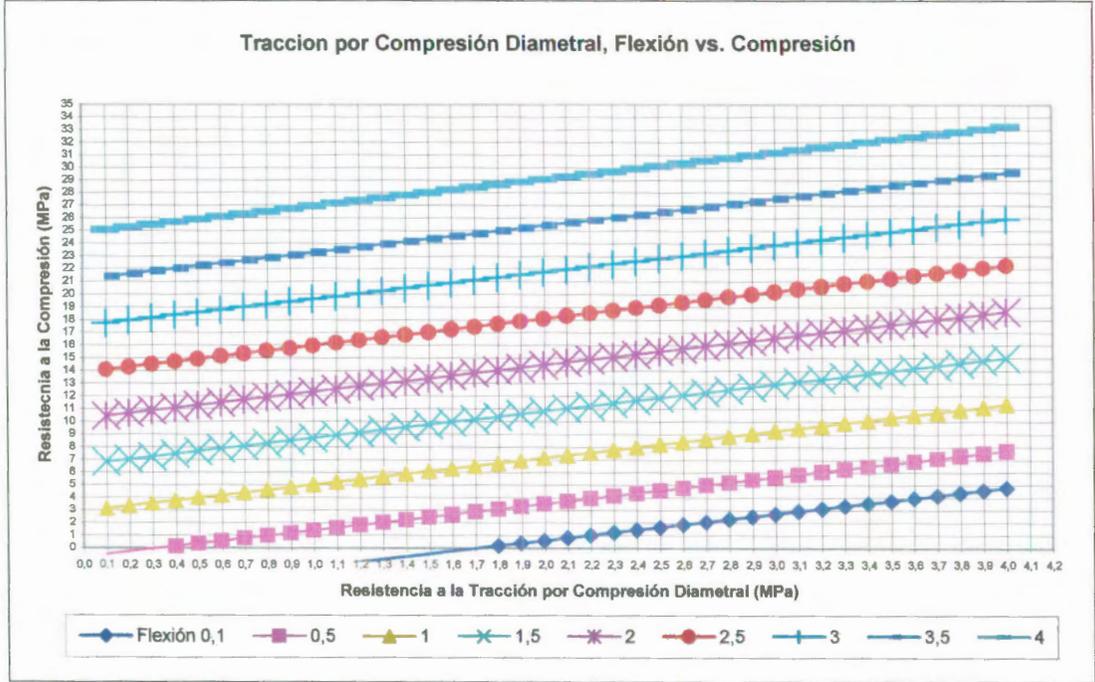


6.2.6. Ultrasonido vs. Tracción por Compresión Diametral.



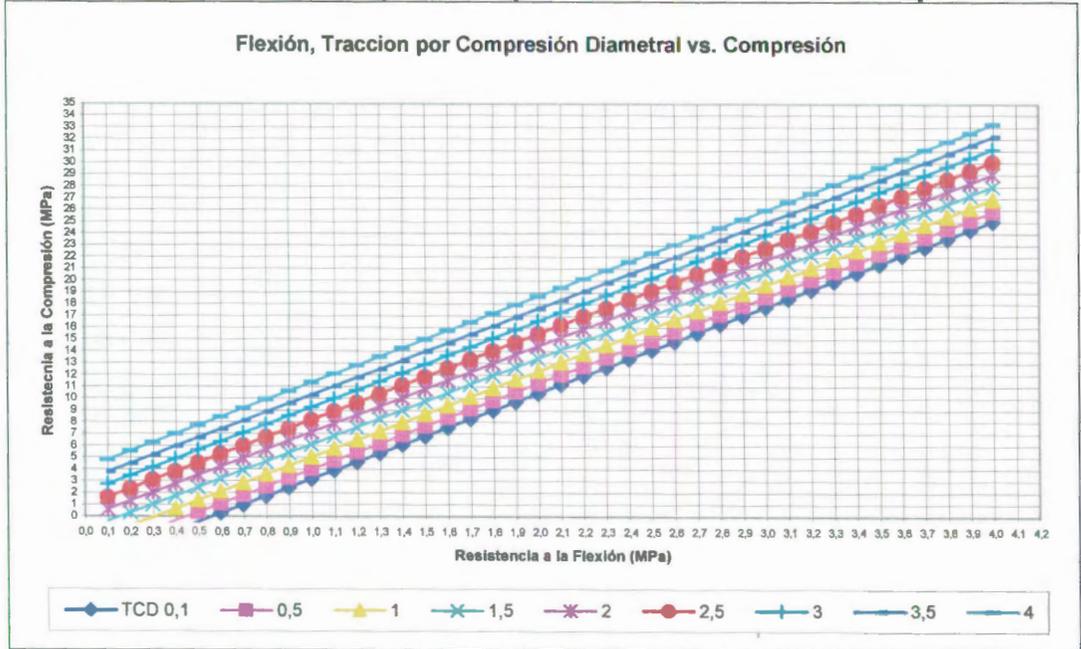
6.3. Correlación Múltiple de Ensayos Mecánicos.

6.3.1. Tracción por Compresión Diametral / Flexión vs. Compresión.



$$f'_c = -4.3271387 + 2.104573 T + 7.2961229 F \quad r^2 = 0,99402$$

6.3.2. Flexión / Tracción por Compresión Diametral vs. Compresión.

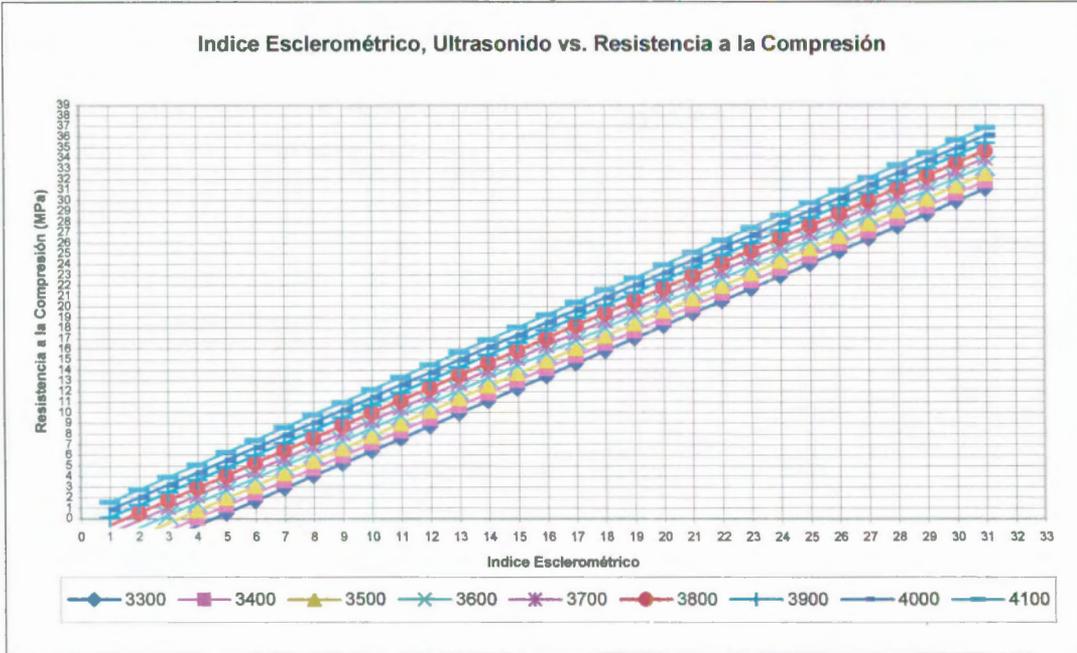


$$f'_c = -4.3271387 + 7.2961229 F + 2.104573 T \quad r^2 = 0,99402$$



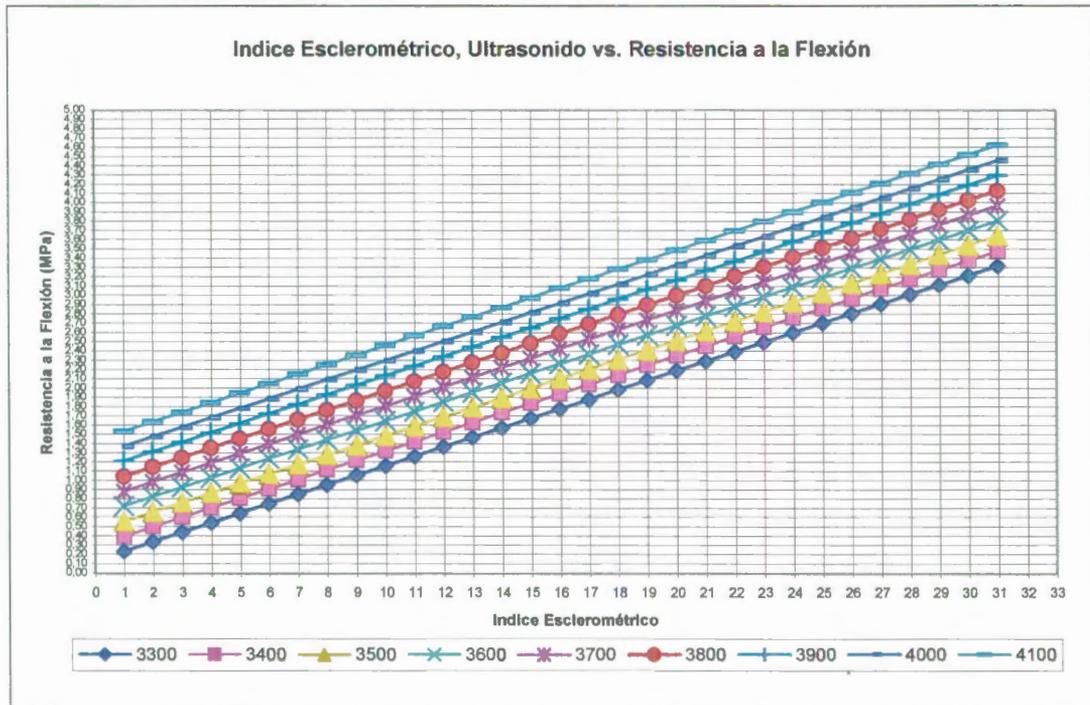
6.4. Correlación Múltiple de Ensayos Mecánicos y de Métodos No Destructivos.

6.4.1. Rebote / Ultrasonido vs. Compresión.



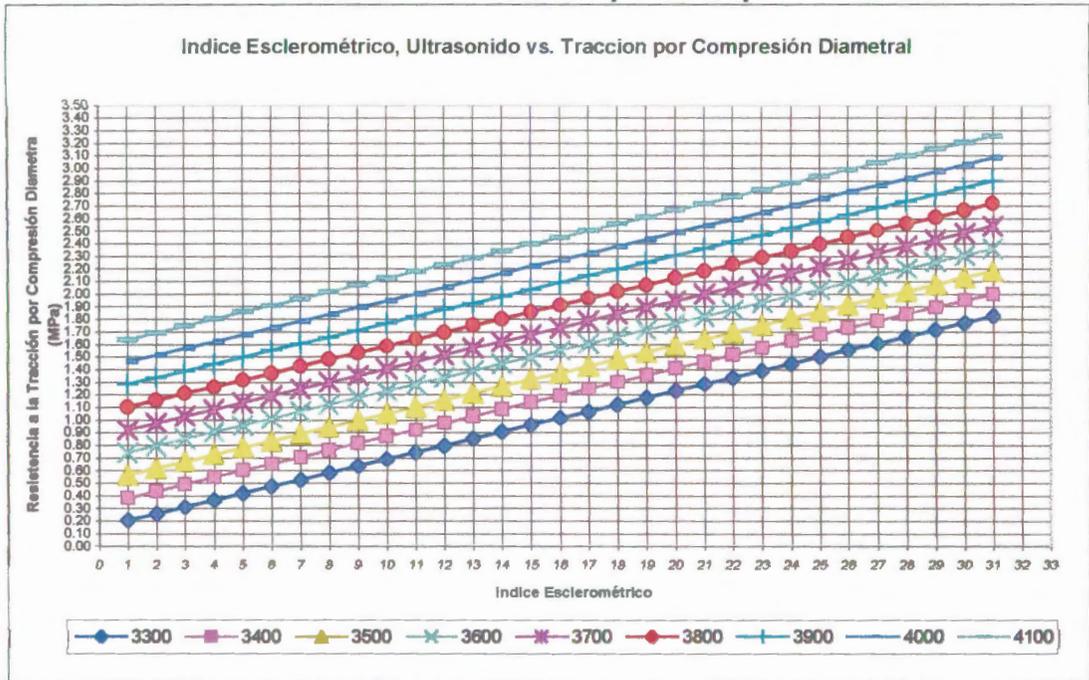
$$f'_c = -29,02 + 1,1752 R + 0,7178 U \quad r^2 = 0,99520$$

6.4.2. Rebote / Ultrasonido vs. Flexión.



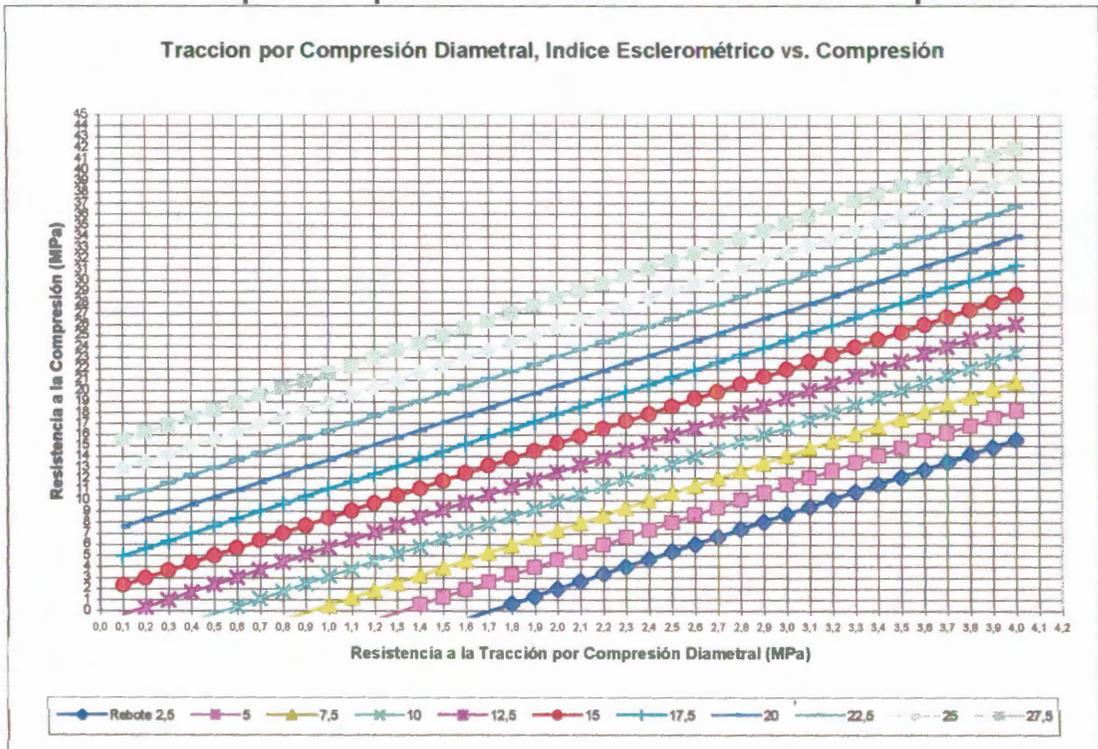
$$f'_c = -5,2338 + 0,10287 R + 0,162589 U \quad r^2 = 0,99693$$

6.4.3. Rebote / Ultrasonido vs. Tracción por Compresión Diametral.



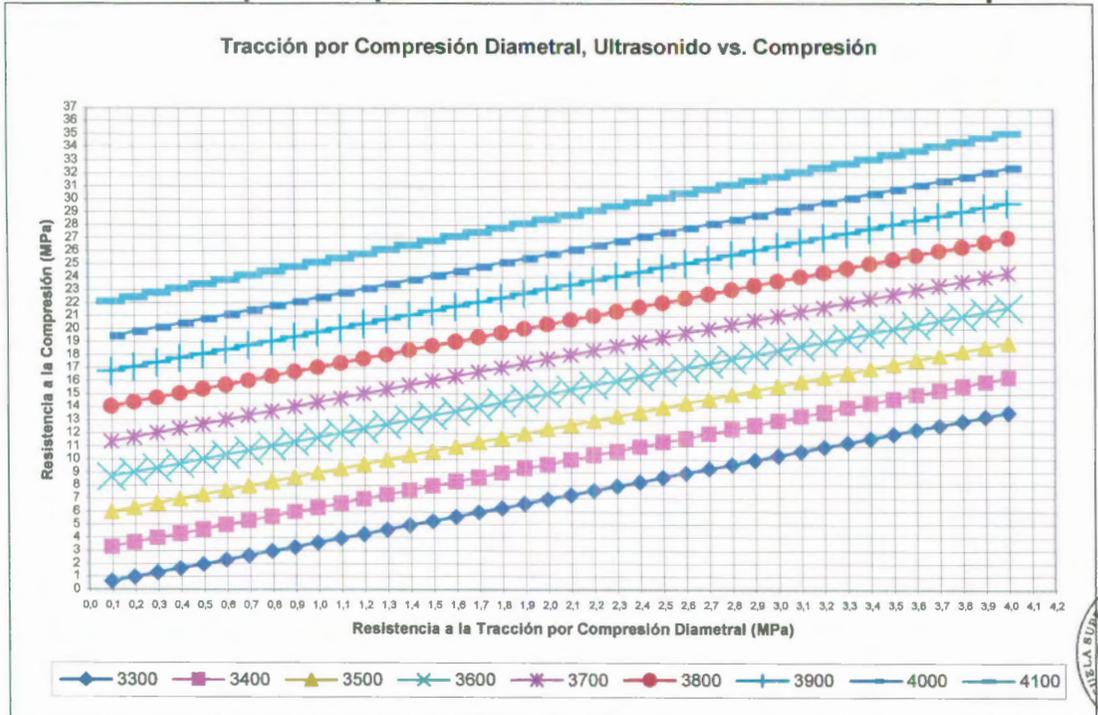
$$f'c = -5,76749 + 0,054 R + 0,179292 U \quad r^2 = 0,99489$$

6.4.4. Tracción por Compresión Diametral / Rebote vs. Compresión.



$$f'c = -14,23734 + 6,781937727 T + 1,0559 R \quad r^2 = 0,98690$$

6.4.5. Tracción por Compresión Diametral / Ultrasonido vs. Compresión.

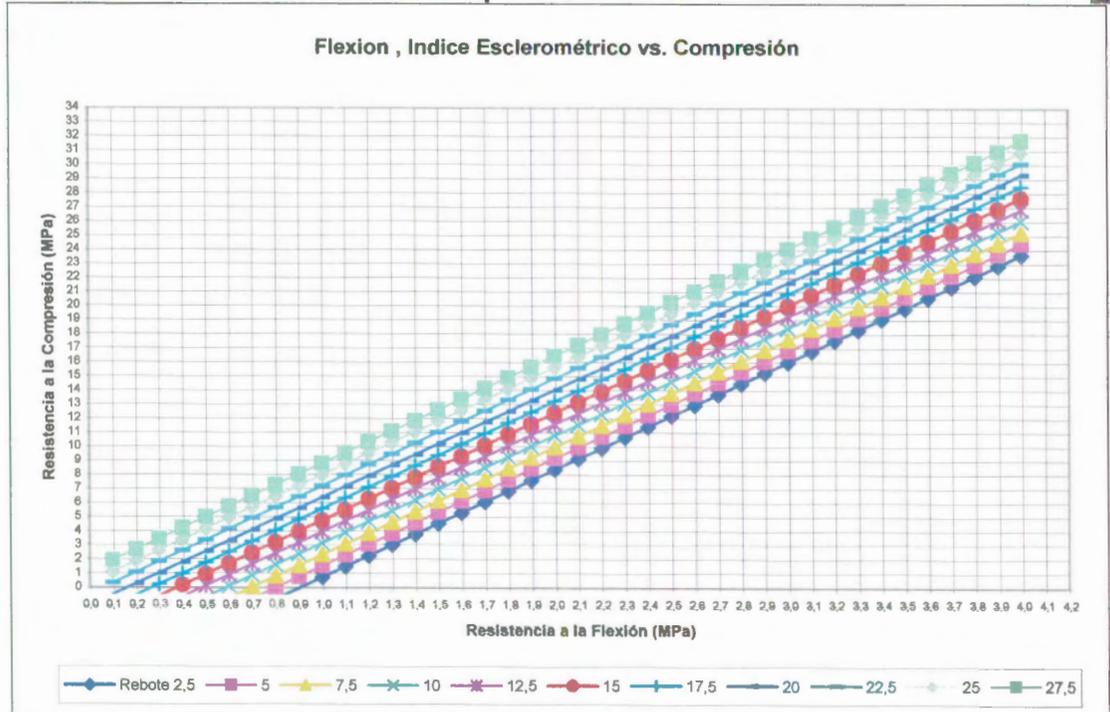


$$f'_c = -88,3 + 3,327299 T + 2,6853419 U \quad r^2 = 0.98245$$



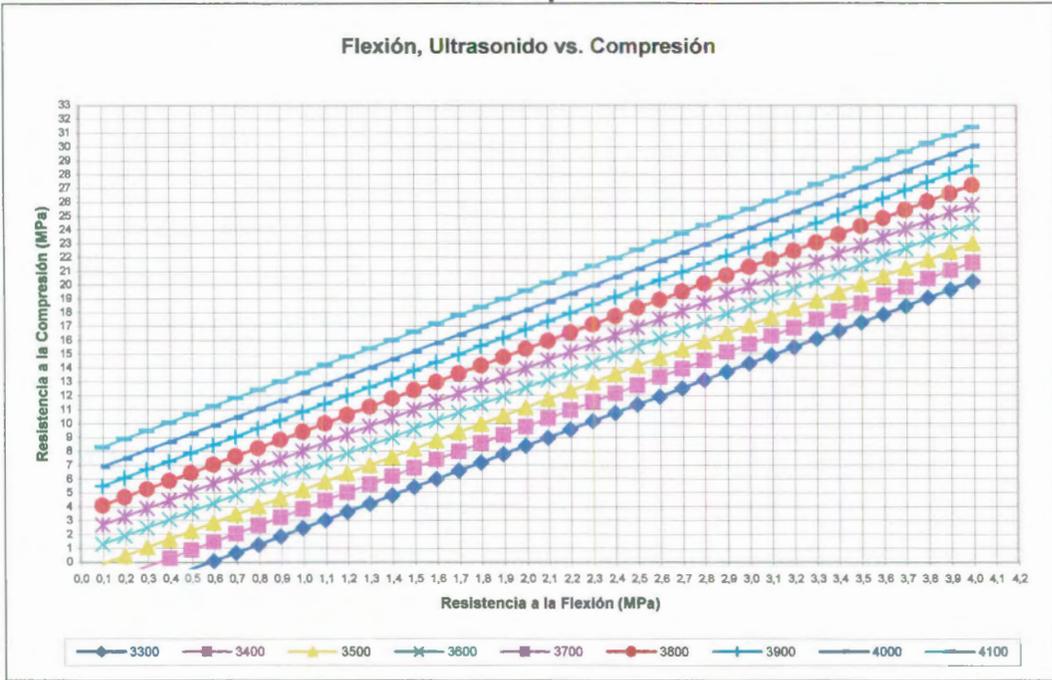
BIBLIOTECA FI
ESPOL

6.4.6. Flexión / Rebote vs. Compresión.



$$f'_c = -7,70508 + 7,638126 F + 0,3234511 R \quad r^2 = 0.99361$$

6.4.7. Flexión / Ultrasonido vs. Compresión.



$$f'_c = -49,57219 + 5,926802 F + 1,3973306 U \quad r^2 = 0,99413$$

CAPITULO 7



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

7. ANALISIS DE RESULTADOS.

El análisis de las correlaciones efectuadas nos indican que en correlación simple los coeficientes son menores que en correlación múltiple. En la correlación simple el coeficiente más bajo nos da un valor de $r^2 = 0.87$ en la gráfica de Ultrasonido vs. Tracción por Compresión Diametral, y el valor más alto de $r^2 = 0.9496$ en la gráfica de Compresión vs. Flexión. Teniendo en la correlación múltiple resultados que van desde $0.9824 < r^2 < 0.9969$, representando las correlaciones entre; Tracción por Compresión Diametral / Ultrasonido vs. Compresión y Rebote Esclerométrico / Ultrasonido y Flexión, respectivamente.

De manera más específica analizando primero las correlaciones simples ya que éstas muestran una relación directa se determina:

1. Todas las gráficas presentan una línea de tendencia Potencial.
2. Las gráficas que presentan una mejor dispersión de puntos son; Compresión vs. Flexión, Rebote vs. Compresión, Rebote vs. Flexión, Ultrasonido vs. Compresión, las demás tienen coeficientes de correlación altos pero la dispersión de sus puntos está más alejada de la línea de tendencia. Esto se puede cuantificar tomando en cuenta el punto más alejado y calculando un porcentaje de aproximación, en la lectura de los valores. Obteniendo:

En la gráfica Compresión vs. Flexión, se tiene una aproximación de la Resistencia a la Compresión con un error máximo de ± 4 MPa.

De la misma manera, Compresión vs. Tracción por Compresión Diametral presenta una aproximación de la Resistencia a la Compresión con un error máximo de ± 5 MPa.

Flexión vs. Tracción por Compresión Diametral presenta una aproximación de la Resistencia a la Flexión con un error máximo de ± 4.5 MPa.

Rebote vs. Compresión presenta una aproximación de la Resistencia a la Compresión con un error máximo de ± 4.5 MPa.

Rebote vs. Flexión presenta una aproximación de la Resistencia a la Flexión con un error máximo de ± 5 MPa.

Rebote vs. Tracción por Compresión Diametral presenta una aproximación de la Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral con un error máximo de ± 4 MPa.

Ultrasonido vs. Compresión presenta una aproximación de la Resistencia a la Compresión con un error máximo de ± 5 MPa.

Ultrasonido vs. Flexión presenta una aproximación de la Resistencia a la Flexión con un error máximo de ± 5 MPa.

Ultrasonido vs. Tracción por Compresión Diametral presenta una aproximación de la Resistencia a la Compresión con un error máximo de ± 5 MPa.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

Analizando las correlaciones múltiples, no se considera la dispersión de los puntos en vista de que las gráficas no son representadas por líneas de tendencia.

Las gráficas más representativas son las que establecen diferentes resistencias por medio de la variación de la velocidad ultrasónica. Debido a que las pruebas fueron realizadas en distintas edades se logró establecer que, entre la velocidad de pulsación y las respectivas resistencias, existe una relación directa que involucra a métodos destructivos y no destructivos considerando.

En las demás gráficas se ha tratado de encontrar una relación lógica entre tres variables, para conseguir que sus datos nos den una aproximación más real de las resistencias requeridas dependiendo de los datos con los que se cuente. Por ejemplo en la correlación Tracción por Compresión Diametral / Flexión vs. Compresión, se trata de obtener un valor de compresión por medio de valores de Tracción por Compresión Diametral de núcleos, relacionándolo con un valor de flexión que se asume en el área de prueba.

En definitiva muchas de éstas graficas pueden servir para determinar resistencias y otras para corroborar resultados.

CAPITULO 8

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Con relación a la estimación de la resistencia a compresión mediante la utilización de las técnicas de esclerometría y ultrasonido, debe quedar claro que con la aplicación de las normas, no pueden obtenerse valores absolutos de resistencia, ya que la estimación se efectúa mediante correlaciones obtenidas empíricamente, a lo que debe sumarse los diferentes factores que afectan el empleo de cada método.

El número de rebotes del martillo Esclerométrico es una prueba sencilla de realizar, pero sus resultados dependen de muchos factores, no tan solo de la resistencia del hormigón. Este método tiene un bajo coeficiente de variación. Sin embargo, esto no significa que las predicciones de resistencia son necesariamente confiables. Cuando se realice el rebote esclerométrico deberá pulirse la superficie para

eliminar cualquier impureza y la capa de carbonatación que se crea en la misma, de otra manera el rebote estaría influenciado por éstos materiales. De igual manera este ensayo no debe de ser realizado directamente en el agregado, fisuras o burbujas de aire, para evitar datos erróneos. Cuando los cilindros tengan resistencias tempranas es necesario que se les haga el refrentado, en vista de que el neopreno utilizado puede ser muy rígido y por esto se obtendrían resistencias más bajas que las esperadas.

Así mismo el ultrasonido tiene una buena correlación con la mayoría de los ensayos, pero esta se puede ver influenciada por muchos factores, que en definitiva requieren de un buen criterio para que las correlaciones obtenidas puedan ser utilizadas con objetividad y veracidad. Éste es más fácil de realizar, pero se debe tener en cuenta que el transmisor y receptor se encuentren alineados en el momento de realizar la prueba, caso contrario las pulsaciones nos darán valores usualmente mayores en tiempo.

Por otro lado, las correlaciones entre ensayos mecánicos nos dan una idea muy precisa de que ellos están perfectamente ligados entre si, y que muchas de sus propiedades son influenciadas por los mismos factores como, curado, compactación, densidad, etc.

Los cilindros y vigas deben de ser elaborados siguiendo las normas ASTM. El curado debe de ser el mismo para todos los especímenes. Los diámetros de los cilindros deberán ser medidos con calibrador de Vernier, tomando el promedio de ellos. Se tomará un promedio de las longitudes del los cilindros para hacer los cálculos. Los especímenes no deben de presentar daños externos, en ese caso los resultados pueden no ser precisos.

Los resultados obtenidos son confiables tomando en cuenta sus altos coeficientes de correlación, tanto para las correlaciones simples como las correlaciones múltiples. Las gráficas pueden revelar datos con un alto grado de precisión, pero hay que tener en cuenta las desviaciones existentes en las lecturas.

En definitiva se han obtenido correlaciones que pueden facilitar el uso de equipos no destructivos para predecir Resistencias a Compresión, Flexión y Tracción por Compresión Diametral, con un nivel de confianza elevado.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

APÉNDICES

APÉNDICE A

PRUEBAS

Ensayos de Resistencia a la Compresión y Rebote Esclerométrico.

(ASTM C 39, ASTM C 805)



Ensayo de Resistencia a la Flexión.

(ASTM C 78)



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

Ensayo de Ultrasonido.

(ASTM C 805)



Ensayo de Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral.

(ASTM C 496)



APÉNDICE B

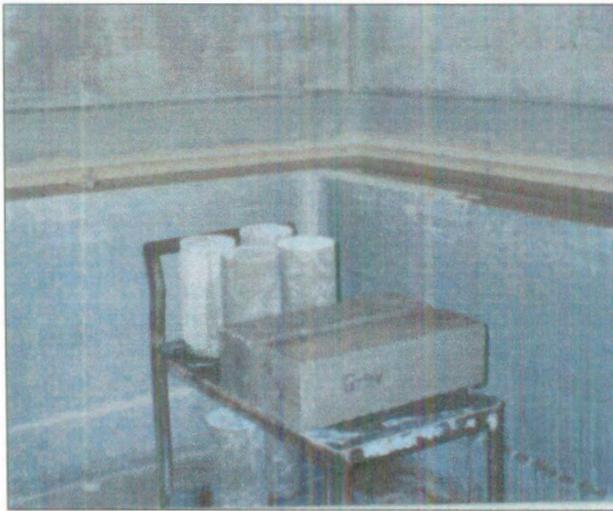
MUESTRAS

Moldeo y Curado de Especímenes.

(ASTM C 192/C192M)



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



MEDIDAS.



NÚCLEOS (CALADOS)



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



**BIBLIOTECA FIC
ESPOL**

BIBLIOGRAFIA.

1. Correlación Múltiple y Parcial, Estadística, Murray R. Spiegel, pag. 357.
2. Estimación de la Resistencia a Compresión del hormigón por medio de Método Combinado Ultrasonido, esclerometría, Hormigón 30/97, pag. 19.
3. Hormigón y mezclas para hormigón : Conceptos generales del ensayo no destructivo, Cemento–Hormigón, pag. 1210.
4. Pruebas del Concreto Endurecido, Tecnología del Concreto, Adam Neville, pag. 405.
5. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM, Part 2, pag. 18.

6. Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third Point Loading), ASTM, Part 2, pag. 32.

7. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Specimens, ASTM, Part 2, pag. 266.