

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN  
HORMIGÓN Y CORRELACIÓN ENTRE ELLOS, ESCLERÓMETRO  
Y ULTRASONIDO CON HORMIGÓN, CON DOS DIFERENTES  
EQUIPOS Y DIFERENTES DOSIFICACIONES**

**COMPONENTE: 24 MPa**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**DIEGO ESTEBAN RUALES QUELAL**

**diego.ruales@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: ING. EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACIS TRONCOSO**

**mercedes.villacis@epn.edu.ec**

**DMQ, julio 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, DIEGO ESTEBAN RUALES QUELAL declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**DIEGO ESTEBAN RUALES QUELAL**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por DIEGO ESTEBAN RUALES QUELAL, bajo mi supervisión.

---

**ING. EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACIS  
TRONCOSO**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

DIEGO ESTEBAN RUALES QUELAL

ING. EUGENIA DE LAS MERCEDES VILLACIS TRONCOSO

## DEDICATORIA

A mi madre, Mariana Ruales, por su amor incondicional y sacrificios constantes, por ser mi pilar y mi inspiración, por estar siempre conmigo, celebrando mis triunfos y lamentando mis derrotas, pero siempre apoyándome para seguir adelante.

A mis hermanos Sebastián y Francisco, quienes siguen mis pasos y mi ejemplo. Espero que este trabajo demuestre que nada es imposible, que seguir sus sueños es el camino correcto y que rendirse nunca es una opción.

A mi abuela Mariana Quelal, que con su sabiduría y cariño ha dejado una huella imborrable en mi vida; y en especial, a mi abuelo Luis Ruales, cuyo recuerdo me ha acompañado en cada paso de este camino.

A las personas especiales que me han acompañado en este viaje, que me han ayudado a superar etapas difíciles y han hecho que toda esta experiencia sea grata y memorable. A quienes llevaré siempre en mi corazón.

Esto es para ustedes, con todo mi amor y gratitud.

*Diego Esteban Ruales Quelal*

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre, cuyo amor, apoyo y sacrificios han sido fundamentales para la culminación de este trabajo y de esta etapa.

A mis hermanos, gracias por su constante aliento y confianza en mí.

A mis familiares, por su cariño y apoyo incondicional, que me han motivado a seguir adelante.

A mis mejores amigos, por estar siempre a mi lado, brindándome su apoyo y compañía invaluable.

A los amigos que hice durante mi tiempo en la universidad, gracias por las experiencias compartidas y por enriquecer mi vida académica y personal.

A mis amigos de toda la vida, por su lealtad y por ser una constante fuente de alegría y apoyo a lo largo de los años.

Finalmente, quiero agradecer a la directora de mi trabajo de titulación, Ing. Mercedes Villacis, por su orientación, paciencia y sabiduría, así como por sus valiosos consejos y su dedicación.

A todos ustedes, les dedico este logro con mi más sincero agradecimiento.

*Diego Esteban Ruales Quelal*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XII
RESUMEN .....	XIV
ABSTRACT .....	XV
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLADO.....	1
1.1 Objetivo general .....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance .....	2
1.4 Marco teórico .....	3
1.4.1 Hormigón .....	3
1.4.2 Ensayos no Destructivos .....	4
1.4.3 Ensayos Destructivos .....	9
2 METODOLOGÍA .....	12
2.1 Ensayo Esclerométrico .....	12
2.1.1 Superficie de ensayo .....	12
2.1.2 Procedimiento.....	12
2.1.3 Cálculos .....	13
2.2 Ensayo de Ultrasonido .....	13
2.2.1 Calibración del equipo .....	13
2.2.2 Material acoplante.....	14
2.2.3 Colocación de los transductores.....	14
2.2.4 Procedimiento .....	15
2.2.5 Cálculos .....	16
2.3 Ensayo de Compresión Simple .....	17

2.3.1 Procedimiento.....	17
2.3.2 Cálculos .....	19
2.4 Granulometría de los agregados.....	20
2.4.1 Aparatos .....	20
2.4.2 Preparación de la muestra.....	20
2.4.3 Procedimiento.....	21
2.4.4 Cálculos .....	22
2.5 Ensayo para determinar la densidad real del cemento .....	22
2.5.1 Equipos.....	22
2.5.2 Procedimiento.....	23
2.5.3 Cálculos .....	25
2.6 Ensayo para determinar la densidad relativa y la absorción del agregado fino .....	26
2.6.1 Equipos.....	26
2.6.2 Procedimiento.....	26
2.6.3 Cálculos .....	28
2.7 Ensayo para determinar la densidad relativa y la absorción del agregado grueso .....	29
2.7.1 Equipos.....	29
2.7.2 Procedimiento.....	30
2.7.3 Cálculos .....	31
2.8 Ensayo para determinar la densidad aparente y el porcentaje de vacíos de los agregados .....	32
2.8.1 Aparatos .....	32
2.8.2 Procedimiento.....	32
2.8.3 Cálculos .....	33
2.9 Ensayo de contenido orgánico del agregado fino .....	33
2.9.1 Aparatos y reactivos .....	33
2.9.2 Preparación de la muestra.....	34
2.9.3 Procedimiento .....	34

2.9.4	Análisis .....	34
2.10	Ensayo de abrasión .....	35
2.10.1	Aparatos .....	35
2.10.2	Preparación de la muestra .....	36
2.10.3	Procedimiento .....	36
2.10.4	Cálculos .....	37
2.11	Dosificación .....	37
2.11.1	Propiedades del hormigón .....	38
2.11.2	Datos del material .....	39
2.11.3	Proporcionamiento del material .....	39
2.12	Ensayo para determinar el asentamiento del hormigón .....	42
2.12.1	Aparatos .....	42
2.12.2	Procedimiento .....	42
2.13	Elaboración de los especímenes de prueba de hormigón .....	43
2.13.1	Aparatos .....	43
2.13.2	Procedimiento .....	44
2.14	Correlaciones .....	46
2.14.1	Desarrollo de la Curva de Correlación .....	46
2.14.2	Cálculos .....	47
2.14.3	Comparación .....	48
2.15	Factor crítico T .....	48
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
3.1	Resultados .....	50
3.1.1	Granulometría .....	51
3.1.2	Densidad relativa y absorción de los agregados .....	53
3.1.3	Densidad aparente y porcentaje de vacíos de los agregados .....	53
3.1.4	Contenido orgánico del agregado fino .....	53
3.1.5	Abrasión.....	54
3.1.6	Densidad real del cemento .....	54

3.1.7	Dosificación .....	55
3.1.8	Asentamiento .....	55
3.1.9	Ensayo de ultrasonido .....	56
3.1.10	Ensayo esclerométrico.....	58
3.1.11	Ensayo de compresión simple .....	60
3.1.12	Correlación .....	61
3.1.13	Análisis de resultados .....	68
3.1.14	Factor crítico T .....	75
3.2	Conclusiones.....	76
3.3	Recomendaciones .....	78
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	80
5	ANEXOS .....	83
	ANEXO I. ENSAYO DE ABRASIÓN .....	84
	ANEXO II. CONTENIDO ORGÁNICO.....	86
	ANEXO III. DENSIDAD REAL DEL CEMENTO .....	88
	ANEXO IV. DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS .....	90
	ANEXO V. DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS.....	92
	ANEXO VI. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO .....	94
	ANEXO VII. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO .....	96
	ANEXO VIII. COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN .....	98
	ANEXO IX. COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN .....	100
	ANEXO X. COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN .....	102
	ANEXO XI. ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN.....	104
	ANEXO XII. ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN.....	106
	ANEXO XIII. ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN .....	108
	ANEXO XIV. ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN .....	110
	ANEXO XV. ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN .....	112
	ANEXO XVI. ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN .....	114

ANEXO XVII. VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO EN EL HORMIGÓN	116
ANEXO XVIII. VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO EN EL HORMIGÓN	118
ANEXO XIX. VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO EN EL HORMIGÓN	120

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Coeficientes de corrección de L/D. ....	19
<b>Tabla 2.2</b> Cantidad de muestra.....	20
<b>Tabla 2.3</b> Valores de revenimiento. ....	39
<b>Tabla 2.4</b> Cantidad de agua y contenido de aire.....	40
<b>Tabla 2.5.</b> Valores para diferentes resistencias de relación agua/cemento. ....	40
<b>Tabla 2.6.</b> Relación volumétrica de agregado grueso en el hormigón. ....	41
<b>Tabla 2.7</b> Valores para k1.....	48
<b>Tabla 2.8</b> Valores de T para n observaciones.....	49
<b>Tabla 3.1</b> Resultados del ensayo de distribución granulométrica del agregado fino. .....	51
<b>Tabla 3.2</b> Resultados del ensayo de distribución granulométrica del agregado grueso. ....	52
<b>Tabla 3.3</b> Resultados del ensayo de densidad relativa y absorción.....	53
<b>Tabla 3.4</b> Resultados del ensayo de densidad aparente y porcentaje de vacíos..	53
<b>Tabla 3.5</b> Resultados del ensayo de contenido orgánico.....	53
<b>Tabla 3.6</b> Resultados del ensayo de abrasión .....	54
<b>Tabla 3.7</b> Resultados del ensayo de densidad real del cemento .....	55
<b>Tabla 3.8</b> Resultados de la dosificación para una resistencia de 24 MPa .....	55
<b>Tabla 3.9</b> Asentamiento del hormigón .....	55
<b>Tabla 3.10</b> Resultados ultrasonido a 28 días .....	56
<b>Tabla 3.11</b> Resultados ultrasonido a 56 días .....	56
<b>Tabla 3.12</b> Resultados ultrasonido a 90 días .....	57
<b>Tabla 3.13</b> Resultados esclerómetro a 28 días .....	58
<b>Tabla 3.14</b> Resultados esclerómetro a 56 días .....	58
<b>Tabla 3.15</b> Resultados esclerómetro a 90 días .....	59
<b>Tabla 3.16</b> Resultados ensayo de compresión a 28 días .....	60
<b>Tabla 3.17</b> Resultados ensayo de compresión a 56 días .....	60
<b>Tabla 3.18</b> Resultados ensayo de compresión a 90 días .....	60
<b>Tabla 3.19</b> Resultados correlación esclerómetro a 28 días .....	61
<b>Tabla 3.20</b> Resultados correlación ultrasonido a 28 días .....	62
<b>Tabla 3.21</b> Resultados correlación esclerómetro a 56 días .....	62

<b>Tabla 3.22</b>	Resultados correlación ultrasonido a 56 días .....	63
<b>Tabla 3.23</b>	Resultados correlación esclerómetro a 90 días .....	63
<b>Tabla 3.24</b>	Resultados correlación ultrasonido a 90 días .....	64
<b>Tabla 3.25</b>	Resumen resultados correlación esclerómetro .....	64
<b>Tabla 3.26</b>	Resumen resultados correlación ultrasonido .....	66
<b>Tabla 3.27</b>	Valores estadísticos de los resultados a 28 días .....	68
<b>Tabla 3.28</b>	Valores estadísticos de los resultados a 56 días .....	68
<b>Tabla 3.29</b>	Valores estadísticos de los resultados a 90 días .....	69
<b>Tabla 3.30</b>	Resistencias a 28 días: compresión y esclerómetro .....	69
<b>Tabla 3.31</b>	Resistencias a 56 días: compresión y esclerómetro .....	70
<b>Tabla 3.32</b>	Resistencias a 90 días: compresión y esclerómetro .....	71
<b>Tabla 3.33</b>	Resistencias a 28 días: compresión y ultrasonido .....	72
<b>Tabla 3.34</b>	Resistencias a 56 días: compresión y ultrasonido .....	73
<b>Tabla 3.35</b>	Resistencias a 90 días: compresión y ultrasonido .....	74
<b>Tabla 3.36</b>	Resultados del análisis del factor T.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Partes del esclerómetro .....	5
<b>Figura 1.2</b> Funcionamiento del esclerómetro .....	6
<b>Figura 1.3</b> Esquema del aparato de velocidad de pulso ultrasónico .....	8
<b>Figura 1.4</b> Representación del ensayo de resistencia a la compresión .....	10
<b>Figura 1.5</b> Tipo de fallas de cilindros .....	11
<b>Figura 2.1</b> Proceso de ensayo con esclerómetro .....	13
<b>Figura 2.2</b> Arreglos para la colocación de los transductores .....	15
<b>Figura 2.3</b> Equipo y verificación .....	16
<b>Figura 2.4</b> Proceso de ensayo .....	16
<b>Figura 2.5</b> Colocación del cilindro e identificación de tipo de falla .....	18
<b>Figura 2.6</b> Proceso de ensayo .....	19
<b>Figura 2.7</b> Preparación de tamices y secado del agregado .....	22
<b>Figura 2.8</b> Proceso de ensayo .....	22
<b>Figura 2.9</b> Matraz Le Chatelier .....	23
<b>Figura 2.10</b> Adición de cemento y control de temperatura .....	25
<b>Figura 2.11</b> Procedimiento del ensayo .....	25
<b>Figura 2.12</b> Preparación y secado del agregado .....	28
<b>Figura 2.13</b> Procedimiento del ensayo .....	28
<b>Figura 2.14</b> Peso y secado del agregado .....	31
<b>Figura 2.15</b> Procedimiento del ensayo .....	31
<b>Figura 2.16</b> Procedimiento del ensayo .....	32
<b>Figura 2.17</b> Procedimiento del ensayo .....	34
<b>Figura 2.18</b> Máquina de abrasión .....	36
<b>Figura 2.19</b> Uso de la máquina de Los Ángeles y procedimiento del ensayo .....	37
<b>Figura 2.20</b> Preparación de la mezcla .....	42
<b>Figura 2.21</b> Prueba y verificación de la muestra .....	42
<b>Figura 2.22</b> Retiro del cono y medición del asentamiento .....	43
<b>Figura 2.23</b> Preparación de los materiales .....	45
<b>Figura 2.24</b> Fundición .....	45
<b>Figura 2.25</b> Curado .....	45
<b>Figura 2.26</b> Curva básica .....	46

<b>Figura 3.1</b> Curva granulométrica del agregado fino .....	51
<b>Figura 3.2</b> Curva granulométrica del agregado grueso .....	53
<b>Figura 3.3</b> Curva general de correlación esclerómetro .....	66
<b>Figura 3.4</b> Curva general de correlación ultrasonido .....	68
<b>Figura 3.5</b> Resistencias a 28 días: compresión y esclerómetro .....	70
<b>Figura 3.6</b> Resistencias a 56 días: compresión y esclerómetro .....	71
<b>Figura 3.7</b> Resistencias a 90 días: compresión y esclerómetro .....	72
<b>Figura 3.8</b> Resistencias a 28 días: compresión y ultrasonido .....	73
<b>Figura 3.9</b> Resistencias a 56 días: compresión y ultrasonido .....	74
<b>Figura 3.10</b> Resistencias a 90 días: compresión y ultrasonido .....	75

## RESUMEN

La estimación de resistencia a compresión del hormigón es un importante indicador de su calidad, por ello los ensayos no destructivos resultan ser muy útiles en la estimación de este factor y ventajosos por su rápida aplicación y simplicidad en su ejecución sin afectar la estructura y resistencia del material. Sin embargo, la interpretación y tratamiento de datos requirieron un análisis más complejo, teniendo en cuenta las variables que afectan los resultados requeridos. Este trabajo se enfocó en la aplicación de ensayos no destructivos: esclerómetro y ultrasonido, para la estimación de la resistencia a compresión del hormigón, calculando una curva de calibración del esclerómetro para posteriormente correlacionarla con los resultados del ensayo de ultrasonido y contrastar los resultados obtenidos con la aplicación de ensayos a compresión simple. Se calculó la dosificación de los materiales para un hormigón de 24 MPa de resistencia y se realizó la fundición de 30 probetas tipo que fueron sometidas a los diferentes ensayos destructivos y no destructivos mencionados anteriormente a las edades de 28, 56 y 90 días, de esta forma se calculó la correlación del esclerómetro y ultrasonido, obteniendo resultados óptimos para finalmente determinar que la resistencia característica in situ del hormigón es de 27.4 MPa para el esclerómetro y de 26.2 MPa para el ultrasonido en contraste con el valor promedio de la resistencia a compresión de 29.6 MPa.

**PALABRAS CLAVE:** Hormigón, resistencia a compresión, ensayos no destructivos, esclerómetro, ultrasonido.

## **ABSTRACT**

The estimation of the compressive strength of concrete is an important indicator of its quality, therefore non-destructive tests are very useful in estimating this factor and advantageous due to their rapid application and simplicity in their execution without affecting the structure and resistance of the material. However, the interpretation and treatment of data required a more complex analysis, considering the variables that affect the required results. This work focused on the application of non-destructive tests: sclerometer and ultrasound, for the estimation of the compressive strength of concrete, calculating a calibration curve of the sclerometer later to correlate it with the results of the ultrasound test and contrast the results obtained with the application of simple compression tests. The dosage of the materials for concrete of 24 MPa resistance was calculated and the casting of 30 type test specimens was carried out which were subjected to the different destructive and non-destructive tests mentioned above at the ages of 28, 56, and 90 days, in this way the correlation of the sclerometer and ultrasound was calculated, obtaining optimal results to finally determine that the characteristic in situ resistance of the concrete is 27.4 MPa for the sclerometer and 26.2 MPa for the ultrasound in contrast to the average value of the compressive strength of 29.6 MPa.

**KEYWORDS:** Concrete, compressive strength, non-destructive tests, Schmidt hammer, ultrasound.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

El hormigón, en términos simples, es el resultado de mezclar cemento, arena, grava y agua. Es un material resistente, que permite la construcción de elementos de diferentes formas y tamaños, no es inflamable y aísla el sonido. Por ende, la dosificación de éste debe asegurar que la combinación de los diferentes componentes cumpla con las características y propiedades establecidas para el producto final.

La resistencia a la compresión simple del hormigón es un factor de control de la calidad y correcta elaboración del hormigón y se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área (esfuerzo). (Cemex, 2019)

El cálculo de la resistencia a compresión del hormigón puede hacerse con varios métodos tanto destructivos como no destructivos, sin embargo, para este trabajo nos enfocaremos en ensayos no destructivos como son los ensayos esclerométricos y de ultrasonido, para compararlos con el ensayo destructivo de compresión simple, en el caso del esclerómetro se realizó la curva de calibración a 0° y en el ultrasonido se midió el tiempo y la velocidad de un pulso ultrasónico que recorre los cilindros de hormigón con una dosificación de 24 MPa, a los cuales se les realizó el ensayo de compresión simple para poder comprobar el esclerómetro y ultrasonido respectivamente.

Los ensayos no destructivos se utilizan para evaluar la calidad y hallar posibles imperfecciones en el hormigón para realizar una evaluación del elemento ensayado sin dañarlo por lo que puede seguir usándose luego del ensayo. El ensayo esclerométrico mide la dureza superficial del elemento de hormigón utilizando un martillo de rebote y el ensayo de ultrasonido verifica la calidad interna de un elemento de hormigón a través de ondas ultrasónicas que pasan por el elemento.

Los ensayos destructivos se utilizan para determinar propiedades mecánicas y realizar un control de especificaciones de diseño y calidad del hormigón, sin embargo, hay que tomar en cuenta que este tipo de ensayos puede llegar a dañar el elemento ensayado, este ensayo es uno de los más comunes y al mismo tiempo más importantes para evaluar la resistencia del hormigón a la compresión.

## **1.1 Objetivo general**

Determinar la curva de correlación de un equipo esclerométrico a un ángulo de ensayo de  $0^\circ$  y un equipo de ultrasonido en probetas de hormigón de una resistencia de 24 MPa a edades de 28, 56 y 90 días y realizar ensayos de compresión para la calibración de los equipos de ensayos no destructivos.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Realizar la caracterización de los materiales y calcular la correcta dosificación para una resistencia del hormigón de 24 MPa.
2. Fabricar 30 probetas de referencia que alcancen una resistencia de 24 MPa.
3. Realizar la curva de correlación de un equipo esclerométrico para un  $f'c$  de 24 MPa a una inclinación de  $0^\circ$  para edades de 28, 56 y 90 días y hacer una comparación con los resultados obtenidos de ensayos de compresión de las probetas de referencia.
4. Realizar la curva de correlación de un equipo de ultrasonido para un  $f'c$  de 24 MPa para edades de 28, 56 y 90 días y hacer una comparación con los resultados obtenidos de ensayos de compresión de las probetas tipo.

## **1.3 Alcance**

El alcance de este trabajo es hallar la curva de correlación de un equipo esclerométrico a  $0^\circ$  de inclinación con la ayuda del ensayo de las probetas a compresión simple, de la misma manera hallar la correlación de un equipo de ultrasonido con las probetas de referencia. Este análisis se va a realizar en 30 probetas tipo a las edades de 28, 56 y 90 días para un hormigón de resistencia  $f'c$  de 24 MPa cuya dosificación va a ser previamente calculada. Se realizarán ensayos de compresión simple y se llevará a cabo una comparación de todos los resultados obtenidos en cada ensayo a las diferentes edades previamente establecidas.

## **1.4 Marco teórico**

El ensayo esclerométrico y el ensayo de ultrasonido proporcionan información sobre la calidad del material, aplicando diferentes principios. Por un lado, el esclerómetro evalúa de forma superficial el hormigón mientras que el ultrasonido lo hace de manera interna detectando defectos y su homogeneidad. Sin embargo, al combinar ambos ensayos se logra un análisis más completo para la correcta verificación de la calidad y combinado con ensayos destructivos, encontrar la resistencia del hormigón. (Liniers, 1982)

Para la resistencia  $f_c$  de 24 MPa que se está evaluando en este trabajo, el correcto manejo de los resultados de cada ensayo es importante ya que, junto con los debidos cálculos y correcciones, aplicando solo los ensayos no destructivos se puede llegar a determinar la resistencia aproximada del hormigón sin distar mucho de los resultados que se recogerán en el ensayo de compresión simple.

### **1.4.1 Hormigón**

Es el resultado de la mezcla y amasado de cemento, áridos y agua, en algunos casos se incluye también aditivos. Su utilización es muy común en obras civiles por su fácil manejabilidad en estado fresco y al mismo tiempo su alta resistencia y duración una vez está seco y endurecido por lo que no es difícil utilizarlo para diferentes formas y elementos en la realización de una obra asegurando su correcto comportamiento. (Fundación Musaat, 2021)

#### **1.4.1.1 Elementos del Hormigón**

Cemento:

Es un material utilizado en la construcción que se compone por caliza y arcilla que luego de añadirle agua se convierte en una pasta que cumple el papel de aglomerante en un mortero. El tipo de cemento que se utilice dependerá de las especificaciones y el tipo de elemento o proyecto que se vaya a realizar, así como también de las diferentes condiciones que se pueden presentar ya sea en laboratorio o en obra. En este trabajo solo se utilizó cemento GU que corresponde al cemento de uso general. Por tanto, existen diferentes tipos de cemento con diferentes características que van a adaptarse mejor que otros a ciertos tipos de

obra tomando en cuenta los factores climáticos y constructivos. Todo esto influye en gran medida en el curado, endurecimiento, así como la durabilidad del hormigón. (Fundación MUSAAT, 2021)

**Agregados:**

Los agregados son el componente granular del hormigón y constituyen alrededor del 70% u 80% de la mezcla total, ayudando a que el hormigón alcance la resistencia deseada. Se utilizan dos tipos de agregados en la composición del hormigón: agregado grueso correspondientes a grava y agregado fino correspondientes a arena. Cada uno de los agregados, así como el cemento, presentan sus propias características físicas que, dependiendo de la resistencia requerida, el tipo de elemento y las condiciones de obra se deberán escoger los adecuados para su utilización. (Fundación MUSAAT, 2021)

**Agua:**

Es un factor importante en el proceso de fabricación del hormigón, desde la fundición hasta el fraguado. (Fundación MUSAAT, 2021)

### **1.4.2 Ensayos no Destructivos**

Son una evaluación de las propiedades del hormigón sin alterar o cambiar dichas propiedades, de esta forma se puede determinar cualidades del material sin causar daños al elemento. (Hellier, 2003)

#### **1.4.2.1 Ensayo Esclerométrico**

##### **Definición**

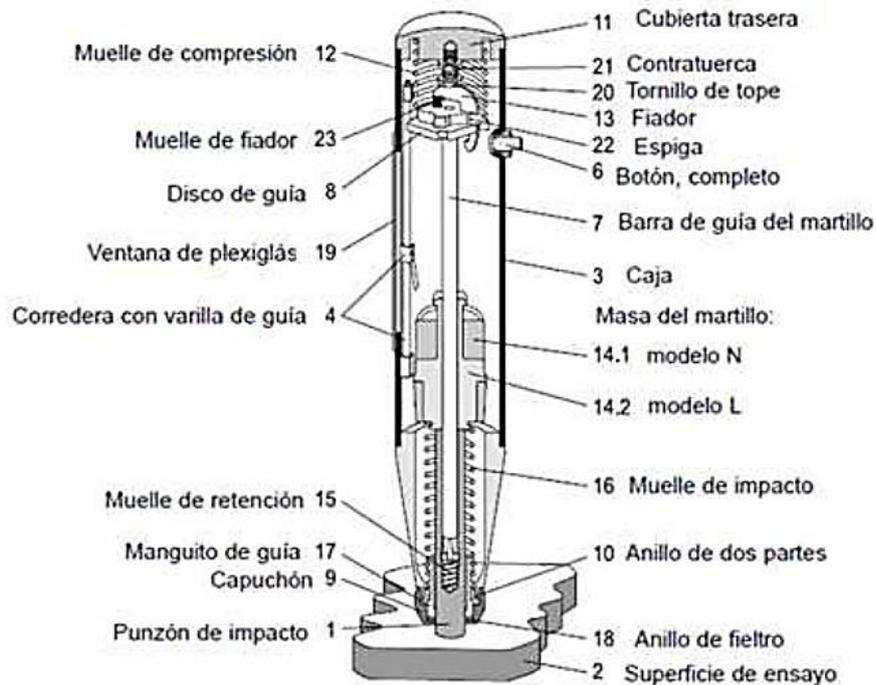
El esclerómetro o también llamado martillo de Schmidt es un aparato que mide la resistencia al rebote del hormigón. Consiste en medir la distancia que un émbolo recorre luego de ser liberado de un resorte de acero en el martillo y golpear la superficie. (ASTM C805/C805M, 2018)

Este ensayo puede proporcionar una idea aproximada sobre la calidad del hormigón, por ende, es posible estimar su resistencia a la compresión a través de la utilización de curvas de calibración que correlacionan el número de rebote y la resistencia  $f'_c$ . (Grupo KB, 2024)

## Verificación

Para verificar el correcto funcionamiento del esclerómetro según la norma ASTM C805-18 se debe hacer una prueba con un yunque de verificación, que es un cilindro de acero de 150 mm de diámetro y 150 mm de altura. El fabricante previamente proporciona un número de rebote que el martillo debe obtener para corroborar su correcto funcionamiento.

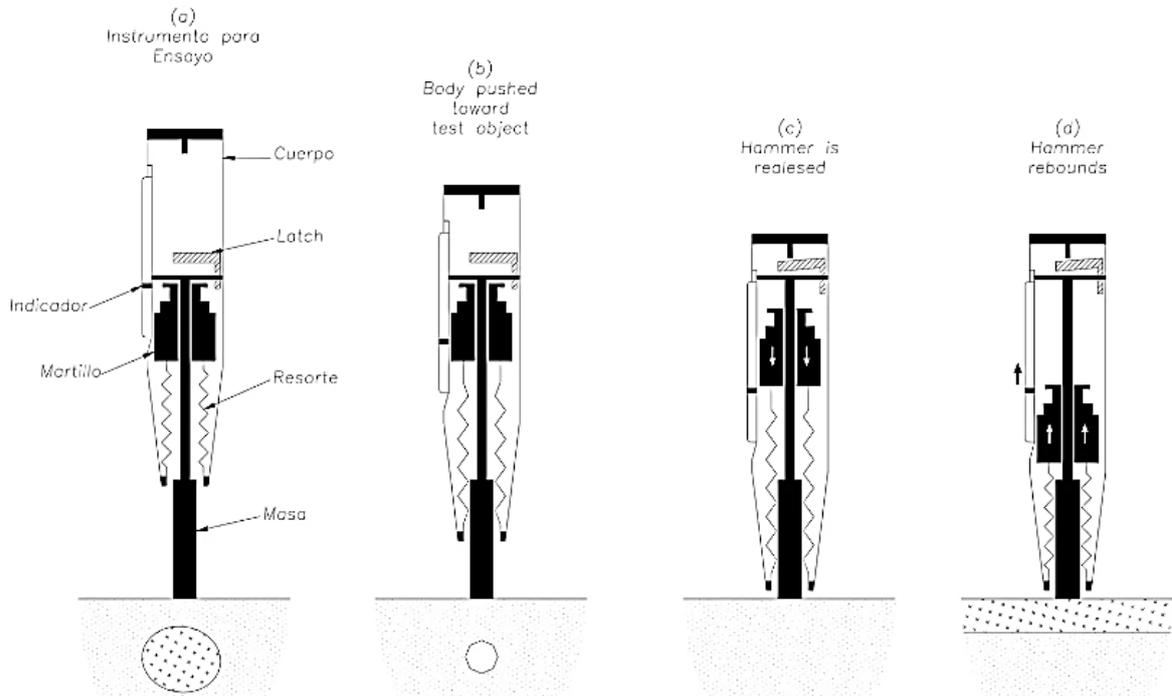
## Esquema



**Figura 1.1** Partes del esclerómetro.

**Fuente:** (Lozano, 2009)

## Funcionamiento



**Figura 1.2** Funcionamiento del esclerómetro.

**Fuente:** (Céspedes, 2003)

### **Factores que pueden afectar el ensayo**

Malhotra (2004) explica los diferentes factores que pueden afectar los resultados obtenidos del ensayo esclerométrico:

- Superficie y acabado del elemento a ensayar

Cuando la superficie del elemento es rugosa o no lo suficientemente uniforme, el número de rebote es menor mientras que en superficies más lisas y uniformes los resultados son mayores. En caso de tener una superficie irregular se debe utilizar una piedra abrasiva para corregirla.

- Tamaño, forma y rigidez

En elementos cuyas secciones son pequeñas se deben mantener apoyados y rígidos para realizar el ensayo sin alterar el número de rebote.

- Edad del hormigón

Para edades tempranas o resistencias menores a 7 MPa no se aconseja usar el martillo de Schmidt, ya que el número de rebote tendrá valores muy bajos y el esclerómetro puede dañar la superficie del elemento.

- Humedad

En hormigones cuyo proceso de curado se ha realizado correctamente y cuya superficie de ensayo está seca el número de rebote es mayor que en el caso de realizarlo en estado húmedo.

- Dirección

El número de rebote variará según la dirección del impacto del ensayo.

- Temperatura

### **Correlación entre índice esclerométrico y resistencia a compresión**

La ASTM C805/805M (2018) menciona que para determinados hormigones y equipos esclerométricos se debe tener una relación entre ellos, es decir, la correlación debe establecerse caso a caso. Y explica que, durante una construcción, dicha relación se identifica realizando ensayos en elementos de prueba moldeados mientras que, en estructuras ya existentes, se realiza una correlación con elementos extraídos.

#### **1.4.2.2 Ensayo de Ultrasonido**

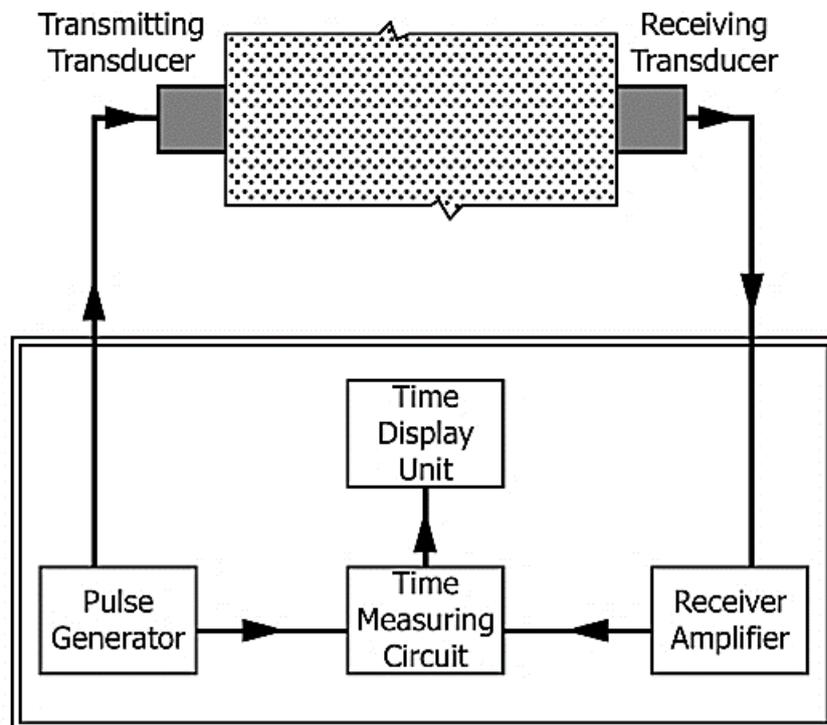
##### **Definición**

Las ondas ultrasónicas son ondas acústicas de alta frecuencia, las cuales son utilizadas en este método de ensayo no destructivo, para determinar la uniformidad y calidad del hormigón y así hallar defectos en el mismo. Se define como la velocidad de desplazamiento de ondas a través del hormigón. (ASTM C597, 2022)

##### **Funcionamiento**

Las ondas de ultrasonido son emitidas por un generador que, una vez que se coloca un transductor emisor y un transductor receptor en los puntos adecuados, el temporizador electrónico lanza una lectura estable sobre la transmisión de onda

que ha sido afectada por el trayecto que ha recorrido a través del elemento. (ASTM C597, 2022)



**Figura 1.3** Esquema del aparato de velocidad de pulso ultrasónico.

**Fuente:** (ASTM C597, 2022)

### **Aplicaciones**

Torrent (2020) menciona que las principales aplicaciones del ensayo de ultrasonido en hormigones son:

- Determinar la uniformidad y calidad del hormigón.
- Determinar la homogeneidad del hormigón.
- Estimar la resistencia  $f'c$  a través de una correlación entre la velocidad de desplazamiento de ondas ultrasónicas y la resistencia.
- Determinar el deterioro y endurecimiento del hormigón.

### **Factores que pueden afectar el ensayo**

Pellicer (2014) explica los diferentes factores que pueden afectar los resultados del ensayo de ultrasonido:

- La rugosidad de la superficie de contacto

No debe existir ningún material o relieve entre la superficie y los transductores y para mejorar el contacto se utiliza un material acoplante en este caso grasa.

- Contenido de humedad del hormigón

Entre mayor humedad presente el hormigón, mayor será la velocidad de propagación.

- Edad del hormigón
- Longitud recorrida

Es recomendable que el recorrido de la onda sea extenso para que la heterogeneidad del hormigón no afecte los resultados del ensayo.

### **1.4.3 Ensayos Destructivos**

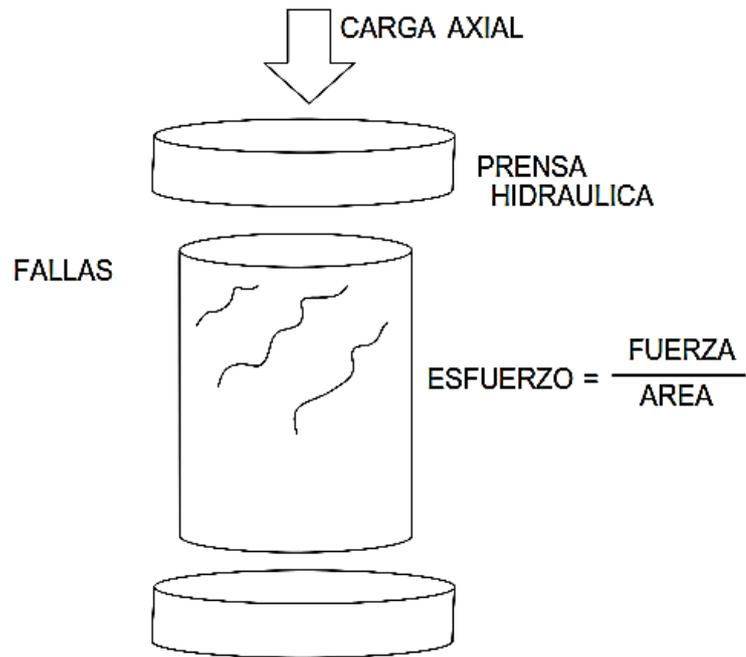
Tomas Vallejo (2016) propone que “los métodos destructivos son aquellos que se encargan de analizar el comportamiento del hormigón, por su capacidad de soportar esfuerzos físicos de una muestra tales como: esfuerzo a compresión y tracción.”

#### **1.4.3.1 Ensayo de Compresión Simple**

##### **Definición**

Este ensayo destructivo se trata de la aplicación de una carga axial a través de una prensa a un cilindro tipo o núcleo de hormigón. Para determinar la resistencia del elemento se divide la máxima carga que alcanzó el elemento hasta el momento de ocurrir la falla sobre el área transversal. (ASTM C39/C39M, 2023)

##### **Esquema**



**Figura 1.4** Representación del ensayo de resistencia a la compresión.

**Fuente:** (Vega, 2022)

### Resultados

Los resultados que se obtienen son la carga máxima que soporta el cilindro que se está ensayando. Además, servirán como un factor de control y verificación del cumplimiento de calidad del hormigón para posteriormente calcular su resistencia  $f_c$ . (ASTM C39/C39M, 2023)

### Factores que pueden afectar el ensayo

La ASTM C39/39M (2023) explica los factores que pueden afectar los resultados del ensayo:

- Moldeado y curado del elemento
- Forma y dimensiones del elemento

La relación diámetro-altura del elemento debe ser 1:2. El diámetro de un cilindro no debe variar más del 2% de su dimensión y la superficie plana de los cilindros no puede variar más del  $0.5^\circ$  de perpendicularidad.

- Rugosidad de la superficie de contacto

Una superficie homogénea y lisa asegura una correcta y uniforme distribución de la carga. En caso de presentar alguna anomalía se utiliza placas de neopreno sobre la superficie caso contrario el elemento se debe cortar.

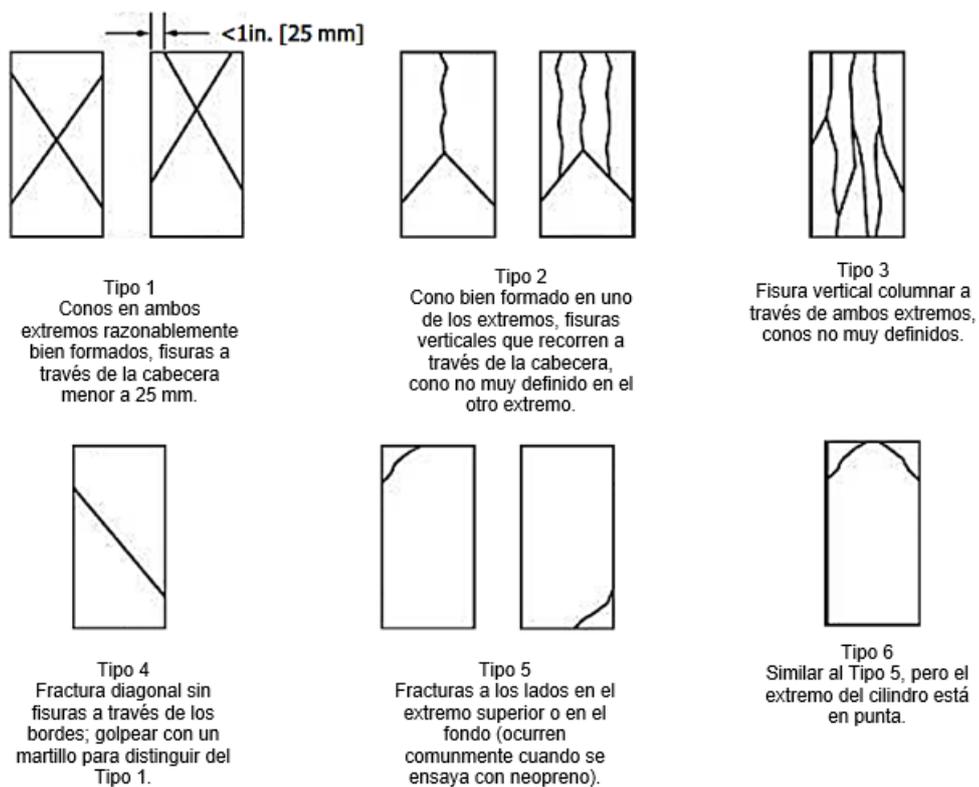
- Aplicación de la carga

La carga debe aplicarse axialmente de manera uniforme.

- Edad del hormigón

Hormigones con mayor edad presentan una carga aplicada máxima más alta.

Así mismo, es importante identificar el tipo de falla que se presenta cuando alcanza la máxima fuerza axial aplicada, esto se hace a partir de los patrones y grietas que el cilindro exhibe. (ASTM C39/C39M, 2023)



**Figura 1.5** Tipo de fallas de cilindros.

**Fuente:** (ASTM C39/C39M, 2023)

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1 Ensayo Esclerométrico**

El procedimiento para este ensayo sigue la norma ASTM C805/805M-18.

#### **2.1.1 Superficie de ensayo**

- La superficie debe tener mínimo 100 mm (4 pulgadas) de espesor y debe estar fija.
- Evitar superficies que presenten alta porosidad, rugosidad o panal de abejas.
- El área de prueba debe tener mínimo 150 mm (6 pulgadas) de diámetro.
- Si la superficie presenta alguna irregularidad o mortero suelto se aplanan con piedra abrasiva y si existe algún recubrimiento se debe retirarlo.
- Para evitar la influencia de la humedad y la carbonatación del hormigón es recomendable humedecer la superficie por 24 horas previas al ensayo.

#### **2.1.2 Procedimiento**

- Con el esclerómetro calibrado, el ensayo se lo puede realizar a 0°, 90° y -90°. En este trabajo, solo estamos tomando los datos del esclerómetro a 0° por lo que la forma correcta de realizar el ensayo es poniendo el aparato perpendicular a la superficie del cilindro para posteriormente empujarlo hasta que el martillo impacte y se pueda observar la medida del número de rebote para luego registrar el dato, es posible que el valor arrojado no sea un número exacto por lo que en estos casos se debe tomar el número entero más cercano como válido. (ASTM C805/C805M, 2018)
- La norma ASTM C805/805M (2018) explica que se deben realizar de 10 a 12 impactos en el área de ensayo, tomando en cuenta que debe existir al menos una distancia de separación de 1 pulgada (25 mm) entre cada golpe para que la zona donde se realiza cada golpe no se repita ni se vea comprometida más de una vez.
- Se debe calcular el promedio de las mediciones realizadas y el valor que se obtiene se denomina el número de rebote que se utiliza para evaluar la

resistencia del hormigón según las tablas de correlaciones que se encuentran en la norma. (ASTM C805/C805M, 2018)



**Figura 2.1** Proceso de ensayo con esclerómetro.

**Elaborado por:** Diego Ruales

### **2.1.3 Cálculos**

Los datos que varíen en más de 6 unidades del promedio se deben eliminar y se recalcula el promedio con los datos que quedaron. En caso de que más de 2 datos se eliminen, se debe realizar todo el ensayo de nuevo en nuevas ubicaciones y descartar todo el conjunto de datos anterior.

## **2.2 Ensayo de Ultrasonido**

El procedimiento que se sigue para este ensayo es de acuerdo a la norma ASTM C597-22.

### **2.2.1 Calibración del equipo**

- Antes de empezar el ensayo siempre se debe comprobar que el equipo esté correctamente calibrado para ello se debe utilizar el cilindro de calibración.
- Se enciende el equipo y se coloca grasa en los transductores para luego realizar la medición en el cilindro de calibración que ya lleva determinado el tiempo de calibración en microsegundos.

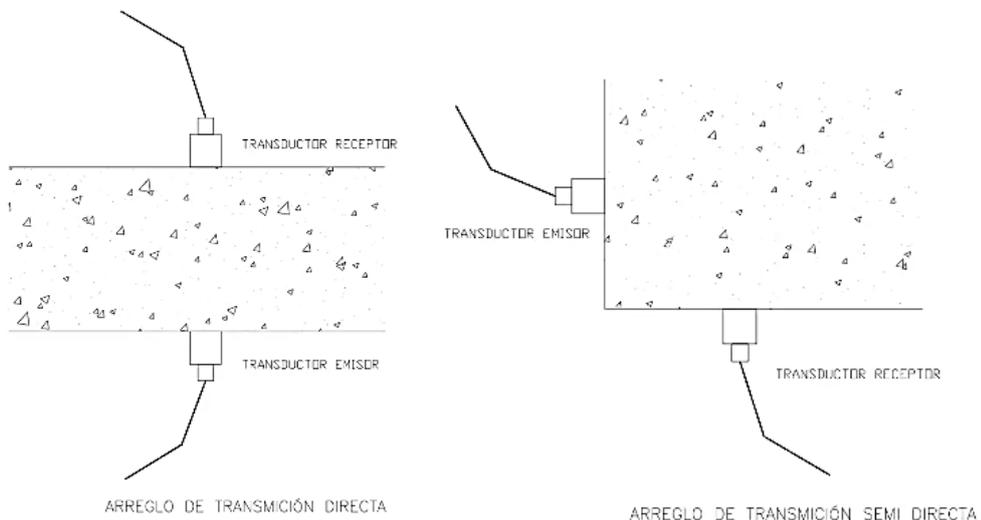
- Cuando se coloca el transmisor y receptor en las superficies opuestas, una vez que el medidor marque el valor especificado, se presiona la tecla “CAL”.
- Una vez que esté calibrado si se mide nuevamente el cilindro de calibración, el medidor marcará 000.0 y esto indicará que el equipo está correctamente calibrado.

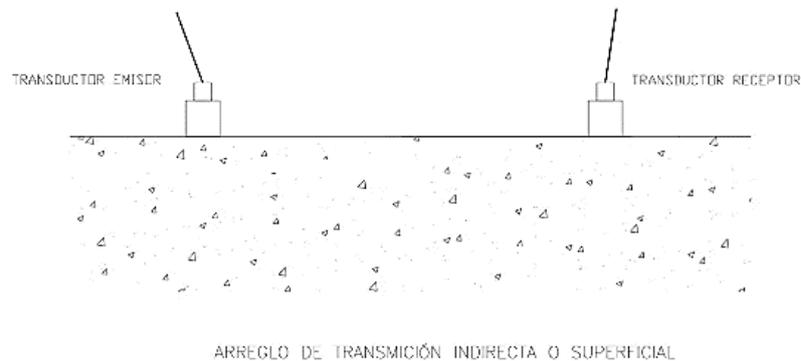
### 2.2.2 Material acoplante

El material acoplante utilizado en el ensayo determinará la precisión de la medición, en caso de tener un acoplamiento incorrecto las medidas del tiempo serán muy variables y se reduce el alcance del equipo. Para este trabajo se utilizó grasa. Si la superficie no es homogénea se puede utilizar grasa más densa, sin embargo, cuando la superficie es demasiado rugosa se debe alisar o pulir. (Céspedes, 2003)

### 2.2.3 Colocación de los transductores

Para realizar el ensayo se lo puede hacer de tres diferentes formas: de manera directa, semidirecta o indirecta. La ASTM C597 (2022) recomienda que, mientras sea posible, se realice el ensayo de manera directa debido a que se tendrán resultados más claros. Para este trabajo se aplicará la manera directa.





**Figura 2.2** Arreglos para la colocación de transductores.

**Fuente:** (Céspedes, 2003)

#### **2.2.4 Procedimiento**

- Una vez verificado el correcto funcionamiento del equipo, se marcan los puntos en la superficie del hormigón donde se realizarán las mediciones.
- Los puntos deben estar distribuidos uniformemente y en lugares representativos de la estructura. Para nuestros cilindros tipo, la ubicación será lo más al centro posible.
- Aplica una capa delgada de material acoplante, en este caso grasa, en la superficie del hormigón en los puntos de contacto de los transductores. Esto asegura una buena transmisión de las ondas ultrasónicas.
- Colocando los transductores en el centro se debe asegurar que estén en una posición firme y aplicando suficiente presión para que el contacto con la superficie sea bueno.
- Para la medición del tiempo de transmisión se registra dos veces el tiempo de ida y vuelta por cada cilindro tipo.



**Figura 2.3** Equipo y verificación.

**Elaborado por:** Diego Ruales



**Figura 2.4** Proceso de ensayo.

**Elaborado por:** Diego Ruales

### **2.2.5 Cálculos**

La velocidad de transmisión del pulso ultrasónico se puede calcular utilizando la definición básica de velocidad:

$$V = \frac{L}{T}$$

**Ecuación 2.1.** Velocidad de pulso ultrasónico

Donde:

V = velocidad de pulso ultrasónico, m/s.

L = distancia entre las caras del transductor, m.

T = tiempo de propagación, s.

A partir de las variaciones de velocidades que se calculan se puede presumir de posibles daños o defectos en el hormigón. Además, la velocidad puede correlacionarse con la resistencia del hormigón utilizando tablas y fórmulas ya establecidas para su desarrollo. (ASTM C597, 2022)

## **2.3 Ensayo de Compresión Simple**

El procedimiento que se sigue para este ensayo es acorde a la norma ASTM C39/C39M-23.

### **2.3.1 Procedimiento**

#### **Consideraciones**

- Una vez retirados los cilindros del lugar de fraguado, se debe realizar el ensayo tan pronto como se considere adecuado hacerlo.
- El ensayo debe realizarse con los cilindros en estado húmedo y, una vez retirados del lugar de almacenamiento, se deben mantener húmedos de cualquier manera que resulte adecuada.

#### **Preparación de los cilindros**

- En cada ensayo realizado se debe indicar la fecha de fundición y la edad de la muestra, en este caso las edades respectivas para cada ensayo son 28, 56 y 90 días.
- Previo a realizar el ensayo se debe medir dos veces el diámetro de cada cilindro, con el promedio de este dato posteriormente se calculará el área de la superficie. Es recomendable que la segunda medición se realice perpendicular a la primera.
- Previo a realizar el ensayo se debe medir tres veces la altura de cada cilindro y hacer un promedio de este dato.
- Previo a realizar el ensayo se debe pesar cada cilindro.
- Una vez que estos datos se tomaron, los cilindros pueden ser ensayados.

## Colocación y ensayo de los cilindros

- Antes de iniciar con el ensayo se debe verificar que la superficie en la prensa y las placas estén limpias, además se usan almohadillas de neopreno para asegurar la distribución uniforme de la carga.
- Debemos asegurarnos de que el cilindro esté en la posición correcta en la prensa. Alineando el centro del cilindro con el centro de la superficie de la prensa.
- Es importante que la carga se aplique de forma constante a una velocidad de 0.05 a 0.25 MPa/s según explica la norma.
- La carga se debe aplicar hasta que el indicador de la muestra disminuya constantemente y los cilindros presenten patrones de fractura definidos e identificables, es decir, hasta que el cilindro llegue a la falla.
- El valor de la carga máxima antes de la falla se debe anotar para cada cilindro ensayado.
- Identificar y anotar el tipo de falla que presenta cada cilindro.
- Por último, se retira el cilindro ensayado y se desecha para ensayar el siguiente y repetir el mismo proceso.



**Figura 2.5** Colocación del cilindro e identificación de tipo de falla.

**Elaborado por:** Diego Ruales



**Figura 2.6** Proceso de ensayo.

**Elaborado por:** Diego Ruales

### 2.3.2 Cálculos

La norma ASTM C39/C39M (2023) indica que se debe utilizar la siguiente fórmula en unidades SI:

$$\sigma = \frac{4000P}{\pi * D^2}$$

**Ecuación 2.2.** Resistencia a la compresión.

Donde:

$\sigma$  = resistencia a la compresión, MPa.

P = carga máxima, kN.

D = diámetro promedio medido, mm.

La norma indica utilizar el valor más exacto de  $\pi$  y si la relación longitud-diámetro es menor o igual a 1.75, se aplica un factor de corrección a la resistencia calculada en la ecuación 2.2.

**Tabla 2.1** Coeficientes de corrección de L/D.

L/D	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor:	0.98	0.96	0.93	0.87

**Fuente:** (ASTM C39/C39M, 2023)

En caso de no encontrar el valor de L/D, se debe interpolar.

El resultado obtenido se compara con el esperado y se verifica que la resistencia del hormigón es la correcta, lo que conlleva a deducir que la dosificación y fundición se realizaron de forma correcta. Además, si se analizan los esquemas de fracturas que presentó cada cilindro es posible obtener información adicional sobre las características del hormigón. (ASTM C39/C39M, 2023)

## **2.4 Granulometría de los agregados**

La distribución granulométrica de los agregados mediante el uso de tamices se describe en la norma ASTM C136/C136M-19. Esta prueba es importante para asegurar que los agregados utilizados en el hormigón cumplan con las especificaciones requeridas.

### **2.4.1 Aparatos**

- Horno
- Tamices
- Balanza
- Cepillo y pala

### **2.4.2 Preparación de la muestra**

- Agregado fino

300 gramos mínimo.

- Agregado grueso

Depende del tamaño máximo nominal.

**Tabla 2.2** Cantidad de muestra.

Tamaño max nominal, mm (pulg.)		Tamaño de muestra, kg (lb)	
9.5	(3/8)	1	(2)
12.5	(1/2)	4	(4)
19	(3/4)	5	(11)
25	(1)	10	(22)
37.5	(1 1/2)	15	(33)
50	(2)	20	(44)
63	(2 1/2)	35	(77)
75	(3)	60	(130)
90	(3 1/2)	100	(220)
100	(4)	150	(330)
125	(5)	300	(660)

Fuente: (ASTM C136/C136M, 2019)

### 2.4.3 Procedimiento

- Secar previamente la muestra en el horno.
- Preparación de los tamices

Seleccione todos los tamices que se utilizarán en el ensayo y verificar que estén limpios antes de empezar el análisis granulométrico para luego apilarlos en orden dependiendo de su abertura.

- Tamizado

La muestra se coloca en el primer tamiz y se debe agitar manualmente o con ayuda de un agitador mecánico hasta que no pase material.

- Peso

La cantidad retenida en cada tamiz se debe pesar.



**Figura 2.7** Preparación de tamices y secado del agregado.

**Elaborado por:** Diego Ruales



**Figura 2.8** Proceso de ensayo.

**Elaborado por:** Diego Ruales

#### **2.4.4 Cálculos**

Calcular el porcentaje de material retenido en cada tamiz con relación a la masa total de la muestra.

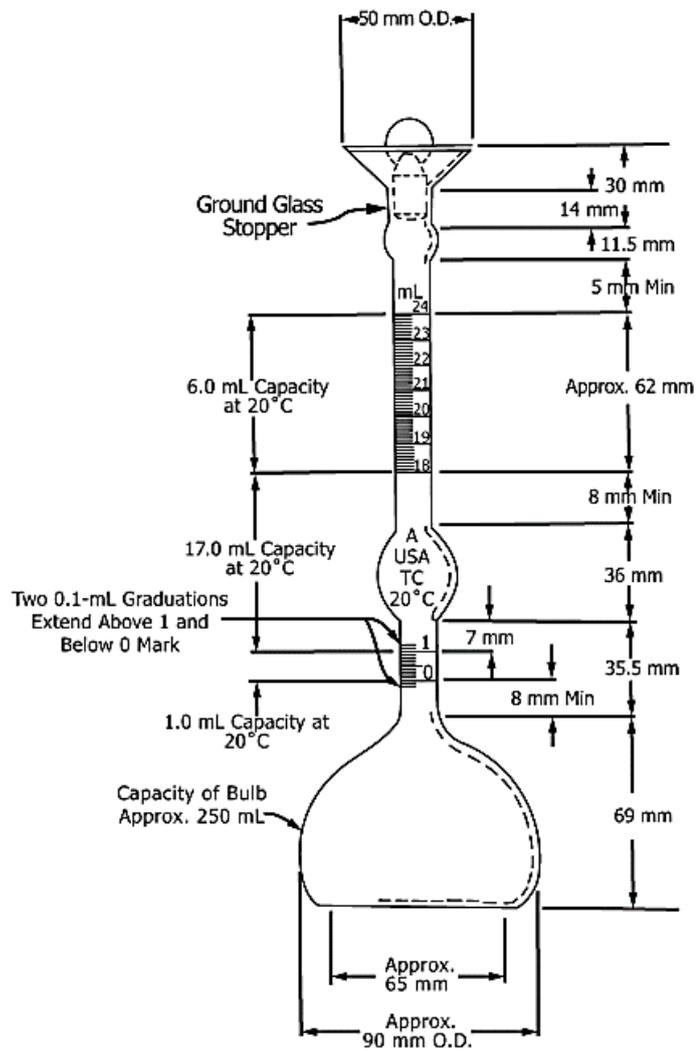
Determinar la distribución granulométrica del agregado a partir de estos porcentajes.

### **2.5 Ensayo para determinar la densidad real del cemento**

El procedimiento de este ensayo sigue la norma ASTM C188-17.

#### **2.5.1 Equipos**

- Matraz Le Chatelier: La figura 2.9, indica el diseño y dimensiones del matraz que se debe utilizar para este ensayo.



**Figura 2.9** Matraz Le Chatelier.

**Fuente:** (ASTM C188, 2017)

- Balanza de precisión.
- Queroseno o nafta: Utilizado como líquido de desplazamiento, no debe reaccionar con el cemento, en este caso se utilizó gasolina.
- Termómetro

### 2.5.2 Procedimiento

#### Preparación del Matraz

- Llenar con gasolina hasta un punto entre las marcas de 0 y 1 ml.

- Pesar el matraz con la gasolina y anotar la masa con una precisión de 0,05 g.
- Se debe registrar la altura de la gasolina en el matraz tras sumergirlo en agua.

### **Adición del Cemento**

- El cemento se va añadiendo poco a poco en el matraz hasta llegar al siguiente punto de graduación.
- Es importante asegurar que el cemento no se adhiera en las paredes del matraz fuera del nivel de la gasolina.
- Pesar nuevamente el matraz con una precisión de 0,05 g y registrar la nueva la masa.
- Para eliminar el aire en el matraz se debe colocar el tapón y girarlo o moverlo suavemente hasta que no haya más burbujas.
- Por último, se debe tomar el dato luego de que se sumergió el matraz en agua nuevamente.

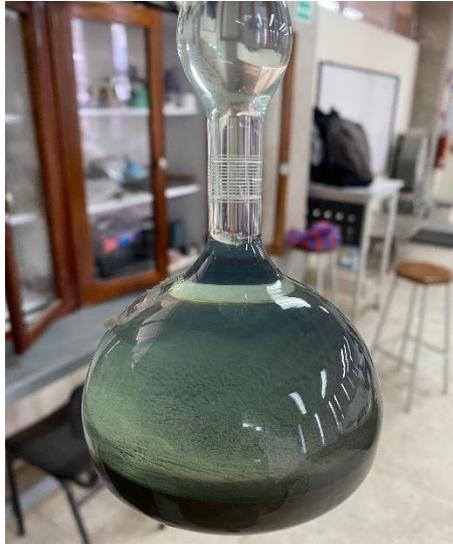
### **Control de Temperatura**

- El agua donde estará el matraz debe estar a una temperatura constante durante el ensayo.



**Figura 2.10** Adición de cemento y control de temperatura.

**Elaborado por:** Diego Ruales



**Figura 2.11** Procedimiento del ensayo.

**Elaborado por:** Diego Ruales

### 2.5.3 Cálculos

El volumen de líquido desplazado por el cemento corresponde a la diferencia entre la primera y la última lectura tomada del matraz.

Masa del cemento utilizado:

$$M_c = M_t - M_a$$

**Ecuación 2.3.** Masa del cemento utilizada.

Donde:

Mc = masa del cemento utilizada, g.

Mt = masa del matraz con gasolina y cemento, g.

Ma = masa del matraz con gasolina hasta la primera graduación, g.

Densidad del cemento:

$$\rho = M_c / V$$

**Ecuación 2.4.** Densidad del cemento.

Donde:

P = densidad del cemento, g/cm<sup>3</sup>.

Mc = masa del cemento utilizado, g.

V = volumen de líquido desplazado, cm<sup>3</sup>.

## **2.6 Ensayo para determinar la densidad relativa y la absorción del agregado fino**

El procedimiento de este ensayo sigue la norma ASTM C128-22.

### **2.6.1 Equipos**

- Balanza
- Picnómetro (se utiliza en el procedimiento gravimétrico)
- Matraz Le Chatelier (se utiliza en el procedimiento volumétrico)
- Termómetro
- Molde y pisón
- Horno

### **2.6.2 Procedimiento**

#### **Preparación de la muestra**

- Colocar la muestra en una bandeja y dejarlo secar en el horno a  $110 \pm 5$  °C.
- Dejar enfriar la muestra para luego llenar con agua y dejar durante  $24 \pm 4$  horas.
- Eliminar el excedente de agua y secar el agregado en una superficie o absorbente
- El ensayo se debe seguir haciendo hasta que la muestra llegue a la condición de superficie seca.
- Para el ensayo de humedad superficial utilizar un recipiente sobre una superficie lisa que no absorba la humedad.
- Llenar con el agregado fino, deje caer un pisón suavemente 25 veces.
- Si el agregado mantiene la forma moldeada, aún hay humedad superficial, caso contrario, un leve asentamiento indica condición SSD.

#### **Procedimiento gravimétrico**

- Inicialmente, llenar el picnómetro con agua
- Agregar  $500 \pm 10$  gramos de agregado fino saturado con superficie seca.
- Llenar el picnómetro con agua hasta llegar al 90% del volumen.
- Eliminar las burbujas de aire (se puede hacer de manera manual, agitando la muestra por 15 a 20 minutos, o mecánica, con ayuda de vibración externa sin que la muestra sea afectada)
- La temperatura del picnómetro debe ser de  $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Medir la masa total de cada componente del ensayo: picnómetro, muestra y agua.
- Sacar la muestra del agregado y secarla en el horno a  $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Enfriar a temperatura ambiente la muestra y medir su masa.
- Medir la masa del picnómetro con agua a  $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Procedimiento por volúmenes

- Llenar el matraz con agua hasta la primera marca entre 0 ml y 1 ml.
- Escribir la primera lectura a  $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Agregar  $55 \pm 5$  gramos de agregado fino saturado con superficie seca.
- Con el tapón colocado, se debe eliminar las burbujas agitando o rotando el matraz.
- A la misma temperatura, se toma la lectura final.

### Absorción

- Se debe utilizar una muestra de  $500 \pm 10$  g de agregado saturado con superficie seca.
- Secar en el horno y medir la masa después del secado.



**Figura 2.12** Preparación y secado del agregado.

**Elaborado por:** Diego Ruales



**Figura 2.13** Procedimiento del ensayo.

**Elaborado por:** Diego Ruales

### 2.6.3 Cálculos

- Densidad relativa (secado al horno)

Procedimiento gravimétrico:

$$OD = A/(B + S - C)$$

**Ecuación 2.5.** Densidad relativa (secado al horno).

Procedimiento volumétrico:

$$OD = (S_1(A/S))/(0.9975(R_2 - R_1))$$

**Ecuación 2.6.** Densidad relativa (secado al horno).

- Densidad relativa (saturado con superficie seca)

Procedimiento gravimétrico:

$$SSD = S/(B + S - C)$$

**Ecuación 2.7.** Densidad relativa (saturado con superficie seca).

Procedimiento volumétrico:

$$SSD = S_1/(0.9975 (R_2 - R_1))$$

**Ecuación 2.8.** Densidad relativa (saturado con superficie seca).

- Densidad relativa aparente

Procedimiento gravimétrico:

$$\text{Densidad relativa aparente} = A/(B + A - C)$$

**Ecuación 2.9.** Densidad relativa aparente.

Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{S_1 (A/S)}{0.9975 (R_2 - R_1) - ((S_1/S)(S - A))}$$

**Ecuación 2.10.** Densidad relativa aparente.

- Absorción

$$\text{Absorción (\%)} = 100 ((S - A)/A)$$

**Ecuación 2.11.** Absorción.

Donde:

A = masa de la muestra seca, g.

B = masa del picnómetro con agua hasta la primera marca, g.

C = masa del picnómetro con el espécimen y agua hasta la primera marca, g.

R1 = lectura inicial del nivel del agua en el matraz Le Chatelier, ml.

R2 = lectura final del agua en el matraz Le Chatelier, ml.

S = masa de la muestra saturada con superficie seca (utilizado en el procedimiento gravimétrico para la densidad y la densidad relativa, o la absorción con ambos procedimientos), g.

S1 = masa del espécimen saturado con superficie seca (utilizado en el procedimiento volumétrico para la densidad y la densidad relativa), g.

## **2.7 Ensayo para determinar la densidad relativa y la absorción del agregado grueso**

El procedimiento es acorde a la norma ASTM C127-22.

### **2.7.1 Equipos**

- Balanza.
- Recipientes de agua.
- Horno.
- Picnómetro o matraz.

### **2.7.2 Procedimiento**

- Se prepara una muestra representativa de 5 kg para el análisis.
- Secado Inicial

En el horno, la muestra se debe secar al punto de que toda la humedad se elimine del agregado.

- Enfriado y Saturación

Dejar enfriar el agregado a temperatura ambiente para después sumergirlo en agua durante un mínimo de 24 horas para que alcance una condición saturada con superficie seca (SSD).

- Eliminación del Exceso de Agua

Se debe eliminar el exceso de agua superficial con ayuda de un trapo o franela húmedo hasta que el agregado esté en condición SSD.

- Determinación de Masa SSD

Para determinar la masa SSD solo se debe pesar la muestra en condición SSD.

- Determinación de Masa en Agua

La muestra se debe colocar en agua y establecer su masa sumergida.

- Secado Final y Determinación de Masa

Por último, la muestra se debe secar de nuevo en el horno hasta que esté totalmente seca.



**Figura 2.14** Peso y secado del agregado.

**Elaborado por:** Diego Ruales



**Figura 2.15** Procedimiento del ensayo.

**Elaborado por:** Diego Ruales

### 2.7.3 Cálculos

- Densidad relativa

$$\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Masa SSD}}{(\text{Masa SSD} - \text{Masa en agua})}$$

**Ecuación 2.12** Densidad relativa del agregado grueso.

- Absorción

$$\text{Absorción (\%)} = \left( \frac{(\text{Masa SSD} - \text{Masa seca})}{\text{Masa seca}} \right) * 100$$

**Ecuación 2.13** % de absorción.

## 2.8 Ensayo para determinar la densidad aparente y el porcentaje de vacíos de los agregados

El procedimiento de este ensayo es acorde a la norma ASTM C29/C29M-23.

### 2.8.1 Aparatos

- Recipientes del tamaño y forma adecuada para el tipo de agregado.
- Balanza
- Varilla de compactación.
- Pala
- Equipo de calibración que incluye una placa de vidrio, agua y un bastidor engrasado.

### 2.8.2 Procedimiento

- Pesar el recipiente vacío y registrar la masa.
- Llenar el recipiente en tres partes uniformes con el agregado, compactando cada una con 25 golpes de la varilla de compactación para agregados gruesos, o golpeando el lado del recipiente con un mazo de goma para agregados finos.
- La superficie del recipiente se debe nivelar y asegurarse de que la parte exterior esté limpia.
- Pesar el recipiente lleno y registrar la masa.



**Figura 2.16** Procedimiento del ensayo.

**Elaborado por:** Diego Ruales

### **2.8.3 Cálculos**

Densidad aparente:

$$M = (G - T)/V$$

$$M = (G - T) * F$$

**Ecuación 2.14** Densidad aparente.

Dónde:

M = densidad aparente de los agregados, kg/m<sup>3</sup>.

G = masa de los agregados con el recipiente, kg.

T = masa del recipiente, kg.

V = volumen del recipiente, m<sup>3</sup>.

F = factor para el recipiente, m<sup>3</sup>.

Porcentaje de vacíos:

$$\% \text{ de vacíos} = \frac{((S * W) - M)}{S * W} * 100$$

**Ecuación 2.15** Porcentaje de vacíos.

Dónde:

M = densidad aparente de los agregados, kg/m<sup>3</sup>.

S = peso específico de los agregados calculados con la norma ASTM C127 y C128.

W = densidad del agua, 998 kg/m<sup>3</sup>.

## **2.9 Ensayo de contenido orgánico del agregado fino**

La norma ASTM C40/C40M (2020) explica el procedimiento para este ensayo.

### **2.9.1 Aparatos y reactivos**

- Matraz graduado con un volumen de 350 ml.

- Reactivo de hidróxido de sodio (NaOH) (solución al 3% de hidróxido de sodio en agua).

### **2.9.2 Preparación de la muestra**

- Tamaño

Usar 250 gramos de agregado fino para realizar la prueba.

- Preparación

Seque el agregado fino a temperatura ambiente antes del ensayo.

### **2.9.3 Procedimiento**

- Preparación de la solución

Llenar el matraz con el agregado fino hasta la marca de 130 ml y luego añadir el reactivo hasta la marca de 200 ml.

- Agitación y Reposo

Con el matraz tapado, se debe agitar durante 1 minuto la muestra y posteriormente dejarlo reposar durante 24 horas.

- Observación

Una vez que pasó el tiempo de reposo, se observa el color de la solución que se forma sobre el agregado.

### **2.9.4 Análisis**

- Coloración

Comparar el color de la solución con el color estándar que se encuentra en la norma. Si la solución tiene un tono más oscuro que el estándar, se interpreta que existe contenido orgánico.



**Figura 2.17** Procedimiento del ensayo.

**Elaborado por:** Diego Ruales

## **2.10 Ensayo de abrasión**

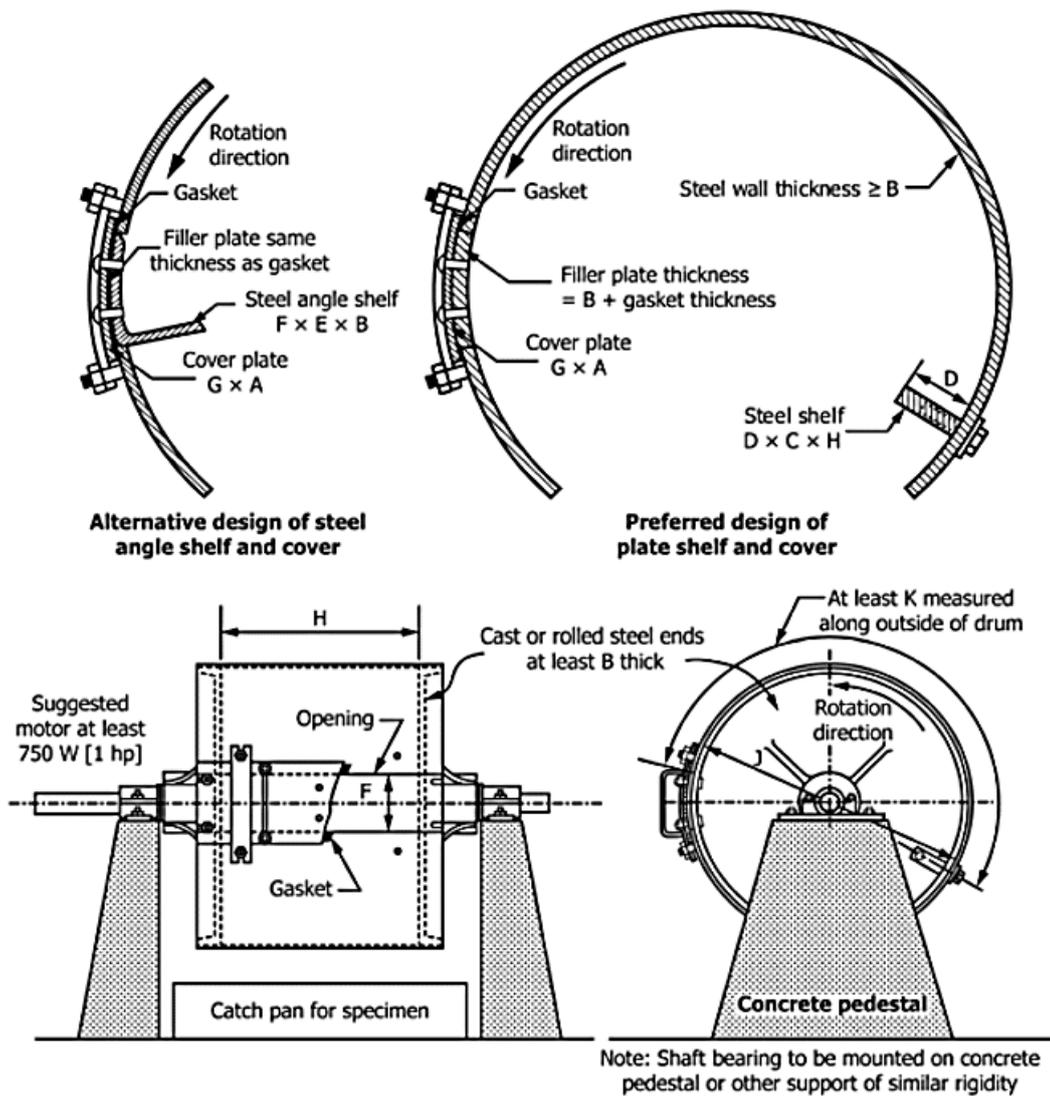
El procedimiento para este ensayo es acorde a la norma ASTM C131/C131M-20.

Este método consiste en colocar en la maquina Los Ángeles una muestra representativa del agregado grueso y un número de bolas de acero que dependerán de la granulometría del agregado. El tambor de la máquina va a girar a una velocidad específica y en un determinado número de revoluciones impactando y aplastando el agregado y de esta forma degradándolo. Al finalizar, la degradación del agregado se determina midiendo la cantidad de material retenido en el tamiz No. 12 durante la prueba.

### **2.10.1 Aparatos**

- Máquina de Los Ángeles.

Un dispositivo mecánico compuesto por un tambor cilíndrico de acero, giratorio y horizontal, utilizado para realizar la prueba de abrasión de agregados. El tambor contiene un número específico de bolas de acero que actúan como medios abrasivos. Durante la prueba, el tambor se hace girar a una velocidad constante, permitiendo que las bolas y los agregados dentro del tambor interactúen, simulando el desgaste que los agregados sufrirían en condiciones de servicio reales. (Neville, 2011)



**Figura 2.18** Máquina de abrasión.

**Fuente:** (ASTM C131/C131M, 2020)

- Tamices (por lo general se utiliza el No. 12).
- Balanza.
- Bolas de acero (utilizadas como agentes de abrasión).

### 2.10.2 Clasificación de la muestra

La norma indica que puede ser grado A, B, C o D según los resultados del ensayo.

### 2.10.3 Procedimiento

- Preparación

Secar la muestra en el horno y enfriar a temperatura ambiente.

- Carga de la Máquina

Colocar la muestra representativa en el tambor junto con la cantidad específica de bolas de acero que se utilizarán para la abrasión.

- Operación de la Máquina

El tambor debe girar a una velocidad de 30-33 revoluciones por minuto.

La máquina debe girar por 500 revoluciones.

- Recolección del Material

Después de terminar el número de revoluciones, retirar la muestra y tamizarla separando el material fino y desgastado con el tamiz No. 12.



**Figura 2.19** Uso de la máquina de Los Ángeles y procedimiento del ensayo.

**Elaborado por:** Diego Ruales

#### **2.10.4 Cálculos**

$$\text{Desgaste}(\%) = \left( \frac{\text{Masa inicial} - \text{Masa retenida en el tamiz No. 12}}{\text{Masa inicial}} \right) * 100$$

**Ecuación 2.16** Porcentaje de desgaste del agregado grueso.

#### **2.11 Dosificación**

El cálculo adecuado de la dosificación del hormigón acorde a las propiedades que demande una obra es el factor decisivo que marcará la armonía entre durabilidad, resistencia y economía, por tanto, se deben considerar las propiedades tanto del cemento como de los agregados. (ACI 211.1, 2022)

### **2.11.1 Propiedades del hormigón**

- Facilidad de colocación

Se refiere a la capacidad de colocación, fijación y maleabilidad del hormigón. El ACI 211.1-22 explica que la trabajabilidad del hormigón puede verse afectada por la calidad del cemento, la cantidad de agregados que se coloque en la mezcla y el tamaño del agregado.

- Consistencia

La consistencia y el revenimiento guardan una estrecha relación, puesto que, este último determinará la consistencia del hormigón, en otras palabras, se medirá la fluidez del hormigón.

- Resistencia

Se usa como parámetro de diseño estructural.

- Relación agua-cemento

La resistencia del hormigón está directamente relacionada con la relación agua-cemento que se utilice en la dosificación de este.

- Durabilidad

Se refiere a la resistencia del hormigón a cualquier acción, ya sea química, ambiental, o cualquier otro factor que pueda afectar su calidad original.

- Densidad

Cantidad de masa del material con respecto al volumen.

- Generación de calor

Mantener la temperatura del hormigón bajo control durante el proceso de curado ayuda a prevenir la formación de grietas y problemas futuros.

### 2.11.2 Datos del Material

La dosificación del hormigón parte de datos obtenidos en los diferentes ensayos de los materiales que se utilizarán.

### 2.11.3 Proporcionamiento del material

El ACI 211.1 (2022) explica la metodología a seguir.

1. Selección del revenimiento

**Tabla 2.3.** Valores de revenimiento.

Tipo de Construcción	Revenimiento	
	Máximo	Mínimo
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	8	2.5
Muros de cimentación y zapatas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

**Fuente:** (ACI 211.1, 2022)

2. Tamaño nominal máximo del agregado

“Los agregados bien graduados de tamaños más grandes tienen menos huecos que los tamaños más pequeños. Por esto, el hormigón con agregados de tamaños mayores requiere menos morteros por volumen unitario de hormigón.” (ACI 211.1, 2022)

3. Cantidad de agua y contenido de aire

**Tabla 2.4.** Cantidad de agua y contenido de aire.

Tamaño max nominal	Agua, Kg. / m <sup>3</sup> de Concreto							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
	10	12.5	20	25	40	50	70	150
Revenimiento, cm	Concreto sin aire incluido							
2.5 a 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 18	243	228	216	202	190	178	160	-----
% aire	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido								
2.5 a 5	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 18	216	205	197	184	174	166	154	-----
Promedio de contenido de aire recomendado								
Exposición ligera	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

**Fuente:** (ACI 211.1, 2022)

#### 4. Relación agua/cemento

**Tabla 2.5.** Valores para diferentes resistencias de relación agua/cemento.

Resistencia a la compresión a 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	Relación Agua/Cemento por peso	
	Sin aire incluido	Con aire incluido
420	0.41	-----
350	0.48	0.4
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

**Fuente:** (ACI 211.1, 2022)

#### 5. Contenido de cemento

Es la relación entre el contenido estimado de agua de mezclado y la relación agua-cemento.

#### 6. Contenido de agregado grueso

**Tabla 2.6.** Relación volumétrica de agregado grueso en el hormigón.

Tamaño máximo del agregado (mm)	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de figura de la arena indicados					
	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4
9.5 (3/8")	0.5	0.48	0.46	0.44	0.42	0.4
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.6	0.58	0.56
25(1")	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61
37.5(1 1/2 ")	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65
50(2")	0.78	0.76	0.74	0.72	0.7	0.68
75(3")	0.82	0.8	0.78	0.76	0.74	0.72
150(6")	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77

**Fuente:** (ACI 211.1, 2022)

#### 7. Contenido de agregado fino

La norma explica que para calcular este apartado se puede utilizar el método del peso o método del volumen absoluto, ambos igualmente válidos.

#### 8. Correcciones por humedad

“Las cantidades de agregado que realmente se deben pesar para el hormigón deben considerar la humedad del agregado. Los agregados están generalmente húmedos y sus pesos secos se deben incrementar con el porcentaje de agua, tanto absorbida como superficial, que contienen. El agua de mezclado que se añade la mezcla propuesta se debe reducir la cantidad iguala a la humedad libre contribuida por el agregado, es decir, humedad total menos absorción.” (ACI 211.1, 2022)

#### 9. Prueba de la mezcla y ajustes.



**Figura 2.20** Preparación de la mezcla.

**Elaborado por:** Diego Ruales



**Figura 2.21** Prueba y verificación de la muestra.

**Elaborado por:** Diego Ruales

## **2.12 Ensayo para determinar el asentamiento del hormigón**

El procedimiento de este ensayo es acorde a la norma ASTM C143/C143M-20.

### **2.12.1 Materiales**

- Cono de Abrams.

Un molde tronco-cónico estándar utilizado en la prueba de asentamiento del hormigón, tiene 200 mm de diámetro como base, una apertura en la parte superior de 100 mm de diámetro y una altura de 300 mm. (Neville, 2011)

- Base rígida y no absorbente.
- Cinta métrica o regla.
- Varilla de compactación.

### **2.12.2 Procedimiento**

- Preparación del Cono de Abrams

El cono debe estar húmedo y sobre una base rígida que no absorba la humedad y se debe sostener firmemente durante todo el ensayo.

- Llenado del Cono

El cono se llenará en 3 capas similares. Cada una compactará con 25 varilladas que se realizarán uniformemente por toda la superficie de la capa de hormigón. Una vez se haya llenado el cono, el excedente que quede en la parte superior se retirará con ayuda de la varilla.

- Retiro del Cono

Es importante que el cono se levante verticalmente y de manera uniforme en un tiempo de  $5 \pm 2$  segundos intentando evitar movimientos durante el proceso.

- Medición del Asentamiento

La disminución en la altura del hormigón con respecto a la altura del cono será el asentamiento de la mezcla y se medirá desde la parte superior original del cono hasta la altura del hormigón desplazado.



**Figura 2.22** Retiro del cono y medición del asentamiento.

**Elaborado por:** Diego Ruales

## **2.13 Elaboración de especímenes de prueba de hormigón**

La norma ASTM C31/C31M (2024) explica el procedimiento para fundir cilindros de hormigón.

### **2.13.1 Aparatos**

- Moldes para cilindros de hormigón de 100 x 200 mm.

- Varilla de compactación.
- Mazo de goma.
- Cuchara o pala para llenar los moldes.

### **2.13.2 Procedimiento**

- Muestreo

Para el muestreo del hormigón se sigue la norma ASTM C172/C172M-17.

- Llenado de Moldes

Se llenan los moldes para cilindros en dos capas y cada una debe ser compactada utilizando la varilla de compactación y el mazo de goma.

- Compactación

Cada capa se compacta con 25 varilladas y de 12 a 15 golpes del mazo de goma.

- Acabado

Una vez que el molde del cilindro esté lleno y compactado se debe asegurar que la superficie este nivelada y lisa utilizando la varilla de compactación.

- Curado

Curado Inicial:

Los especímenes se deben dejar reposar durante  $24 \pm 8$  horas asegurándose de que estén en un ambiente a una temperatura constante y sin que sufran daños.

Curado Posterior:

Después del curado inicial, se curan los especímenes a temperatura y humedad controladas hasta el momento de realizar las pruebas que en nuestro trabajo serán a los 28, 56 y 90 días.



**Figura 2.23** Preparación de los materiales.

**Elaborado por:** Diego Ruales



**Figura 2.24** Fundición.

**Elaborado por:** Diego Ruales



**Figura 2.25** Curado.

**Elaborado por:** Diego Ruales

## 2.14 Correlaciones

Para establecer las correlaciones entre los resultados obtenidos de los ensayos no destructivos (END) de esclerómetro y ultrasonido con la resistencia  $f_c$  de los cilindros ensayados se seguirá la Alternativa 2 de la norma europea EN 13791-07.

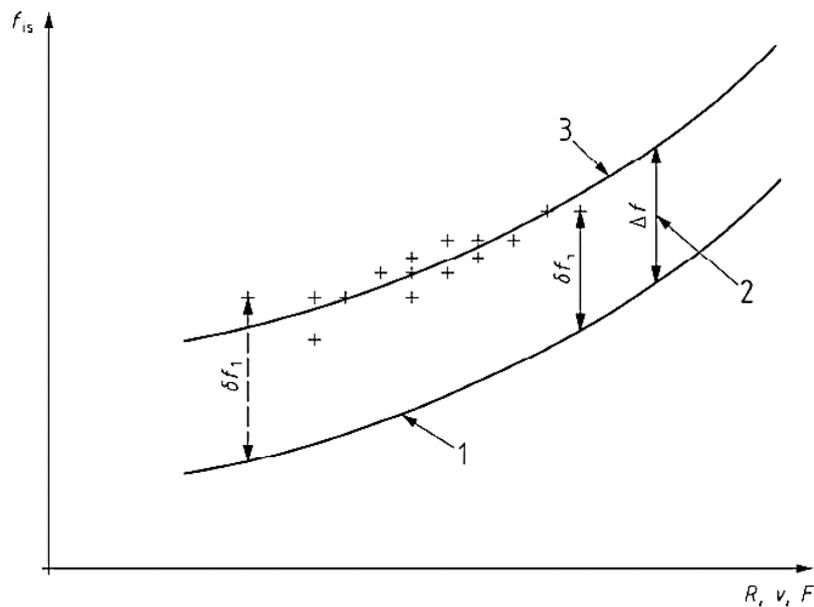
### 2.14.1 Desarrollo de la Curva de Correlación

- Datos de los cilindros ensayados

Organizar los resultados de los ensayos de esclerómetro y ultrasonido y los resultados del ensayo a compresión en una tabla o base de datos que asocie cada cilindro con sus lecturas de cada ensayo.

- Curva Básica

Existen curvas básicas preestablecidas que relacionan los resultados de los END con la resistencia a la compresión.



**Figura 2.26** Curva básica.

**Fuente:** (EN 13791, 2007)

Donde:

1 = Curva básica

$\delta f_{1...n}$  = Diferencia entre la resistencia de testigos individuales y el valor de la resistencia de acuerdo con la relación básica.

2 =  $\Delta f$ , Desplazamiento de la curva básica.

3 = Relación entre el método de ensayo indirecto y la resistencia a compresión in-situ para el hormigón en particular bajo investigación.

R = Índice de rebote.

F = Fuerza de arrancamiento.

v = Velocidad de los impulsos ultrasónicos.

Para la curva del esclerómetro:

$$f_R = 1.25 * R - 23 \quad 20 \leq R \leq 24$$

$$f_R = 1.73 * R - 34.5 \quad 24 \leq R \leq 50$$

**Ecuación 2.17** Curva básica del esclerómetro.

Donde:

$f_R$  = Resistencia en campo, MPa.

R = Número de rebote.

Para la curva del ultrasonido:

$$f_v = 62.5 * v^2 - 497.5 * v + 990 \quad 4 \leq v \leq 4.8$$

**Ecuación 2.18** Curva básica del ultrasonido.

Donde:

$f_v$  = Resistencia en campo, MPa.

v = Velocidad, m/s.

### 2.14.2 Cálculos

Análisis Estadístico

- Cálculo de la diferencia entre la resistencia a la compresión y la resistencia en campo.

$$\delta f = f_{cm} - f_{R,v}$$

**Ecuación 2.19** Diferencia entre la resistencia a la compresión y la resistencia en campo.

- Cálculo del promedio y desviación estándar

Se calcula el promedio y la desviación estándar de los resultados de los ensayos para evaluar la dispersión de los datos.

- Cálculo del valor que la curva se desplaza de la curva básica (deriva)

$$\Delta = \overline{\delta f} - k_1 * s$$

**Ecuación 2.20** Deriva

**Tabla 2.7** Valores para k1.

Número de pares de resultados de pruebas (n)	Coficiente (k1)
9	1.67
10	1.62
11	1.58
12	1.55
13	1.52
14	1.5
≥ 15	1.48

**Fuente:** (EN 13791, 2007)

- Determinación de la resistencia característica in situ

Se toma el menor valor entre:

$$f_{ck} = f_{prom} - 1.48 * s$$

$$f_{ck} = f_{min} + 4$$

**Ecuación 2.20** Resistencia característica in situ.

Donde:

$f_{ck}$  = Resistencia característica in situ

$f_{prom}$  = Promedio de la resistencia a la compresión

$f_{min}$  = Resistencia a la compresión mínima

s = Desviación estándar de  $\delta f$

### 2.14.3 Comparación

- Cumplimiento de los Requisitos de Diseño

Los resultados obtenidos se comparan con los valores especificados originalmente. Si la resistencia medida es igual o superior a los valores de diseño, la estructura se considera adecuada.

### 2.15 Factor crítico T

Se utiliza para determinar si los datos recopilados son estadísticamente significativos o caso contrario, el dato no representa cifras significativas en el análisis y debe ser desechado. Para este caso, se tomó un nivel de significancia del 10% por lo que el valor del factor crítico T es de 2.036 para 10 observaciones, según se muestra en la Tabla 2.8.

**Tabla 2.8** Valores de T para n observaciones.

Number of Observations, <i>n</i>	Upper 10 % Significance Level	Upper 5 % Significance Level	Upper 1 % Significance Level
3	1.1484	1.1531	1.1546
4	1.4250	1.4625	1.4925
5	1.602	1.672	1.749
6	1.729	1.822	1.944
7	1.828	1.938	2.097
8	1.909	2.032	2.221
9	1.977	2.110	2.323
10	2.036	2.176	2.410
11	2.088	2.234	2.485
12	2.134	2.285	2.550
13	2.175	2.331	2.607
14	2.213	2.371	2.659
15	2.247	2.409	2.705
16	2.279	2.443	2.747
17	2.309	2.475	2.785
18	2.335	2.504	2.821
19	2.361	2.532	2.854
20	2.385	2.557	2.884
21	2.408	2.580	2.912
22	2.429	2.603	2.939
23	2.448	2.624	2.963
24	2.467	2.644	2.987
25	2.486	2.663	3.009
26	2.502	2.681	3.029
27	2.519	2.698	3.049
28	2.534	2.714	3.068
29	2.549	2.730	3.085
30	2.563	2.745	3.103
35	2.628	2.811	3.178
40	2.682	2.866	3.240
45	2.727	2.914	3.292
50	2.768	2.956	3.336

**Fuente:** (Agresti, 2018)

La aplicación del factor T crítico se realizó para los resultados de los ensayos esclerométricos, de ultrasonido y de compresión simple. Se evaluó el valor máximo y mínimo y se comparó con el valor T crítico adoptado de la Tabla 2.8.

Para el valor mínimo:

$$T = (\overline{f_{cm}} - f_{cm_n})/s$$

Para el valor máximo:

$$T = (f_{cm_n} - \overline{f_{cm}})/s$$

Si el T calculado es mayor que el T crítico, el valor evaluado se descarta del análisis.

### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Resultados

### 3.1.1 Granulometría

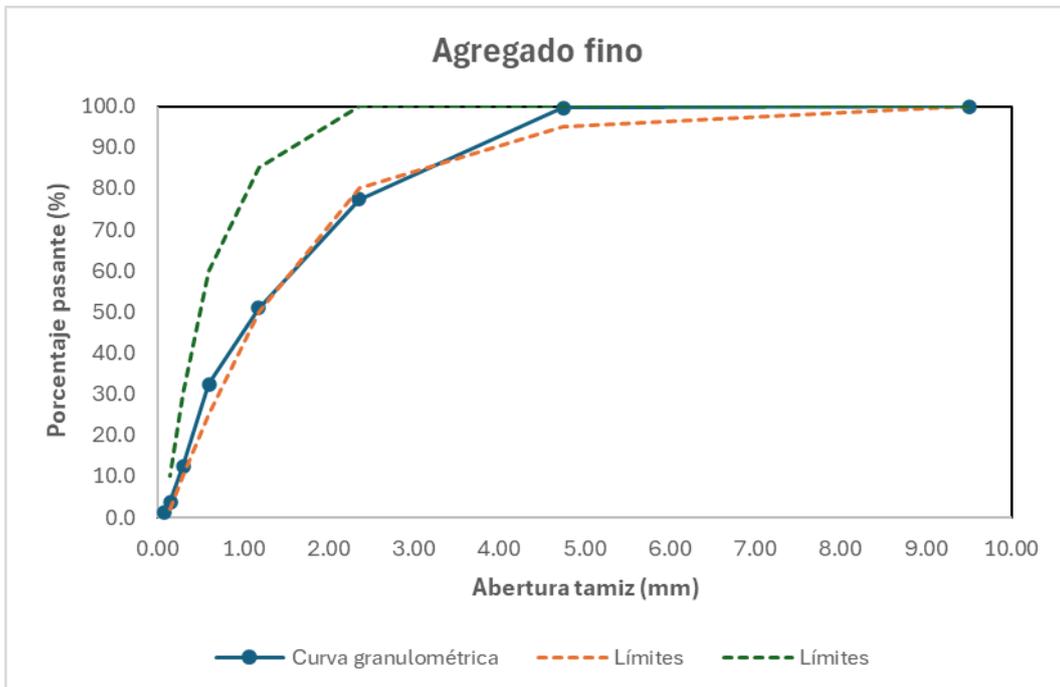
Agregado fino:

**Tabla 3.1** Resultados del ensayo de distribución granulométrica del agregado fino.

Tamiz	Abertura (mm)	Pasa (%)
3/8"	9.50	100.0
# 4	4.75	99.6
# 8	2.36	77.4
# 16	1.18	50.9
# 30	0.60	32.5
# 50	0.30	12.5
# 100	0.15	3.8
# 200	0.08	1.4
Bandeja	-	0.0
<b>Módulo de finura</b>		<b>3.2</b>

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Elaborado por:** Diego Ruales



**Figura 3.1** Curva granulométrica del agregado fino.

Fuente: (LEMSUR, 2024)

Elaborado por: Diego Ruales

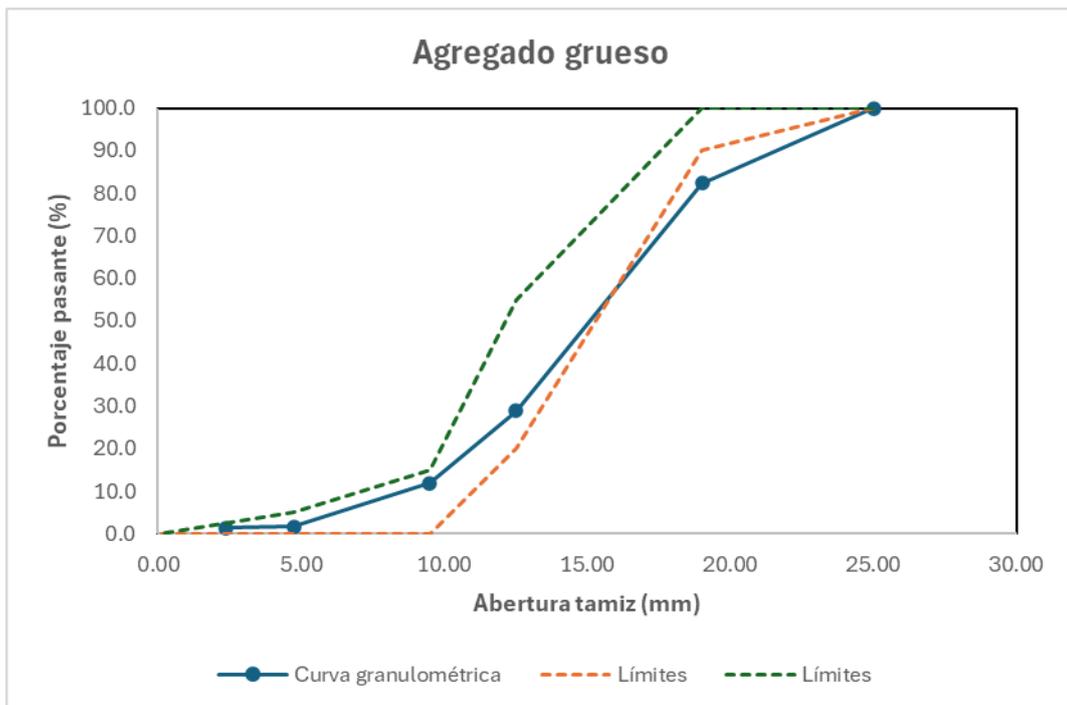
Agregado grueso:

**Tabla 3.2** Resultados del ensayo de distribución granulométrica del agregado grueso.

Tamiz	Abertura (mm)	Pasa (%)
1"	25.00	100.0
3/4"	19.00	82.3
1/2"	12.50	28.9
3/8"	9.50	11.9
# 4	4.75	1.6
# 8	2.36	1.3
Bandeja	-	0.0
<b>Módulo de finura</b>		7.0

Fuente: (LEMSUR, 2024)

Elaborado por: Diego Ruales



**Figura 3.2** Curva granulométrica del agregado grueso.

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Elaborado por:** Diego Ruales

### 3.1.2 Densidad relativa y absorción de los agregados

**Tabla 3.3** Resultados del ensayo de densidad relativa y absorción.

Tipo de agregado	Densidad relativa			Absorción (%)
	Seca	S.S.S	Aparente	
Fino	2.69	2.70	2.73	0.52
Grueso	2.41	2.49	2.61	3.33

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Elaborado por:** Diego Ruales

### 3.1.3 Densidad aparente y porcentaje de vacíos de los agregados

**Tabla 3.4** Resultados del ensayo de densidad aparente y porcentaje de vacíos.

Tipo de agregado	Muestra Suelta		Muestra Compactada	
	Densidad seca (kg/m <sup>3</sup> )	Vacíos (%)	Densidad seca (kg/m <sup>3</sup> )	Vacíos (%)
Grueso	1200	50	1330	45
Fino	1590	41	1730	35

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Elaborado por:** Diego Ruales

### 3.1.4 Contenido orgánico del agregado fino

**Tabla 3.5** Resultados del ensayo de contenido orgánico.



**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Elaborado por:** Diego Ruales

### 3.1.5 Abrasión

**Tabla 3.6** Resultados del ensayo de abrasión.

Tipo de agregado		Grueso
Tamaño máximo nominal (mm)		3/4 "
Gradación		B
# esferas		11
Masa inicial (g)		5001
Masa retenida tamiz #12 (g)	100 rev.	4757
	500 rev.	3856
Degradación (%)	100 rev.	5
	500 rev.	23
Coeficiente de uniformidad		0.22

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Elaborado por:** Diego Ruales

### 3.1.6 Densidad real del cemento

**Tabla 3.7** Resultados del ensayo de densidad real del cemento.

	<b>Inicial</b>	<b>Final</b>
<b>Masa (g)</b>	321.6	375.1
<b>Volumen (cm3)</b>	0.5	18.4
<b>Δ Temperatura (°C)</b>		
0		
<b>Densidad Real (g/cm3)</b>		
2.99		

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Elaborado por:** Diego Ruales

### 3.1.7 Dosificación

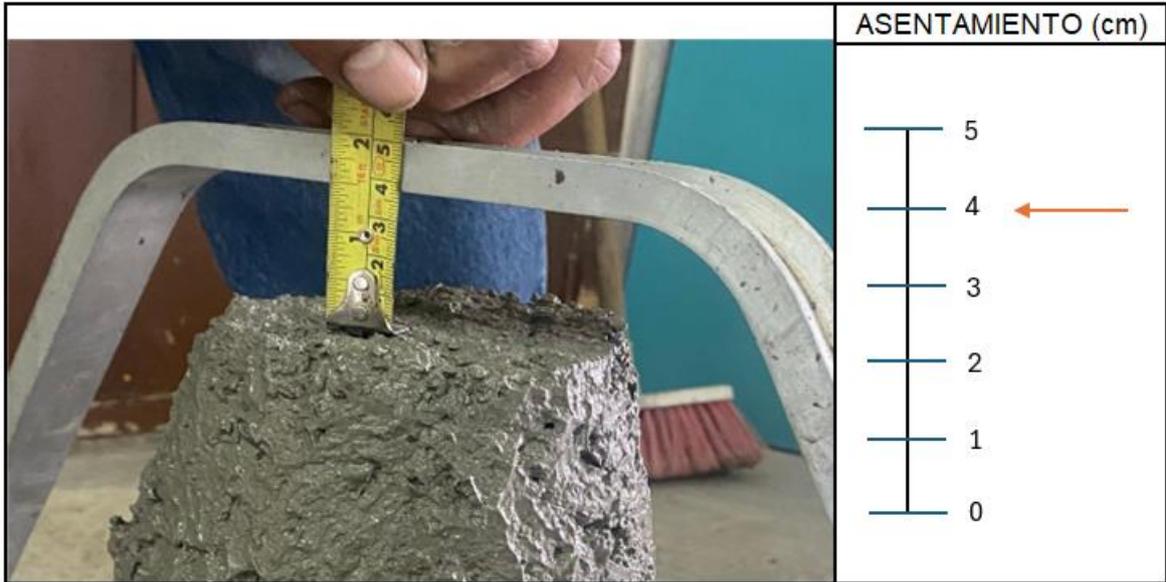
**Tabla 3.8** Resultados de la dosificación para una resistencia de 24 MPa.

<b>DOSIFICACIÓN 24 Mpa</b>				
<b>Material</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>No. Cilindros</b>	<b>Peso Total (kg)</b>	<b>Cantidad en m3</b>
Grava	758.627	<b>35</b>	41.708	0.017
Arena	807.813		44.412	0.017
Cemento	440.816		24.235	0.008
Agua	245.455		13.495	0.013

**Fuente:** (Ruales, 2024)

### 3.1.8 Asentamiento

**Tabla 3.9** Asentamiento del hormigón.



**Elaborado por:** Diego Ruales

### 3.1.9 Ensayo de ultrasonido

**Tabla 3.10** Resultados ultrasonido a 28 días.

Dimensiones de los cilindros (mm)		100*200	
Edad		28 días	
Tipo de transmisión		Directa	
Elemento	Distancia recorrida (cm)	Tiempo (µs)	Velocidad (m/s)
4	20.6	55.2	3740
5	20.5	56.1	3650
6	20.4	57.2	3570
7	20.5	53.9	3800
8	20.4	55.7	3660
9	20.6	60.2	3420
10	20.5	56.1	3660
11	20.4	56.4	3620
12	20.6	54.6	3770
13	20.4	54.6	3730

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Tabla 3.11** Resultados ultrasonido a 56 días.

<b>Dimensiones de los cilindros (mm)</b>		100*200	
<b>Edad</b>		56 días	
<b>Tipo de transmisión</b>		Directa	
<b>Elemento</b>	<b>Distancia recorrida (cm)</b>	<b>Tiempo (μs)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
14	20.4	56.5	3610
15	20.4	55.5	3680
16	20.6	57.3	3600
17	20.5	55.9	3670
18	20.4	55.5	3680
19	20.3	55.8	3640
20	20.9	58.1	3600
21	20.9	58.6	3570
22	21	57.7	3640
23	20.8	56.8	3660

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Tabla 3.12** Resultados ultrasonido a 90 días.

<b>Dimensiones de los cilindros (mm)</b>		100*200	
<b>Edad</b>		90 días	
<b>Tipo de transmisión</b>		Directa	
<b>Elemento</b>	<b>Distancia recorrida (cm)</b>	<b>Tiempo (μs)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
24	20.8	53.5	3890
25	20.7	52.4	3950
26	20.7	52.7	3930
27	20.9	53.7	3900
28	20.8	52.7	3950
29	20.7	52.3	3960
30	20.8	53.2	3910
31	20.7	53.8	3850
32	20.8	54.9	3790
33	20.8	53.6	3880

Fuente: (LEMSUR, 2024)

### 3.1.10 Ensayo esclerométrico

**Tabla 3.13** Resultados esclerómetro a 28 días.

Elemento	Número de rebote	Resistencia ec. esclerómetro (MPa)	Dimensiones de los cilindros (mm)	100*200
4	29	17.9	Edad	28 días
5	27	15.5	Ángulo	0°
6	27	15.5	Acabado	Encofrado
7	25	13.1	<b>Ecuación del equipo:</b> $0.093*(-184+13*R)$	
8	30	19.2		
9	27	15.5		
10	28	16.7		
11	30	19.2		
12	29	17.9		
13	28	16.7		

Fuente: (LEMSUR, 2024)

**Tabla 3.14** Resultados esclerómetro a 56 días.

Elemento	Número de rebote	Resistencia ec. esclerómetro (MPa)	Dimensiones de los cilindros (mm)	100*200
14	34	24.0	Edad	56 días
15	34	24.0	Ángulo	0°
16	33	22.8	Acabado	Encofrado
17	36	26.4	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <b>Ecuación del equipo:</b>  <math>0.093*(-184+13*R)</math> </div>	
18	33	22.8		
19	34	24.0		
20	31	20.4		
21	32	21.6		
22	30	19.2		
23	32	21.6		

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Tabla 3.15** Resultados esclerómetro a 90 días.

Elemento	Número de rebote	Resistencia ec. esclerómetro (MPa)	Dimensiones de los cilindros (mm)	100*200
24	37	27.6	Edad	90 días
25	33	22.8	Ángulo	0°
26	34	24.0	Acabado	Encofrado
27	33	22.8	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content;"> <b>Ecuación del equipo:</b>  <math>0.093*(-184+13*R)</math> </div>	
28	33	22.8		
29	33	22.8		
30	33	22.8		
31	33	22.8		
32	35	25.2		
33	34	24.0		

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

### 3.1.11 Ensayo de compresión simple

**Tabla 3.16** Resultados ensayo de compresión a 28 días.

Fecha		Fundición		27/3/2024	
		Ensayo		24/4/2024	
Edad			28 días		
Elemento	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Tipo de falla	Resistencia f <sub>c</sub> (MPa)
4	102.25	8211	219.1	2	26.7
5	102.5	8252	212.4	2	25.8
6	102.25	8211	214.8	5	26.2
7	102.25	8211	219.5	2	26.7
8	102	8171	224.5	5	27.4
9	102.5	8252	215.3	5	26.2
10	102.5	8252	214.2	2	25.9
11	102.25	8211	211.6	2	25.8
12	102.25	8211	214.2	2	26.1
13	102.25	8211	222.1	4	27

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Tabla 3.17** Resultados ensayo de compresión a 56 días.

Fecha		Fundición		27/3/2024	
		Ensayo		22/5/2024	
Edad			56 días		
Elemento	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Tipo de falla	Resistencia f <sub>c</sub> (MPa)
14	102.75	8292	251.2	2	30.4
15	102.5	8252	255.8	2	31
16	102.75	8292	254.3	5	30.7
17	102.5	8252	260.8	5	31.6
18	102.5	8252	246.8	5	29.8
19	102.5	8252	258.2	5	31.3
20	100.75	7972	237.7	4	29.8
21	100.75	7972	244	5	30.5
22	100.75	7972	240.4	2	30.1
23	101	8012	238.6	2	29.8

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Tabla 3.18** Resultados ensayo de compresión a 90 días.

Fecha		Fundición		27/3/2024	
		Ensayo		25/6/2024	
Edad			90 días		
Elemento	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Tipo de falla	Resistencia f <sub>c</sub> (MPa)
24	101	8012	254.5	2	31.8
25	100.75	7972	272.8	1	34.2
26	101	8012	240.7	2	30.1
27	100.75	7972	266.5	3	33.4
28	100.75	7972	271.8	3	34.1
29	100.75	7972	247.7	5	31
30	101	8012	264.2	5	33
31	101	8012	230.6	5	28.8
32	101	8012	279.4	2	34.9
33	100.75	7972	253.1	1	31.7

Fuente: (LEMSUR, 2024)

### 3.1.12 Correlación

Esclerómetro a 28 días:

**Tabla 3.19** Resultados correlación esclerómetro a 28 días.

28 días				
Elemento	f <sub>cm</sub> (MPa)	Número de rebote	f <sub>R</sub> (MPa)	f <sub>cm</sub> -f <sub>R</sub> (MPa)
4	26,7	24	27,9	-1,2
5	25,8	22	26,4	-0,6
6	26,2	22	26,4	-0,2
7	26,7	20	24,9	1,8
8	27,4	25	28,7	-1,3
10	25,9	22	26,4	-0,5
11	25,8	24	27,9	-2,1
12	26,1	23	27,2	-1,1
13	27	22	26,4	0,6
<b>Promedio de f<sub>cm</sub> - f<sub>R</sub></b>				
-0,52				
<b>Desviación estándar (s) de f<sub>cm</sub> - f<sub>R</sub></b>				
1,1				

Fuente: (LEMSUR, 2024)

Ultrasonido a 28 días:

**Tabla 3.20** Resultados correlación ultrasonido a 28 días.

28 días				
Elemento	fcm (MPa)	Velocidad (m/s)	fv (MPa)	fcm-fv (MPa)
4	26.7	3740	29.5	-2.8
5	25.8	3650	28.6	-2.8
6	26.2	3570	27.8	-1.6
7	26.7	3800	30.1	-3.4
8	27.4	3660	28.7	-1.3
10	25.9	3660	28.7	-2.8
11	25.8	3620	28.3	-2.5
12	26.1	3770	29.8	-3.7
13	27	3730	29.4	-2.4
<b>Promedio de fcm - fv</b>				
-2.60				
<b>Desviación estándar (s) de fcm -fv</b>				
0.8				

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

Esclerómetro a 56 días:

**Tabla 3.21** Resultados correlación esclerómetro a 56 días.

56 días				
Elemento	fcm (MPa)	Número de rebote	fR (MPa)	fcm-fR (MPa)
14	30,4	29	31,6	-1,2
15	31	29	31,6	-0,6
16	30,7	28	30,9	-0,2
17	31,6	31	33,1	-1,5
18	29,8	28	30,9	-1,1
19	31,3	29	31,6	-0,3
20	29,8	26	29,4	0,4
21	30,5	27	30,1	0,4
22	30,1	25	28,7	1,4
23	29,8	27	30,1	-0,3
<b>Promedio de fcm - fR</b>				
-0,31				
<b>Desviación estándar (s) de fcm -fR</b>				
0,9				

Fuente: (LEMSUR, 2024)

Ultrasonido a 56 días:

**Tabla 3.22** Resultados correlación ultrasonido a 56 días.

56 días				
Elemento	fcm (MPa)	Velocidad (m/s)	fv (MPa)	fcm-fv (MPa)
14	30.4	28.5	28.2	2.17
15	31	29.3	28.9	2.09
16	30.7	28.4	28.1	2.56
17	31.6	29.2	28.8	2.79
18	29.8	29.3	28.9	0.89
19	31.3	28.8	28.5	2.78
20	29.8	28.4	28.1	1.66
21	30.5	28.1	27.8	2.66
22	30.1	28.8	28.5	1.58
23	29.8	29.1	28.7	1.08
<b>Promedio de fcm - fv</b>				
2.03				
<b>Desviación estándar (s) de fcm -fv</b>				
0.7				

Fuente: (LEMSUR, 2024)

Esclerómetro a 90 días:

**Tabla 3.23** Resultados correlación esclerómetro a 90 días.

90 días				
Elemento	fcm (MPa)	Número de rebote	fR (MPa)	fcm-fR (MPa)
25	34,2	28	30,9	3,3
26	30,1	29	31,6	-1,5
27	33,4	28	30,9	2,5
28	34,1	28	30,9	3,2
29	31	28	30,9	0,1
30	33	28	30,9	2,1
31	28,8	28	30,9	-2,1
33	31,7	29	31,6	0,1
<b>Promedio de fcm - fR</b>				
0,97				
<b>Desviación estándar (s) de fcm -fR</b>				
2,1				

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

Ultrasonido a 90 días:

**Tabla 3.24** Resultados correlación ultrasonido a 90 días.

90 días				
Elemento	fcm (MPa)	Velocidad (m/s)	fv (MPa)	fcm-fv (MPa)
25	34.2	3950	31.5	2.7
26	30.1	3930	31.3	-1.2
27	33.4	3900	31.0	2.4
28	34.1	3950	31.5	2.6
29	31	3960	31.6	-0.6
30	33	3910	31.1	1.9
31	28.8	3850	30.6	-1.8
33	31.7	3880	30.9	0.8
<b>Promedio de fcm - fv</b>				
0.83				
<b>Desviación estándar (s) de fcm -fv</b>				
1.8				

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

Resumen esclerómetro:

**Tabla 3.25** Resumen resultados correlación esclerómetro.

Elemento	Edad (días)	fcm (MPa)	Rebote, R	fR (MPa)	fcm-fR (MPa)	fR+Δ (MPa)	fR-Δ (MPa)
4	28	26,7	24	27,9	-1,2	25,4	30,4
5	28	25,8	22	26,4	-0,6	23,9	29,0
6	28	26,2	22	26,4	-0,2	23,9	29,0
7	28	26,7	20	24,9	1,8	22,4	27,5
8	28	27,4	25	28,7	-1,3	26,1	31,2
10	28	25,9	22	26,4	-0,5	23,9	29,0
11	28	25,8	24	27,9	-2,1	25,4	30,4
12	28	26,1	23	27,2	-1,1	24,6	29,7
13	28	27,0	22	26,4	0,6	23,9	29,0
14	56	30,4	29	31,6	-1,2	29,1	34,1
15	56	31,0	29	31,6	-0,6	29,1	34,1
16	56	30,7	28	30,9	-0,2	28,4	33,4
17	56	31,6	31	33,1	-1,5	30,6	35,6
18	56	29,8	28	30,9	-1,1	28,4	33,4
19	56	31,3	29	31,6	-0,3	29,1	34,1
20	56	29,8	26	29,4	0,4	26,9	31,9
21	56	30,5	27	30,1	0,4	27,6	32,7
22	56	30,1	25	28,7	1,4	26,1	31,2
23	56	29,8	27	30,1	-0,3	27,6	32,7
25	90	34,2	28	30,9	3,3	28,4	33,4
26	90	30,1	29	31,6	-1,5	29,1	34,1
27	90	33,4	28	30,9	2,5	28,4	33,4
28	90	34,1	28	30,9	3,2	28,4	33,4
29	90	31	28	30,9	0,1	28,4	33,4
30	90	33	28	30,9	2,1	28,4	33,4
31	90	28,8	28	30,9	-2,1	28,4	33,4
33	90	31,7	29	31,6	0,1	29,1	34,1
<b>Ecuación de fR</b>							
$f_R=0.7418R+10,109$							
<b>Promedio de fcm - fR</b>							
0,001							
<b>Desviación estándar (s) de fcm - fR</b>							
1,5							
<b>k1</b>							
1,67							
<b>Deriva, Δ (MPa)</b>							
-2,5							
<b>Promedio de fcm (fprom)</b>							
29,6							
<b>Mínimo de fcm (fmin)</b>							
25,8							
<b>RESISTENCIA CARACTERÍSTICA IN-SITU (MPa)</b>							
<b>fmin + 4</b>				29,8			
<b>fprom - 1,48 * s</b>				27,4			

Fuente: (LEMSUR, 2024)

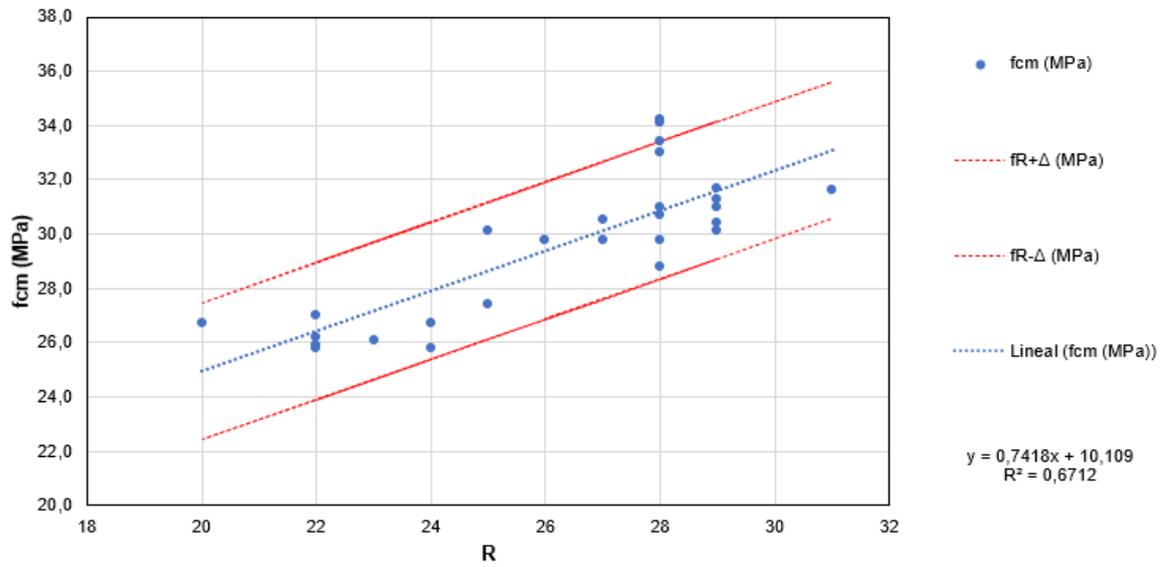


Figura 3.3 Curva general de correlación esclerómetro.

Fuente: (LEMSUR, 2024)

Elaborado por: Diego Ruales

Resumen ultrasonido:

Tabla 3.26 Resumen resultados correlación ultrasonido.

Elemento	Edad (Días)	fcm (MPa)	Velocidad (m/s)	fv (MPa)	fcm-fv (MPa)	fv+Δ (MPa)	fv-Δ (MPa)
4	28	26.7	3740	29.5	-2.8	25.8	33.2
5	28	25.8	3650	28.6	-2.8	24.9	32.3
6	28	26.2	3570	27.8	-1.6	24.1	31.6
7	28	26.7	3800	30.1	-3.4	26.4	33.8
8	28	27.4	3660	28.7	-1.3	25.0	32.4
10	28	25.9	3660	28.7	-2.8	25.0	32.4
11	28	25.8	3620	28.3	-2.5	24.6	32.1
12	28	26.1	3770	29.8	-3.7	26.1	33.5
13	28	27.0	3730	29.4	-2.4	25.7	33.1
14	56	30.4	3610	28.2	2.2	24.5	32.0
15	56	31.0	3680	28.9	2.1	25.2	32.6
16	56	30.7	3600	28.1	2.6	24.4	31.9
17	56	31.6	3670	28.8	2.8	25.1	32.5
18	56	29.8	3680	28.9	0.9	25.2	32.6
19	56	31.3	3640	28.5	2.8	24.8	32.2
20	56	29.8	3600	28.1	1.7	24.4	31.9
21	56	30.5	3570	27.8	2.7	24.1	31.6
22	56	30.1	3640	28.5	1.6	24.8	32.2
23	56	29.8	3660	28.7	1.1	25.0	32.4
25	90	34.2	3950	31.5	2.7	27.8	35.3
26	90	30.1	3930	31.3	-1.2	27.6	35.1
27	90	33.4	3900	31.0	2.4	27.3	34.8
28	90	34.1	3950	31.5	2.6	27.8	35.3
29	90	31	3960	31.6	-0.6	27.9	35.4
30	90	33	3910	31.1	1.9	27.4	34.9
31	90	28.8	3850	30.6	-1.8	26.8	34.3
33	90	31.7	3880	30.9	0.8	27.1	34.6
<b>Ecuación de fv</b>							
$f_v=0.0097v-6.7845$							
<b>Promedio de fcm - fR</b>							
0.1							
<b>Desviación estándar (s) de fcm - fR</b>							
2.3							
<b>k1</b>							
1.67							
<b>Deriva, Δ (MPa)</b>							
-3.7							
<b>Promedio de fcm (f<sub>prom</sub>)</b>							
29.6							
<b>Mínimo de fcm (f<sub>min</sub>)</b>							
25.8							
<b>RESISTENCIA CARACTERÍSTICA IN-SITU (MPa)</b>							
<b>f<sub>min</sub> + 4</b>				29.8			
<b>f<sub>prom</sub> - 1,48 * s</b>				26.2			

Fuente: (LEMSUR, 2024)

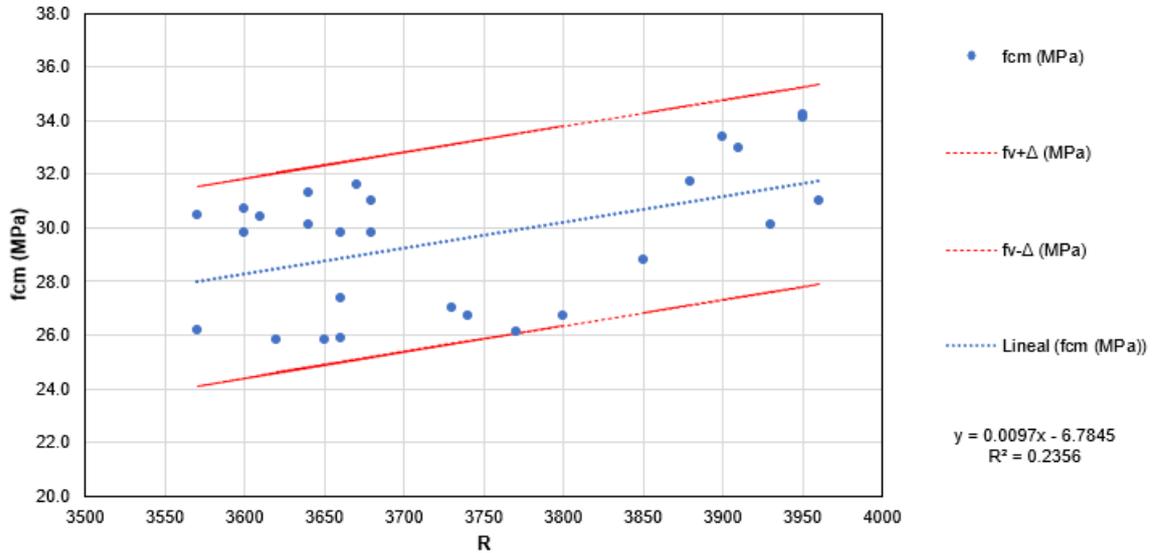


Figura 3.4 Curva general de correlación ultrasonido.

Fuente: (LEMSUR, 2024)

Elaborado por: Diego Ruales

### 3.1.13 Análisis de resultados

Valores promedio, rango y desviación estándar de los resultados de la resistencia calculada con la correlación de cada ensayo a los 28, 56 y 90 días.

Tabla 3.27 Valores estadísticos de los resultados a 28 días.

		Ensayo			
		Compresión	Esclerómetro		Ultrasonido
		Resistencia (MPa)	Rebote	Resistencia con Ec. del equipo (MPa)	Velocidad (m/s)
28 Días	Promedio	26,4	23,0	10,3	3662,0
	Rango	1,6	5,0	6,0	380,0
	Desviación estándar	0,5	1,5	1,8	110,7

Fuente: (LEMSUR, 2024)

Tabla 3.28 Valores estadísticos de los resultados a 56 días.

		Ensayo			
		Compresión	Esclerómetro		Ultrasonido
		Resistencia (MPa)	Rebote	Resistencia con Ec. del equipo (MPa)	Velocidad (m/s)
56 Días	Promedio	30,5	28,0	16,6	3635,0
	Rango	1,8	6,0	7,3	110,0
	Desviación estándar	0,6	1,7	2,1	38,4

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Tabla 3.29** Valores estadísticos de los resultados a 90 días.

		Ensayo			
		Compresión	Esclerómetro		Ultrasonido
		Resistencia (MPa)	Rebote	Resistencia con Ec. del equipo (MPa)	Velocidad (m/s)
90 Días	Promedio	32,3	28,0	17,0	3901,0
	Rango	6,1	1,0	1,2	170,0
	Desviación estándar	2,0	0,5	0,6	52,4

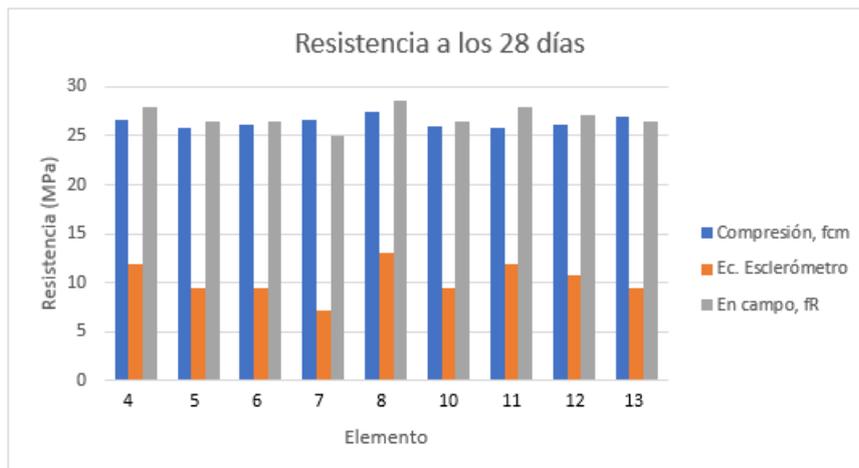
**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

Comparativa de la resistencia a compresión vs la resistencia calculada con la ecuación del esclerómetro vs la resistencia en campo del esclerómetro a los 28, 56 y 90 días.

**Tabla 3.30** Resistencias a 28 días: compresión y esclerómetro.

Elemento	Resistencia (MPa) 28 días		
	Compresión, fcm	Ec. Esclerómetro	En campo, fR
4	26,7	11,9	27,9
5	25,8	9,5	26,4
6	26,2	9,5	26,4
7	26,7	7,1	24,9
8	27,4	13,1	28,7
10	25,9	9,5	26,4
11	25,8	11,9	27,9
12	26,1	10,7	27,2
13	27	9,5	26,4

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)



**Figura 3.5** Resistencias a 28 días: compresión y esclerómetro.

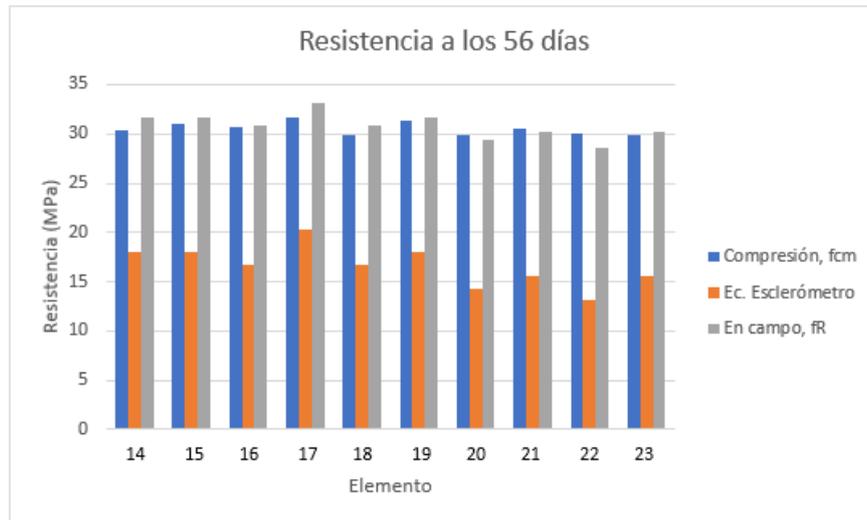
**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Elaborado por:** Diego Ruales

**Tabla 3.31** Resistencias a 56 días: compresión y esclerómetro.

Elemento	Resistencia (MPa) 56 días		
	Compresión, fcm	Ec. Esclerómetro	En campo, fR
14	30,4	17,9	31,6
15	31	17,9	31,6
16	30,7	16,7	30,9
17	31,6	20,4	33,1
18	29,8	16,7	30,9
19	31,3	17,9	31,6
20	29,8	14,3	29,4
21	30,5	15,5	30,1
22	30,1	13,1	28,7
23	29,8	15,5	30,1

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)



**Figura 3.6** Resistencias a 56 días: compresión y esclerómetro.

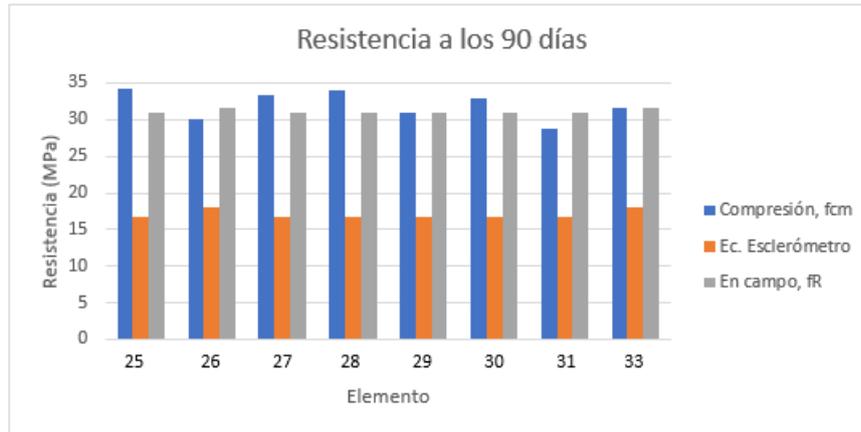
**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Elaborado por:** Diego Ruales

**Tabla 3.32** Resistencias a 90 días: compresión y esclerómetro.

Elemento	Resistencia (MPa) 90 días		
	Compresión, fcm	Ec. Esclerómetro	En campo, fR
25	34,2	16,7	30,9
26	30,1	17,9	31,6
27	33,4	16,7	30,9
28	34,1	16,7	30,9
29	31	16,7	30,9
30	33	16,7	30,9
31	28,8	16,7	30,9
33	31,7	17,9	31,6

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)



**Figura 3.7** Resistencias a 90 días: compresión y esclerómetro.

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

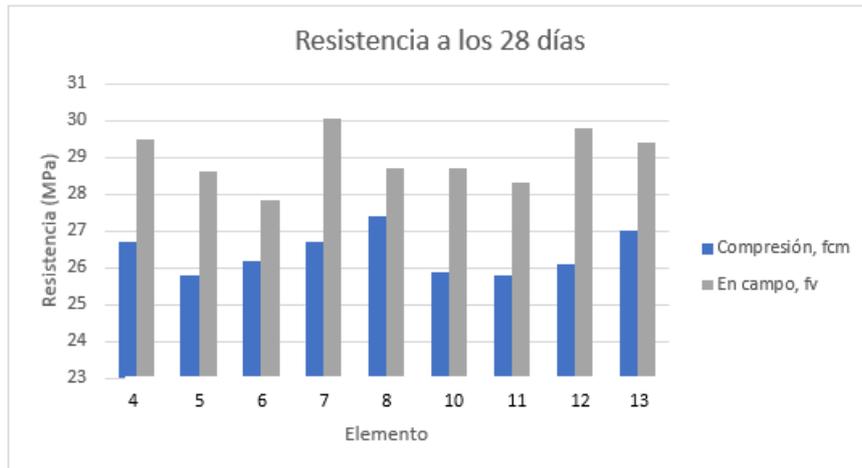
**Elaborado por:** Diego Ruales

Comparativa de la resistencia a compresión vs la resistencia en campo del ultrasonido a los 28, 56 y 90 días.

**Tabla 3.33** Resistencias a 28 días: compresión y ultrasonido.

Elemento	Resistencia (MPa) 28 días	
	Compresión, fcm	En campo, fv
4	26.7	29.5
5	25.8	28.6
6	26.2	27.8
7	26.7	30.1
8	27.4	28.7
10	25.9	28.7
11	25.8	28.3
12	26.1	29.8
13	27	29.4

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)



**Figura 3.8** Resistencias a 28 días: compresión y ultrasonido.

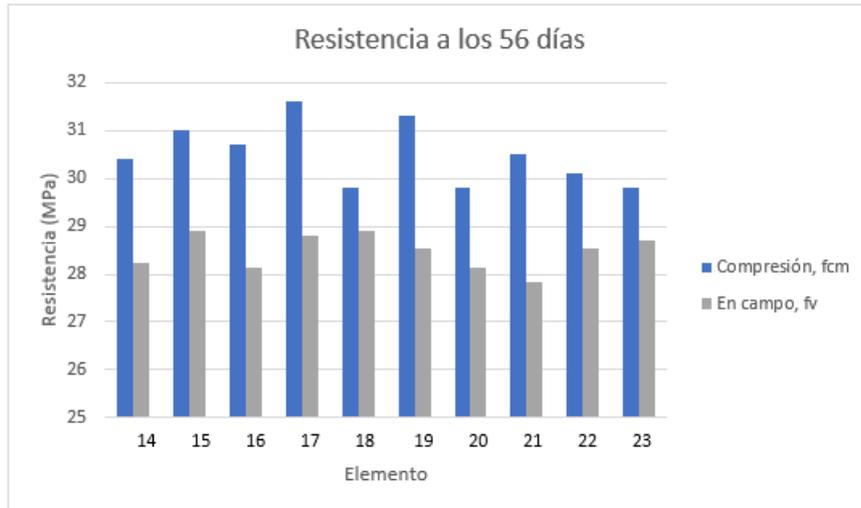
**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Elaborado por:** Diego Ruales

**Tabla 3.34** Resistencias a 56 días: compresión y ultrasonido.

Elemento	Resistencia (MPa) 56 días	
	Compresión, fcm	En campo, fv
14	30.4	28.2
15	31	28.9
16	30.7	28.1
17	31.6	28.8
18	29.8	28.9
19	31.3	28.5
20	29.8	28.1
21	30.5	27.8
22	30.1	28.5
23	29.8	28.7

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)



**Figura 3.9** Resistencias a 56 días: compresión y ultrasonido.

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

**Elaborado por:** Diego Ruales

**Tabla 3.35** Resistencias a 90 días: compresión y ultrasonido.

Elemento	Resistencia (MPa) 90 días	
	Compresión, fcm	En campo, fv
25	34.2	31.5
26	30.1	31.3
27	33.4	31.0
28	34.1	31.5
29	31	31.6
30	33	31.1
31	28.8	30.6
33	31.7	30.9

**Fuente:** (LEMSUR, 2024)

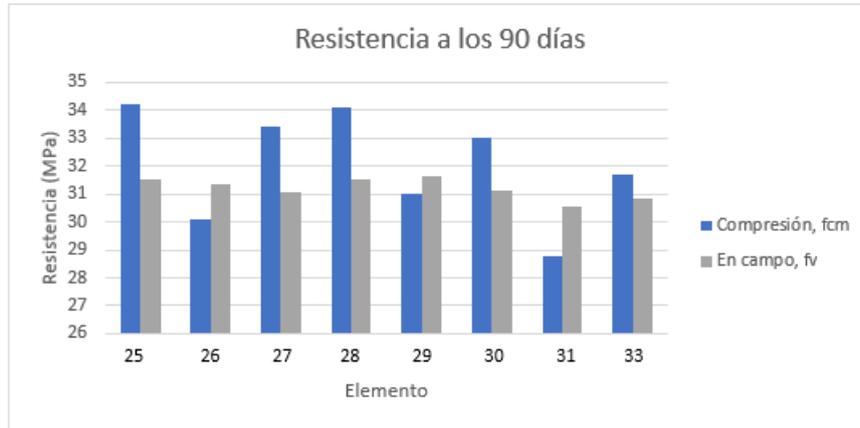


Figura 3.10 Resistencias a 90 días: compresión y ultrasonido.

Fuente: (LEMSUR, 2024)

Elaborado por: Diego Ruales

### 3.1.14 Factor crítico T

Tabla 3.36 Resultados del análisis del factor T.

Elemento	Edad (días)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)	Factor T	Velocidad de pulso sónico (m/s)	Promedio (m/s)	Desviación estándar (m/s)	Factor T	Número de rebote (-)	Promedio (-)	Desviación estándar (-)	Factor T										
4	28	26.7	26.4	0.6		3740	3689	75		24	23	1.5											
5	28	25.8							3650					1,5801	22		0,4444						
6	28	26.2							3570					1,4767	20		1,7778						
7	28	26.7							3800						25		1,5556						
8	28	27.4							1,7408	3660								1,1111					
9	28	26.2								3420					3,5737	21							
10	28	25.9								3660						22							
11	28	25.8							1,0445	3620						24		0,8889					
12	28	26.1								3770						23							
13	28	27.0								3730						22							
14	56	30.4			30.5	0.6				3610			3635	38,4		29	27.9	1.7					
15	56	31.0													3680					1,1728	29		
16	56	30.7													3600						28		
17	56	31.6					1,6973	3670			31				1,7931								
18	56	29.8					1,0801	3680			1,1728	28											
19	56	31.3						3640				29											
20	56	29.8						3600				26											
21	56	30.5						3570			1,6941	27											
22	56	30.1						3640				25				1,6774							
23	56	29.8					1,0801	3660				27											
24	90	31.8	32,3	2.0				3890	3901	52,4		32			28,8	1,3			2,4306				
25	90	34.2					3950						28										
26	90	30.1					3930						29				0,1519						
27	90	33.4					3900						28										
28	90	34.1					3950						28										
29	90	31.0					3960					1,1265	28										
30	90	33.0					3910						28										
31	90	28.8					1,7825	3850					0,9737	28				0,6076					
32	90	34.9					1,3241	3790					2,1193	30									
33	90	31.7						3880						29									

Fuente: (Ruales, 2024)

## 3.2 Conclusiones

- Para el ensayo de rebote, no se tomaron datos a las inclinaciones de  $90^\circ$  y  $-90^\circ$ , debido a un daño en el esclerómetro, razón por la cual en los tiempos previstos no fue posible realizar estas mediciones.
- Con respecto a la resistencia a compresión simple, como se observa en las Tablas 3.27, 3.28 y 3.29, la resistencia promedio que alcanzan los cilindros en el ensayo de compresión a los 28 días es de 26.4 MPa con una desviación estándar de 0.5 MPa, a los 56 días es de 30.5 MPa con una desviación estándar de 0.6 y a los 90 días es de 32.3 con una desviación estándar de 2.0 MPa, por lo que se puede concluir que la dosificación calculada para este trabajo muestra los resultados esperados reflejados en el análisis de las resistencias a las diferentes edades.
- Al comparar los valores de la resistencia a compresión con los valores de la resistencia calculada con la ecuación del equipo esclerométrico a 28, 56 y 90 días existe una tendencia a que los valores de la compresión simple sean mayores. Analizando los valores promedio de ambas resistencias a cada edad, se tiene que la resistencia a compresión es más alta que la resistencia calculada con la ecuación del equipo esclerométrico para las edades de 28, 56 y 90 días respectivamente. Esta tendencia se puede observar en la distribución de las gráficas que se muestran en las Figuras 3.5, 3.6 y 3.7.
- A los 28 días, la desviación estándar ( $s$ ) de la diferencia entre la resistencia a la compresión ( $f_{cm}$ ) y la resistencia inicial en campo calibrada del esclerómetro ( $f_R$ ) y del ultrasonido ( $f_v$ ) es de 1.1 MPa y 0.8 MPa respectivamente, lo que muestra que la variabilidad entre ambas resistencias es baja a esta edad como se muestra en las Tablas 3.19 y 3.20.
- A los 56 días, la desviación estándar ( $s$ ) de la diferencia entre la resistencia a la compresión ( $f_{cm}$ ) y la resistencia inicial en campo calibrada del esclerómetro ( $f_R$ ) y del ultrasonido ( $f_v$ ) es de 0.9 MPa y 0.7 MPa respectivamente, lo que muestra que la variabilidad entre ambas resistencias es muy baja a esta edad como se muestra en las Tablas 3.21 y 3.22.

- A los 90 días, la desviación estándar ( $s$ ) de la diferencia entre la resistencia a la compresión ( $f_{cm}$ ) y la resistencia inicial en campo calibrada del esclerómetro ( $f_R$ ) y del ultrasonido ( $f_v$ ) es de 2.1 MPa y 1.8 MPa respectivamente, lo que muestra que la variabilidad entre ambas resistencias es baja a esta edad como se muestra en las Tablas 3.23 y 3.24.
- A los 28, 56 y 90 días se observa una tendencia clara. Los valores de la resistencia a compresión simple y la resistencia en campo medida por rebote son muy similares, lo que se corrobora con los índices de correlación. En el caso del esclerómetro, el índice es de 0.67, indicando una correlación con un ajuste relativamente alto. Sin embargo, la resistencia en campo calculada por ultrasonido muestra mayor variabilidad, posiblemente debido al contenido de humedad de los cilindros o la formación de silicato de calcio en su estructura interna, factores críticos que afectan la velocidad de la onda y, por ende, la resistencia en campo calculada. Esto se refleja en un índice de correlación de 0.24, indicando un bajo ajuste. No obstante, en términos generales, los valores de  $f_{cm}$ ,  $f_R$  y  $f_v$  son muy similares, como se puede apreciar en la distribución de las gráficas mostradas en las Figuras 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 y 3.10.
- Al calcular la correlación de todos los resultados a las tres edades, la desviación estándar ( $s$ ) de la diferencia entre la resistencia a la compresión ( $f_{cm}$ ) y la resistencia inicial en campo calibrada del esclerómetro ( $f_R$ ) es de 1.5 MPa, lo que muestra que la variabilidad entre ambas resistencias es baja. Esto quiere decir que la ecuación hallada en la curva de correlación ( $f_R=0.7418R+10.109$ ) que se muestra en la Figura 3.3, ajusta adecuadamente la estimación de la resistencia a compresión a partir del ensayo esclerométrico.
- Al calcular la correlación de todos los resultados a las tres edades, la desviación estándar ( $s$ ) de la diferencia entre la resistencia a la compresión ( $f_{cm}$ ) y la resistencia inicial en campo calibrada del ultrasonido ( $f_v$ ) es de 2.3 MPa, lo que muestra que la variabilidad entre ambas resistencias es baja. Esto quiere decir que, a pesar de presentar un índice de correlación bajo, la ecuación hallada en la curva de correlación ( $f_v=0.0097v-6.7845$ ) que se

muestra en la Figura 3.4, se acerca bastante a la estimación de la resistencia a compresión a partir del ensayo de ultrasonido.

- A partir de los resultados obtenidos y comparando los valores de " $f_{min} + 4$ " y " $f_{prom} - 1.48 * s$ ", la resistencia característica in situ del hormigón del ensayo esclerométrico es 27.7 MPa. Comparándolo con el valor promedio de la resistencia a la compresión ( $f_{cm}$ ) que es 29.6 MPa, se puede notar que este es mayor y por ende el hormigón cumple con el valor mínimo de resistencia. (Tabla 3.25).
- A partir de los resultados obtenidos y comparando los valores de " $f_{min} + 4$ " y " $f_{prom} - 1.48 * s$ ", la resistencia característica in situ del hormigón del ensayo de ultrasonido es 26.2 MPa. Comparándolo con el valor promedio de la resistencia a la compresión ( $f_{cm}$ ) que es 29.6 MPa, se puede notar que este es mayor y por ende el hormigón cumple con el valor mínimo de resistencia (Tabla 3.26).
- No confiar únicamente en los ensayos no destructivos para evaluar la resistencia del hormigón; siempre se deben realizar ensayos de compresión simple en núcleos extraídos. Los resultados de los ensayos no destructivos pueden variar significativamente, mientras que los ensayos de compresión simple ofrecen una evaluación más precisa de la resistencia del hormigón. La combinación de ambos tipos de ensayos permite obtener un análisis más completo y confiable de la estructura. Mientras los ensayos no destructivos proporcionan una visión rápida y no invasiva del estado del hormigón, los ensayos destructivos validan estos resultados y aseguran que la evaluación sea representativa de la verdadera resistencia del hormigón, lo que es crucial para garantizar su seguridad y durabilidad a largo plazo.

### **3.3 Recomendaciones**

- La optimización y gestión del tiempo es un factor importante por ende es recomendable definir un cronograma detallado para la realización de todos los ensayos. De esta forma se asegura que todas las actividades se realicen en los plazos establecidos sin que los resultados y la calidad de los datos se vean afectados.

- Tomar en cuenta la gestión eficiente del material que se utiliza en los ensayos y la fundición de los cilindros para reducir los desperdicios utilizando las dosificaciones y proporciones correctas y verificar que las condiciones de almacenamiento sean óptimas para evitar daños y deterioro del material y de esta forma asegurar que no influya en los resultados de los ensayos.
- Verificar que todos los equipos utilizados estén correctamente calibrados previo a realizar los ensayos respectivos.
- Seguir los parámetros y procedimientos establecidos en la normativa específica para cada ensayo para prevenir resultados incongruentes.
- Es importante llevar un registro de datos organizado y de fácil acceso para gestionar correctamente la información y su utilización.
- Implementar el uso de los dos tipos de ensayo para evaluar la resistencia del hormigón, por un lado, el ensayo esclerométrico y de ultrasonido para hallar posibles áreas problemáticas y el ensayo de compresión simple para verificar con un valor preciso la resistencia.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI 211.1. (2022). *Selecting proportions for normal-density and high density-concrete—Guide.*

ASTM C29/C29M. (2023). *Standard test method for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate.*

ASTM C31/C31M. (2024). *Standard practice for casting and curing concrete test specimens in the field.*

ASTM C40/C40M. (2020). *Standard test method for organic impurities in fine aggregates for concrete.*

ASTM C128. (2022). *Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate.*

ASTM C127. (2022). *Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate.*

ASTM C136/C136M. (2019). *Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates.*

ASTM C188. (2017). *Standard test method for density of hydraulic cement.*

ASTM C131/C131M. (2020). *Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine.*

ASTM C143/C143M. (2020). *Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete.*

ASTM C39/C39M. (2023). *Método de prueba estándar para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón.*

ASTM C597. (2022). *Standard test method for ultrasonic pulse velocity through concrete.*

ASTM C805/C805M. (2018). *Standard test method for rebound number of hardened concrete.*

Charles Hellier. (2003). *Handbook of nondestructive evaluation.* McGraw-Hill.

Cemex. (2019). *¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?*

<https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->

Céspedes, M. (2003). *RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO A PARTIR DE LA VELOCIDAD DE PULSOS DE ULTRASONIDO.*

[http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1\\_153\\_164\\_104\\_14](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_153_164_104_14)

European Committee for Standardization. (2007). *EN 13791:2007: Assessment of in-situ compressive strength of concrete.*

Fundación MUSSAAT. (2021). *Propiedades y rendimiento de las mezclas de hormigón: Un análisis integral.* Fundación MUSSAAT.

<https://www.fundacionmusaat.org/articulos/mezcla-hormigon2021>

Grupo KB. (2024). *Guía práctica para llevar a cabo la prueba de esclerometría con esclerómetro Original Schmidt OS8000.*

<https://www.grupokb.com.mx/equipos/blog-pnd/producto/227-guia-practica-esclerometria>

Liniers, A. D. (1982). *Determinación de la resistencia del hormigón mediante ensayos no destructivos realizados con esclerómetro y ultrasonidos.*

Informes de la Construcción, 33(338), Article 338.

<https://doi.org/10.3989/ic.1982.v33.i338.2141>

Lozano, A. (2009). *Martillo Schmidt (esclerómetro)*.

Malhotra, V. M., & Carino, N. J. (Eds.). (2004). *Handbook on nondestructive testing of concrete*.

Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2011). *Concrete technology*. Pearson Education.

Pellicer Llopis, V. (2013). *Ensayos no destructivos en hormigón. Georradar y ultrasonidos*.

Vega, S. A. D. L. C., Tovar, L. A. L. B. D., Flores, C. M. M., & Oyola, J. A. G. (2022). *Resistencia a compresión simple del concreto con yeso y residuos de conchas de abanico*. *Revista Boliviana de Química*, 39(1), 1–9.

## 5 ANEXOS

## **ANEXO I. ENSAYO DE ABRASIÓN.**



## ENSAYO DE ABRASIÓN

Código de Informe: ABR-24-004-I

Hoja 01 de 01

Fecha de informe : 2024-05-09

### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Ofic

Teléfono: 2976300 ext. 1609

### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

TIPO DE MUESTRA: Agregado grueso

PROCEDENCIA: Holcim

FECHA DE ENSAYO: 2024-04-16

NORMA: ASTM C131

RESULTADOS DEL ENSAYO	
Código interno:	006-I-H-01-d
Identificación de muestra:	Agregado grueso
Tamaño máximo nominal (mm):	3/4"
Gradación:	B
Número de esferas:	11
Masa inicial (g):	5001
Masa retenida en el tamiz #12 Luego de 100 revoluciones (g):	4757
Masa retenida en el tamiz #12 Luego de 500 revoluciones (g):	3856
Pérdida por abrasión e impacto (%) (100 revoluciones):	5
Pérdida por abrasión e impacto (%) (500 revoluciones):	23
Coefficiente de uniformidad	0,22

### Observaciones:

La información proporcionada por el cliente, tal como, tipo de muestra, procedencia e identificación, involucra su total responsabilidad.

Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.

El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

  
Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

## **ANEXO II. CONTENIDO ORGÁNICO.**



### CONTENIDO ORGÁNICO

Código de Informe: CO-24-011-I

Hoja 01 de 01

Fecha de informe : 2024-05-09

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Diego Esteban Ruales Quelal

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15.

Teléfono: 2976300 ext. 1609

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

PROCEDENCIA: Holcim

TIPO DE MUESTRA: Agregado fino

CÓDIGO INTERNO: 006-I-H-02-d

IDENTIFICACIÓN: Agregado fino

FECHA DE ENSAYO: 2024-01-05

NORMA: ASTM C40



**Observaciones:** La información proporcionada por el cliente, tal como, procedencia, tipo de muestra e identificación, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

x Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

## **ANEXO III. DENSIDAD REAL DEL CEMENTO.**



### DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

Código de Informe: DCH-24-007-I-A  
Fecha de informe: 2024-05-22

Hoja 01 de 01

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
NORMA: ASTM C188  
FECHA DE ENSAYO: 2024-01-18

CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA			
Identificación	Marca	Tipo de Cemento	Fecha de fabricación
Cemento TIC Hormigón	Holcim	GU	***

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO						
Código Interno	Volumen inicial (cm <sup>3</sup> )	Masa inicial (g)	Volumen final (cm <sup>3</sup> )	Masa final (g)	Δ Temperatura (°C)	Densidad Real (g/cm <sup>3</sup> )
006-I-H-03	0,5	321,6	18,4	375,1	0,0	2,99
Promedio						2,99

**Observaciones:** El presente documento reemplaza al informe DCH-24-007-I, debido a cambios en la marca y tipo de cemento utilizado. La información proporcionada por el cliente, tal como, marca, tipo de cemento y fecha de fabricación, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

  
Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

## **ANEXO IV. DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS.**



### DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS

Código de Informe: DA-24-011-I  
Fecha de informe : 2024-05-09

Hoja 01 de 01

#### DATOS DEL CLIENTE

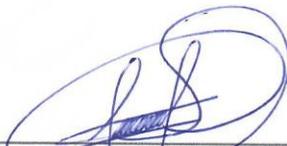
Razón Social: Diego Esteban Ruales Quelal  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15.  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
PROCEDENCIA: Holcim  
TIPO DE MUESTRA: Agregado grueso y fino  
EJECUTA: JM  
FECHA DE ENSAYO: 2024-01-04  
NORMA: ASTM C29 / INEN 858

DENSIDAD APARENTE DE AGREGADOS					
Código interno	Identificación	Muestra Suelta		Muestra Compactada	
		Densidad seca (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de vacíos (%)	Densidad seca (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de vacíos (%)
006-I-H-01-c	Agregado grueso	1200	50	1330	45
006-I-H-02-c	Agregado fino	1590	41	1730	35

**Observaciones:** La información proporcionada por el cliente, tal como, tipo de muestra y procedencia, involucra su total responsabilidad.  
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio.  
El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

  
x Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



**ANEXO V. DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE  
AGREGADOS.**



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Código de Informe: GSA-24-011-I  
Fecha de informe: 2024-05-09

Hoja 01 de 01

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón Social: Diego Esteban Ruales Quelal  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15.  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
PROCEDENCIA: Holcim  
TIPO DE MUESTRA: Agregado grueso y fino  
NORMA: ASTM C128, NTE INEN 856, ASTM C127, NTE INEN 857  
FECHA DE ENSAYO: 2024-01-04

Identificación	Descripción	Densidad relativa seca	Densidad relativa S.S.S	Densidad relativa aparente	Absorción de agua (%)
006-I-H-02-b	Agregado fino	2,69	2,70	2,73	0,52
006-I-H-01-b	Agregado grueso	2,41	2,49	2,61	3,33

**Observaciones:** El término "Densidad relativa S.S.S" se refiere a la densidad de la muestra determinada bajo la condición saturada y superficialmente seca.  
La información proporcionada por el cliente, tal como, procedencia y tipo de muestra, involucra su total responsabilidad.  
Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio.  
El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

X Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

## **ANEXO VI. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.**



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Código de Informe: GRA-24-015-I

Hoja 01 de 02

Fecha de informe : 2024-05-09

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15.

Teléfono: 2976300 ext. 1609

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

MUESTRA: Agregado grueso

PROCEDENCIA: Holcim

FECHA DE ENSAYO: 2024-01-03

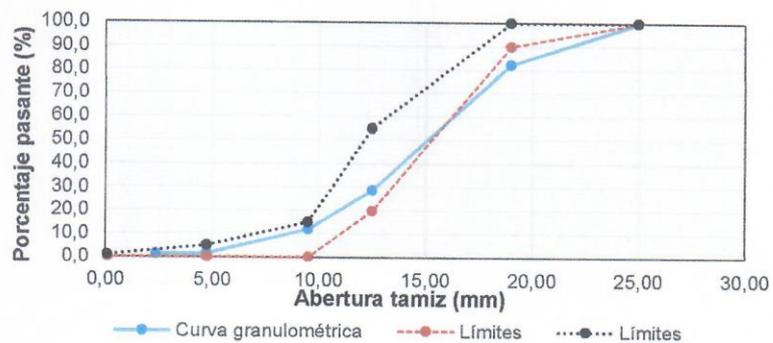
NORMA: ASTM C136, ASTM C33

Código interno: 006-I-H-01-a

Identificación: Agregado grueso

Tamaño máximo nominal (mm): 19

Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Porcentaje Pasante (%)
1 in	25,00	100,0
3/4 in	19,00	82,3
1/2 in	12,50	28,9
3/8 in	9,50	11,9
N° 4	4,75	1,6
N° 8	2,36	1,3
Bandeja	-	0,0
Módulo de finura		7,0



**Observaciones:** La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra, procedencia e identificación, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

## **ANEXO VII. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.**



### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Código de Informe: GRA-24-015-I  
Fecha de informe : 2024-05-09

Hoja 02 de 02

#### DATOS DEL CLIENTE

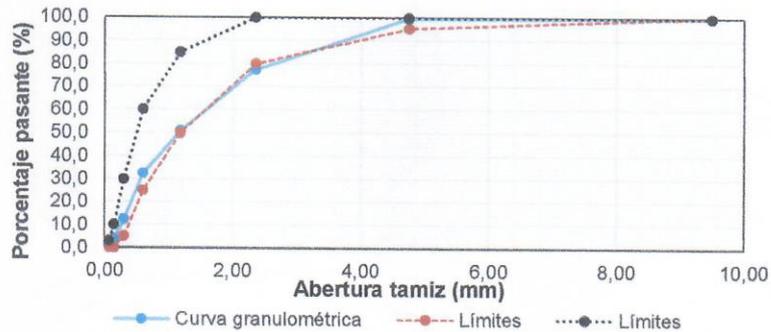
Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15.  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
MUESTRA: Agregado fino  
PROCEDENCIA: Holcim  
FECHA DE ENSAYO: 2024-01-03  
NORMA: ASTM C136, ASTM C33

Código interno: 006-I-H-02-a  
Identificación: Agregado fino  
Tamaño máximo nominal (mm): 4,75

Tamiz	Abertura de tamiz (mm)	Porcentaje Pasante (%)
3/8 in	9,50	100,0
N° 4	4,75	99,6
N° 8	2,36	77,4
N° 16	1,18	50,9
N° 30	0,60	32,5
N° 50	0,30	12,5
N° 100	0,15	3,8
N° 200	0,08	1,4
Bandeja	-	0,0
Módulo de finura		3,2



**Observaciones:** La información proporcionada por el cliente, tal como, muestra, procedencia e identificación, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones de Laboratorio. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

## **ANEXO VIII. COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN.**



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Código de Informe: CC-24-045-1  
Fecha de informe: 2024-07-03

Hoja 01 de 02

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6 Mezzanine. Oficina M-15.  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
ELEMENTO: \*\*\*  
NORMA: ASTM C39

No.	Identificación	Fecha fabricación	Fecha rotura	Edad (días)	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Densidad* (kg/m <sup>3</sup> )	Carga Máxima (kN)	Tipo de falla	Defectos	Resistencia		Incertidumbre	
											(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )
1	006-I-H-04	2024-03-27	2024-04-24	28	102,25	8211	2176	219,1	Tipo 2	A	26,7	272	3,1E-02	3E-01
2	006-I-H-05	2024-03-27	2024-04-24	28	102,50	8252	2272	212,4	Tipo 2	A	25,8	263	3,0E-02	3E-01
3	006-I-H-06	2024-03-27	2024-04-24	28	102,25	8211	2280	214,8	Tipo 5	A	26,2	267	3,1E-02	3E-01
4	006-I-H-07	2024-03-27	2024-04-24	28	102,25	8211	2285	219,5	Tipo 2	A	26,7	272	3,1E-02	3E-01
5	006-I-H-08	2024-03-27	2024-04-24	28	102,00	8171	2283	224,5	Tipo 5	A	27,4	279	3,1E-02	3E-01
6	006-I-H-09	2024-03-27	2024-04-24	28	102,50	8252	2282	215,3	Tipo 5	A	26,2	267	3,0E-02	3E-01
7	006-I-H-10	2024-03-27	2024-04-24	28	102,50	8252	2269	214,2	Tipo 2	A	25,9	264	3,0E-02	3E-01
8	006-I-H-11	2024-03-27	2024-04-24	28	102,25	8211	2288	211,6	Tipo 2	A	25,8	263	3,1E-02	3E-01
9	006-I-H-12	2024-03-27	2024-04-24	28	102,25	8211	2285	214,2	Tipo 2	A	26,1	266	3,1E-02	3E-01
10	006-I-H-13	2024-03-27	2024-04-24	28	102,25	8211	2284	222,1	Tipo 4	A	27,0	275	3,1E-02	3E-01



Descripción de defectos: A = Ninguno ; B = Segregado ; C = Porosidad ; D = Fisuras preexistentes ; E = Otra

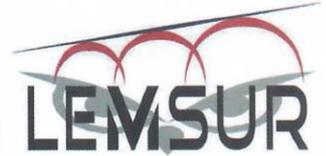
Observaciones:

Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionadas por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio. El tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39. Los parámetros que se encuentren resaltados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación. Los parámetros de las muestras resaltadas con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



## **ANEXO IX. COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN.**



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Código de Informe: CC-24-045-1  
Fecha de informe : 2024-07-03

Hoja 02 de 02

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía Edificio No 6. Mezzanine. Oficina M-15.  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.  
Contratista: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
ELEMENTO: \*\*\*  
NORMA: ASTM C39

No.	Identificación	Fecha fabricación	Fecha rotura	Edad (días)	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Densidad* (kg/m <sup>3</sup> )	Carga Máxima (kN)	Tipo de falla	Defectos	Resistencia		Incertidumbre	
											(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )
1	006-IH-14	2024-03-27	2024-05-22	56	102,75	8292	2275	251,2	Tipo 2	A	30,4	310	3,0E-02	3E-01
2	006-IH-15	2024-03-27	2024-05-22	56	102,50	8252	2279	255,8	Tipo 2	A	31,0	316	3,1E-02	3E-01
3	006-IH-16	2024-03-27	2024-05-22	56	102,75	8292	2280	254,3	Tipo 5	A	30,7	313	3,0E-02	3E-01
4	006-IH-17	2024-03-27	2024-05-22	56	102,50	8252	2281	260,8	Tipo 5	A	31,6	322	3,1E-02	3E-01
5	006-IH-18	2024-03-27	2024-05-22	56	102,50	8252	2263	246,8	Tipo 2	A	29,8	304	3,0E-02	3E-01
6	006-IH-19	2024-03-27	2024-05-22	56	102,50	8252	2277	258,2	Tipo 5	A	31,3	319	3,1E-02	3E-01
7	006-IH-20	2024-03-27	2024-05-22	56	100,75	7972	2276	237,7	Tipo 4	A	29,8	304	3,2E-02	3E-01
8	006-IH-21	2024-03-27	2024-05-22	56	100,75	7972	2269	244,0	Tipo 5	A	30,5	311	3,2E-02	3E-01
9	006-IH-22	2024-03-27	2024-05-22	56	100,75	7972	2269	240,4	Tipo 2	A	30,1	307	3,1E-02	3E-01
10	006-IH-23	2024-03-27	2024-05-22	56	101,00	8012	2255	238,6	Tipo 2	A	29,8	304	3,1E-02	3E-01

Tipo de falla					
Tipo 1 Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabeza menor a 25 mm.	Tipo 2 Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabeza, como no muy definidas en el otro extremo.	Tipo 3 Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.	Tipo 4 Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes; golpear con un martillo para distinguir del Tipo 1.	Tipo 5 Fracturas a los lados en el extremo superior o en el fondo (ocurren comúnmente cuando se ensaya con neoprenos).	Tipo 6 Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punta.

Descripción de defectos: A = Ninguno ; B = Segregado ; C = Porosidad ; D = Fisuras preexistentes ; E = Otra.

Observaciones:

Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionados por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio. El tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39. Los parámetros que se encuentren resaltados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación. Los parámetros de las muestras resaltadas con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacis  
JEFE DE LABORATORIO



## **ANEXO X. COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN.**



COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Código de Informe: CC-24-056-I  
Fecha de informe : 2024-07-08

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15.  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.

Contratante: \*\*\*

Contratista: \*\*\*

Fiscalizador: \*\*\*

ELEMENTO: \*\*\*

NORMA: ASTM C39

No.	Identificación	Fecha fabricación	Fecha rotura	Edad (días)	Diámetro (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Densidad* (kg/m <sup>3</sup> )	Carga Máxima (kN)	Tipo de falla	Defectos	Resistencia		Incertidumbre	
											(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )
1	006-I-H-24	2024-03-27	2024-06-25	90	101,00	8012	2279	254,5	Tipo 2	A	31,8	324	3,2E-02	3E-01
2	006-I-H-25	2024-03-27	2024-06-25	90	100,75	7972	2280	272,8	Tipo 1	A	34,2	349	3,2E-02	3E-01
3	006-I-H-26	2024-03-27	2024-06-25	90	101,00	8012	2274	240,7	Tipo 2	A	30,1	307	3,1E-02	3E-01
4	006-I-H-27	2024-03-27	2024-06-25	90	100,75	7972	2290	266,5	Tipo 3	A	33,4	341	3,2E-02	3E-01
5	006-I-H-28	2024-03-27	2024-06-25	90	100,75	7972	2278	271,8	Tipo 3	A	34,1	348	3,2E-02	3E-01
6	006-I-H-29	2024-03-27	2024-06-25	90	100,75	7972	2285	247,7	Tipo 5	A	31,0	316	3,2E-02	3E-01
7	006-I-H-30	2024-03-27	2024-06-25	90	101,00	8012	2286	264,2	Tipo 5	A	33,0	337	3,2E-02	3E-01
8	006-I-H-31	2024-03-27	2024-06-25	90	101,00	8012	2252	230,6	Tipo 5	A	28,8	294	3,1E-02	3E-01
9	006-I-H-32	2024-03-27	2024-06-25	90	101,00	8012	2277	279,4	Tipo 2	A	34,9	356	3,0E-02	3E-01
10	006-I-H-33	2024-03-27	2024-06-25	90	100,75	7972	2280	253,1	Tipo 1	A	31,7	323	3,2E-02	3E-01

Tipo de falla					
<b>Tipo 1</b> Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabecera menor a 25 mm.	<b>Tipo 2</b> Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy definido en el otro extremo.	<b>Tipo 3</b> Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos	<b>Tipo 4</b> Fractura diagonal sin fisuras a través de los bordes; golpear con un martillo para distinguir del Tipo 1.	<b>Tipo 5</b> Fracturas a los lados en el extremo superior o en el fondo (ocurren comúnmente cuando se ensaya con neoprenos)	<b>Tipo 6</b> Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punta

Descripción de defectos: A = Ninguno ; B = Segregado ; C = Porosidad ; D = Fisuras preexistentes ; E = Otra.

Observaciones:

Todos los datos del ítem de ensayo (fecha de fabricación, elemento, identificación) son proporcionadas por el cliente por lo que involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los ítems ensayados bajo las condiciones del Laboratorio. El tipo de falla y defectos corresponde a lo especificado en la norma ASTM C39. Los parámetros que se encuentren resaltados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación. Los parámetros de las muestras resaltadas con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO

## **ANEXO XI. ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN.**



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



### ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN ENDURECIDO

Código de Informe: R-24-008-I  
 Fecha de informe: 2024-07-03

Hoja 01 de 04

#### DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal  
 Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15.  
 Teléfono: 2976300 ext. 1609

#### DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.  
 Contratante: \*\*\*  
 Contratista: \*\*\*  
 Fiscalizador: \*\*\*  
 NORMA: ASTM C805  
 FECHA DE ENSAYO: 2024-04-24  
 TIPO DE MARTILLO: Original Schmidt  
 Marca/Modelo/Serie: PROCEQ / N34 / 175683

TÉCNICO: JM  
 Fecha de verificación: 2024-05-01

Nº ENSAYO	1	2	3	4	5
Identificación	006-I-H-04	006-I-H-05	006-I-H-06	006-I-H-07	006-I-H-08
Elemento	***	***	***	***	***
Ubicación ensayo	***	***	***	***	***
Dimensiones (mm)	100x200	100x200	100x200	100x200	100x200
Resistencia especificada, f <sub>c</sub> (MPa)	24	24	24	24	24
Edad (días)	28	28	28	28	28
Acabado de la superficie	Encofrado	Encofrado	Encofrado	Encofrado	Encofrado
Condición de humedad	Totalmente húmeda				
Orientación (°)	0	0	0	0	0
Lectura 1	26	24	17	20	22
Lectura 2	24	20	24	23	25
Lectura 3	22	18	25	25	28
Lectura 4	0	24	16	19	22
Lectura 5	24	24	23	0	25
Lectura 6	24	22	21	18	26
Lectura 7	22	26	22	20	23
Lectura 8	21	22	22	18	30
Lectura 9	25	21	22	15	24
Lectura 10	25	21	25	19	23
Número de rebote	24	22	22	20	25
Factor de corrección por humedad	5	5	5	5	5
Factor de corrección por verificación	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Número corregido de rebote	29	27	27	25	30
Resistencia a la compresión relativa (MPa)	18,6	16,2	16,2	13,7	20,6
Resistencia a la compresión relativa (kg/cm <sup>2</sup> )	190	165	165	140	210

#### Observaciones:

La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación, elemento, ubicación, resistencia especificada y edad, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los elementos ensayados bajo las condiciones especificadas. La resistencia a la compresión relativa se determinó mediante la relación de resistencia proporcionada por el fabricante del martillo. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís  
 JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
 Ext.: 1609

## **ANEXO XII. ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN.**



ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN ENDURECIDO

Código de Informe: R-24-008-I  
Fecha de informe: 2024-07-03

Hoja 02 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
NORMA: ASTM C805  
FECHA DE ENSAYO: 2024-04-24  
TIPO DE MARTILLO: Concrete Test Hammer R-7500  
Marca/Modelo/Serie: KAMEKURA SEIKI / R-7500 / 17051

TÉCNICO: JM

Fecha de verificación: 2024-05-01

Nº ENSAYO	1	2	3	4	5
Identificación	006-I-H-09	006-I-H-10	006-I-H-11	006-I-H-12	006-I-H-13
Elemento	***	***	***	***	***
Ubicación ensayo	***	***	***	***	***
Dimensiones (mm)	100x200	100x200	100x200	100x200	100x200
Resistencia especificada, Fc (MPa)	24	24	24	24	24
Edad (días)	28	28	28	28	28
Acabado de la superficie	Encofrado	Encofrado	Encofrado	Encofrado	Encofrado
Condición de humedad	Totalmente húmeda				
Orientación (°)	0	0	0	0	0
Lectura 1	20	26	23	23	17
Lectura 2	17	26	20	25	18
Lectura 3	16	24	22	21	22
Lectura 4	23	24	24	25	18
Lectura 5	19	19	28	24	22
Lectura 6	22	20	25	18	21
Lectura 7	21	16	24	23	27
Lectura 8	24	24	24	24	24
Lectura 9	24	24	26	25	25
Lectura 10	22	19	21	26	24
Número de rebote	21	22	24	23	22
Factor de corrección por humedad	5	5	5	5	5
Factor de corrección por verificación	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
Número corregido de rebote	27	28	30	29	28
Resistencia a la compresión relativa (MPa)	16,2	17,7	20,6	18,6	17,7
Resistencia a la compresión relativa (kg/cm <sup>2</sup> )	165	180	210	190	180

Observaciones:

La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación, elemento, ubicación, resistencia especificada y edad, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los elementos ensayados bajo las condiciones especificadas. La resistencia a la compresión relativa se determinó mediante la relación de resistencia proporcionada por el fabricante del martillo. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

## **ANEXO XIII. ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN.**



ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN ENDURECIDO

Código de Informe: R-24-008-I  
Fecha de informe: 2024-07-03

Hoja 03 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15.  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de  
24 MPa  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
NORMA: ASTM C805  
FECHA DE ENSAYO: 2024-04-24  
TIPO DE MARTILLO: Original Schmidt  
Marca/Modelo/Serie: PROCEQ / N34 / 175563

TÉCNICO: JM

Fecha de verificación: 2024-05-01

Nº ENSAYO	1	2	3	4	5
Identificación	006-I-H-14	006-I-H-15	006-I-H-16	006-I-H-17	006-I-H-18
Elemento	***	***	***	***	***
Ubicación ensayo	***	***	***	***	***
Dimensiones (mm)	100x200	100x200	100x200	100x200	100x200
Resistencia especificada, $f_c$ (MPa)	24	24	24	24	24
Edad (días)	56	56	56	56	56
Acabado de la superficie	Encofrado	Encofrado	Encofrado	Encofrado	Encofrado
Condición de humedad	Totalmente húmeda				
Orientación (°)	~	~	u	0	0
Lectura 1	29	28	27	34	30
Lectura 2	29	29	30	30	26
Lectura 3	26	28	25	29	28
Lectura 4	27	32	27	30	32
Lectura 5	28	31	26	29	30
Lectura 6	30	29	24	30	27
Lectura 7	32	29	31	31	32
Lectura 8	28	28	26	32	26
Lectura 9	28	30	30	32	25
Lectura 10	32	26	30	32	29
Número de rebote	29	29	28	31	28
Factor de corrección por humedad	5	5	5	5	5
Factor de corrección por verificación	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Número corregido de rebote	34	34	33	36	33
Resistencia a la compresión relativa (MPa)	25,5	25,5	24,5	28,4	24,5
Resistencia a la compresión relativa ( $kg/cm^2$ )	260	260	250	290	250

Observaciones:

La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación, elemento, ubicación, resistencia especificada y edad, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los elementos ensayados bajo las condiciones especificadas. La resistencia a la compresión relativa se determinó mediante la relación de resistencia proporcionada por el fabricante del martillo. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villalobos  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

## **ANEXO XIV. ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN.**



ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN ENDURECIDO

Código de Informe: R-24-008-I  
Fecha de informe: 2024-07-03

Hoja 04 de 04

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quetai  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
NORMA: ASTM C805  
FECHA DE ENSAYO: 2024-04-24  
TIPO DE MARTILLO: Original Schmidt  
Marca/Modelo/Serie: PROCEQ / N34 / 175563

TÉCNICO: JM

Fecha de verificación: 2024-05-01

Nº ENSAYO	1	2	3	4	5
Identificación	006-I-H-19	006-I-H-20	006-I-H-21	006-I-H-22	006-I-H-23
Elemento	***	***	***	***	***
Ubicación ensayo	***	***	***	***	***
Dimensiones (mm)	100x200	100x200	100x200	100x200	100x200
Resistencia especificada, f <sub>c</sub> (MPa)	24	24	24	24	24
Edad (días)	56	56	56	56	56
Acabado de la superficie	Encofrado	Encofrado	Encofrado	Encofrado	Encofrado
Condición de humedad	Totalmente húmeda				
Orientación (°)	0	0	0	0	0
Lectura 1	26	26	26	26	24
Lectura 2	30	25	26	26	26
Lectura 3	25	26	26	28	27
Lectura 4	31	27	26	20	28
Lectura 5	28	25	25	20	27
Lectura 6	31	29	25	28	24
Lectura 7	30	24	26	26	28
Lectura 8	31	29	29	26	30
Lectura 9	28	24	28	20	28
Lectura 10	30	24	26	26	25
Número de rebote	29	26	27	25	27
Factor de corrección por humedad	5	5	5	5	5
Factor de corrección por verificación	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Número corregido de rebote	34	31	32	30	32
Resistencia a la compresión relativa (MPa)	25,5	21,6	23,3	20,6	23,3
Resistencia a la compresión relativa (kg/cm <sup>2</sup> )	260	220	238	210	238

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación, elemento, ubicación, resistencia especificada y edad, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los elementos ensayados bajo las condiciones especificadas. La resistencia a la compresión relativa se determinó mediante la relación de resistencia proporcionada por el fabricante del martillo. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacis  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

## **ANEXO XV. ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN.**



ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN ENDURECIDO

Código de Informe: R-24-012-I  
Fecha de informe: 2024-07-10

Hoja 01 de 02

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quela  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía, Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15.  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
NORMA: ASTM C805  
FECHA DE ENSAYO: 2024-06-25  
TIPO DE MARTILLO: Original Schmidt  
Marca/Modelo/Serie: PROCEQ / N34 / 175563

TÉCNICO: JM  
Fecha de verificación: 2024-05-01

Nº ENSAYO	1	2	3	4	5
Identificación	006-I-H-24	006-I-H-25	006-I-H-26	006-I-H-27	006-I-H-28
Elemento	***	***	***	***	***
Ubicación ensayo	***	***	***	***	***
Dimensiones (mm)	100 x 200				
Resistencia especificada, f'c (MPa)	24	24	24	24	24
Edad (días)	90	90	90	90	90
Acabado de la superficie	Encofrado	Encofrado	Encofrado	Encofrado	Encofrado
Condición de humedad	Totalmente húmeda				
Orientación (°)	0	0	0	0	0
Lectura 1	33	28	32	26	26
Lectura 2	32	30	28	30	29
Lectura 3	32	28	28	26	30
Lectura 4	31	28	32	25	24
Lectura 5	30	26	31	28	26
Lectura 6	30	28	26	26	27
Lectura 7	36	26	27	32	26
Lectura 8	37	26	29	29	32
Lectura 9	28	26	30	28	28
Lectura 10	28	32	30	26	28
Número de rebote	32	28	29	28	28
Factor de corrección por humedad	5	5	5	5	5
Factor de corrección por verificación	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Número corregido de rebote	37	33	34	33	33
Resistencia a la compresión relativa (MPa)	30,4	24,5	25,5	24,5	24,5
Resistencia a la compresión relativa (kg/cm <sup>2</sup> )	310	250	260	250	250

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación, elemento, ubicación, resistencia especificada y edad, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los elementos ensayados bajo las condiciones especificadas. La resistencia a la compresión relativa se determinó mediante la relación de resistencia proporcionada por el fabricante del martillo. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacis  
JEFE DE LABORATORIO



Tel.: 2976300  
Ext.: 1609

## **ANEXO XVI. ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN.**



ENSAYO DE NÚMERO DE REBOTE DE HORMIGÓN ENDURECIDO

Código de Informe: R-24-012-I  
Fecha de informe: 2024-07-10

Hoja 02 de 02

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15.  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

DATOS DEL PROYECTO

Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
NORMA: ASTM C805  
FECHA DE ENSAYO: 2024-06-25  
TIPO DE MARTILLO: Original Schmidt  
Marca/Modelo/Serie: PROCEQ / N34 / 175563

TÉCNICO: JM  
Fecha de verificación: 2024-05-01

N° ENSAYO	1	2	3	4	5
Identificación	006-I-H-29	006-I-H-30	006-I-H-31	006-I-H-32	006-I-H-33
Elemento	***	***	***	***	***
Ubicación ensayo	***	***	***	***	***
Dimensiones (mm)	100 x 200				
Resistencia especificada, f <sub>c</sub> (MPa)	24	24	24	24	24
Edad (días)	90	90	90	90	90
Acabado de la superficie	Encofrado	Encofrado	Encofrado	Encofrado	Encofrado
Condición de humedad	Totalmente húmeda				
Orientación (°)	0	0	0	0	0
Lectura 1	26	30	26	28	30
Lectura 2	30	28	32	29	30
Lectura 3	32	28	26	30	27
Lectura 4	26	30	26	33	28
Lectura 5	26	30	26	33	28
Lectura 6	28	26	28	26	32
Lectura 7	28	29	32	28	33
Lectura 8	26	28	30	28	28
Lectura 9	32	28	24	30	28
Lectura 10	28	26	30	31	28
Número de rebote	28	28	28	30	29
Factor de corrección por humedad	5	5	5	5	5
Factor de corrección por verificación	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
Número corregido de rebote	33	33	33	35	34
Resistencia a la compresión relativa (MPa)	24,5	24,5	24,5	27,5	25,5
Resistencia a la compresión relativa (kg/cm <sup>2</sup> )	250	250	250	280	260

Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación, elemento, ubicación, resistencia especificada y edad, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los elementos ensayados bajo las condiciones especificadas. La resistencia a la compresión relativa se determinó mediante la relación de resistencia proporcionada por el fabricante del martillo. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Vivas  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

**ANEXO XVII. VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO EN EL  
HORMIGÓN.**



VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO EN EL HORMIGÓN

Código de Informe: VSH-24-005-I  
Fecha de Informe: 2024-07-03

Hoja 01 de 02

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía, Edificio No.6, Mezzanine, Oficina M-15.  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

DATOS DEL PROYECTO

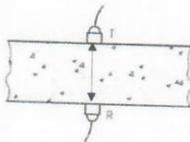
Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
NORMA: ASTM C597  
FECHA DE ENSAYO: 2024-04-24

TIPO DE EQUIPO: ULTRASONIC WAVE NON-DESTRUCTIVE CONCRETE TESTER  
Marca / Tipo / Serie: TOYOKO ELMES CO.LTD/ ESI/P-10 / SE2689

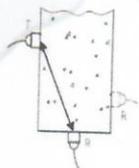
Dimensiones transductores (mm): 60  
Frecuencia nominal (kHz): 28

Identificación	Elemento	Ubicación	Dimensiones (mm)	Resistencia especificada (MPa)	Edad (días)	Método de medición	Distancia recorrida (cm)	Tiempo de recorrido (µs)	Velocidad de pulso sónico (m/s)
006-I-H-04	***	***	100 x 200	24	28	Transmisión directa	20,6	55,2	3740
006-I-H-05	***	***	100 x 200	24	28	Transmisión directa	20,5	56,1	3650
006-I-H-06	***	***	100 x 200	24	28	Transmisión directa	20,4	57,2	3570
006-I-H-07	***	***	100 x 200	24	28	Transmisión directa	20,5	53,9	3800
006-I-H-08	***	***	100 x 200	24	28	Transmisión directa	20,4	55,7	3660
006-I-H-09	***	***	100 x 200	24	28	Transmisión directa	20,6	60,2	3420
006-I-H-10	***	***	100 x 200	24	28	Transmisión directa	20,5	56,1	3660
006-I-H-11	***	***	100 x 200	24	28	Transmisión directa	20,4	56,4	3620
006-I-H-12	***	***	100 x 200	24	28	Transmisión directa	20,6	54,6	3770
006-I-H-13	***	***	100 x 200	24	28	Transmisión directa	20,4	54,6	3730

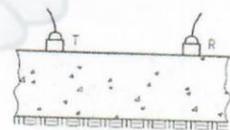
Transmisión directa



Transmisión semidirecta



Transmisión indirecta



Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación, elemento, ubicación, resistencia especificada y edad, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los elementos ensayados bajo las condiciones especificadas. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacis  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

**ANEXO XVIII. VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO EN EL  
HORMIGÓN.**



VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO EN EL HORMIGÓN

Código de Informe: VSH-24-005-1  
Fecha de informe: 2024-07-03

Hoja 02 de 02

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía, Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15.  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

DATOS DEL PROYECTO

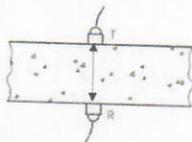
Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
NORMA: ASTM C597  
FECHA DE ENSAYO: 2024-05-22

TIPO DE EQUIPO: ULTRASONIC WAVE NON-DESTRUCTIVE CONCRETE TESTER  
Marca / Tipo / Serie: TOYOKO ELMES CO.LTD/ ES/P-10 / SE2689

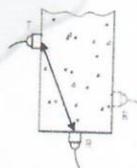
Dimensiones transductores (mm): 60  
Frecuencia nominal (kHz): 28

Identificación	Elemento	Ubicación	Dimensiones (mm)	Resistencia especificada (MPa)	Edad (días)	Método de medición	Distancia recorrida (cm)	Tiempo de recorrido ( $\mu$ s)	Velocidad de pulso sónico (m/s)
006-I-H-14	***	***	100 x 200	24	56	Transmisión directa	20,4	56,5	3610
006-I-H-15	***	***	100 x 200	24	56	Transmisión directa	20,4	55,5	3680
006-I-H-16	***	***	100 x 200	24	56	Transmisión directa	20,6	57,3	3600
006-I-H-17	***	***	100 x 200	24	56	Transmisión directa	20,5	55,9	3670
006-I-H-18	***	***	100 x 200	24	56	Transmisión directa	20,4	55,5	3680
006-I-H-19	***	***	100 x 200	24	56	Transmisión directa	20,3	55,8	3640
006-I-H-20	***	***	100 x 200	24	56	Transmisión directa	20,9	58,1	3600
006-I-H-21	***	***	100 x 200	24	56	Transmisión directa	20,9	58,6	3570
006-I-H-22	***	***	100 x 200	24	56	Transmisión directa	21,0	57,7	3640
006-I-H-23	***	***	100 x 200	24	56	Transmisión directa	20,8	56,8	3660

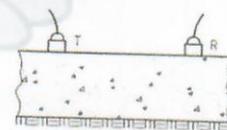
Transmisión directa



Transmisión semidirecta



Transmisión indirecta



Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación, elemento, ubicación, resistencia especificada y edad, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los elementos ensayados bajo las condiciones especificadas. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609

**ANEXO XIX. VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO EN EL  
HORMIGÓN.**



VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO EN EL HORMIGÓN

Código de Informe: VSH-24-012-I  
Fecha de informe: 2024-07-10

Hoja 01 de 01

DATOS DEL CLIENTE

Razón social: Diego Esteban Ruales Quelal  
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía. Edificio No.6. Mezzanine. Oficina M-15.  
Teléfono: 2976300 ext. 1609

DATOS DEL PROYECTO

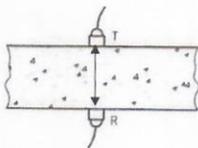
Proyecto: Implementación de ensayos no destructivos en hormigón y correlación entre ellos, esclerómetro y ultrasonido con hormigón, con dos diferentes equipos y dosificación de 24 MPa.  
Contratante: \*\*\*  
Contratista: \*\*\*  
Fiscalizador: \*\*\*  
NORMA : ASTM C597  
FECHA DE ENSAYO: 2024-06-25

TIPO DE EQUIPO: ULTRASONIC WAVE NON-DESTRUCTIVE CONCRETE TESTER  
Marca / Tipo / Serie: TOYOKO ELMES CO.LTD/ ES/MP-10 / SE2689

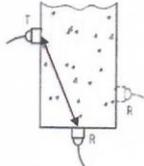
Dimensiones transductores (mm): 60  
Frecuencia nominal (kHz): 28

Identificación	Elemento	Ubicación	Dimensiones (mm)	Resistencia especificada (MPa)	Edad (días)	Método de medición	Distancia recorrida (cm)	Tiempo de recorrido (µs)	Velocidad de pulso sónico (m/s)
006-I-H-24	***	***	100 x 200	24	90	Transmisión directa	20,8	53,5	3890
006-I-H-25	***	***	100 x 200	24	90	Transmisión semidirecta	20,7	52,4	3950
006-I-H-26	***	***	100 x 200	24	90	Transmisión indirecta	20,7	52,7	3930
006-I-H-27	***	***	100 x 200	24	90	Transmisión semidirecta	20,9	53,7	3900
006-I-H-28	***	***	100 x 200	24	90	Transmisión semidirecta	20,8	52,7	3950
006-I-H-29	***	***	100 x 200	24	90	Transmisión semidirecta	20,7	52,3	3960
006-I-H-30	***	***	100 x 200	24	90	Transmisión semidirecta	20,8	53,2	3910
006-I-H-31	***	***	100 x 200	24	90	Transmisión semidirecta	20,7	53,8	3850
006-I-H-32	***	***	100 x 200	24	90	Transmisión semidirecta	20,8	54,9	3790
006-I-H-33	***	***	100 x 200	24	90	Transmisión semidirecta	20,8	53,6	3880

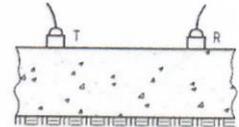
Transmisión directa



Transmisión semidirecta



Transmisión indirecta



Observaciones: La información proporcionada por el cliente, tal como, identificación, elemento, ubicación, resistencia especificada y edad, involucra su total responsabilidad. Los resultados reportados en el presente informe corresponden únicamente a los elementos ensayados bajo las condiciones especificadas. El contenido del presente informe no podrá reproducirse parcialmente sin la autorización del LEMSUR.

Ing. Mercedes Villacís  
JEFE DE LABORATORIO



Telf.: 2976300  
Ext.: 1609