



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**  
*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*  
**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA  
Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO ENTRE  
ENSAYOS DESTRUCTIVOS (RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN) Y  
NO DESTRUCTIVOS (MARTILLO DE SCHMIDT)**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

**AUTOR: ALICIA DANIELA GAVILANES PINOS**

**DIRECTOR: ING. PAÚL ESTEBAN ILLESCAS CÁRDENAS, MSC.**

**AZOGUES - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**  
*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*  
**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA  
Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**CORRELACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO ENTRE  
ENSAYOS DESTRUCTIVOS (RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN) Y  
NO DESTRUCTIVOS (MARTILLO DE SCHMIDT)**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

**AUTOR: ALICIA DANIELA GAVILANES PINOS**

**DIRECTOR: ING. PAÚL ESTEBAN ILLESCAS CÁRDENAS, MSC.**

**AZOGUES - ECUADOR**


**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

### **Declaratoria de Autoría y Responsabilidad**

**Alicia Daniela Gavilanes Pinos** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302799275**. Declaro ser el autor de la obra: “**Correlación de la resistencia del concreto entre ensayos destructivos (resistencia a la compresión) y no destructivos (martillo de schmidt)**”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, **18 de mayo de 2023**

F:  .....

**Alicia Daniela Gavilanes Pinos**

**C.I. 0302799275**

# CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Ing. Paúl Esteban Illescas Cárdenas, MSc.

DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

De mi consideración:

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: "**Correlación de la resistencia del concreto entre ensayos destructivos (resistencia a la compresión) y no destructivos (martillo de schmidt)**", realizado por: **Alicia Daniela Gavilanes Pinos**, con documentos de identidad: **0302799275**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil** ha sido asesorado, orientado, revisado y supervisado durante su ejecución, bajo mi tutoría en todo el proceso, por lo que certifico que el presente documento, fue desarrollado siguiendo los parámetros del método científico, se sujeta a las normas éticas de investigación que exige la Universidad Católica de Cuenca, por lo que está expedito para su presentación y sustentación ante el respectivo tribunal.

Azogues, 18 de mayo de 2023



ING. PAÚL ESTEBAN ILLESCAS CÁRDENAS, MSC.

0301531653

DIRECTOR

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación, con mucha gratitud dedico primeramente a Dios y a quienes que de una u otra forma estuvieron en cada etapa y paso que di, ya que fueron el pilar fundamental para conseguir y lograr mis objetivos, sin ellos nada de esto sería posible.

A mi hijo, Cristian David, quien es el motor de vida, fuente de inspiración en todo lo que hago y quien me da la fuerza para salir adelante.

A mi esposo, Silvio David, por ser el apoyo perfecto para mi vida, por estar siempre conmigo compartiendo cada uno de los momentos de este largo camino.

A mis padres, Alicia y Cristian, quienes no dudaron de mí y son los promotores de mis sueños, los que me guían y apoyan en cada paso que doy.

A mi hermana, Emilia Cristina, quien con su amor y cariño nunca me desamparó, siempre estuvo para apoyarme y alentarme en cada uno de mis sueños.

A mis suegros, Silvio y Katty, quienes confiaron y creyeron en mí, me dieron sus consejos y su apoyo en toda esta travesía.

A mi tío, Héctor Fernando, por sus enseñanzas, ayuda, consejos y por ser un ejemplo para mi vida.

A mi bisabuelita, Alicia Olimpia (+), quien siempre me daba sus consejos y aliento para luchar por mis sueños.

A mi tía, Ana Patricia (+), mi ángel, quien me enseñó el valor de la vida, quien estuvo en todas las etapas de mi vida para apoyarme y ahora me cuida y vela por mí desde el cielo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, a mis padres, mi esposo, mi hijo, mi hermana, mis suegros, mis abuelitos, mis tíos, y todos mis familiares quienes me apoyaron en este camino de mi vida universitaria.

Mi gratitud con mi mejor amiga Ana María, quien nunca me dejó rendirme, gracias por darme todo su cariño, su confianza y apoyo, por sus palabras de aliento en momentos difíciles, y por siempre estar dispuesta en todo momento a brindarme su apoyo.

Un agradecimiento para mi tutor, Ing. Paúl Illescas, por sus enseñanzas transmitidas, por su orientación, colaboración, su apoyo incondicional y guía a lo largo de este arduo camino de investigación. Su compromiso, sabiduría y paciencia han sido fundamentales en mi desarrollo académico y personal.

Y como no dar Gracias a cada uno de los que conforman la Universidad Católica de Cuenca Campus Azogues, por su ayuda y colaboración en estos años de carrera, a todos mis compañeros, quienes fueron el mejor apoyo en este proceso.

**"Correlación de la resistencia del concreto entre ensayos destructivos (resistencia a la compresión) y no destructivos (martillo de schmidt)"**  
**Alicia Daniela Gavilanes Pinos – Ing. Paúl Esteban Illescas Cárdenas, MSc.**  
[Adgavilanesp75@est.ucacue.edu.ec](mailto:Adgavilanesp75@est.ucacue.edu.ec)

## **RESUMEN**

El concreto hidráulico de cemento Portland, es ampliamente utilizado para la construcción en todo el mundo. Evaluar su calidad, es muy importante, a menudo se usan ensayos de compresión simple, para determinar la calidad de la mezcla en cuanto a la resistencia de diseño.

En los últimos años se ha implementado métodos y herramientas para evaluar la resistencia de una mezcla de concreto, sin afectar a los elementos estructurales, este tipo de ensayos se los conocen como no destructivos, uno de estos se lo realiza con la ayuda del martillo de Schmidt (esclerómetro).

La presente investigación está diseñada para determinar un modelo en base a la correlación entre el ensayo de resistencia a compresión convencional (en la prensa hidráulica) y el ensayo de esclerometría, a través de pruebas en laboratorio, generando mayor fiabilidad en el uso del (martillo de Schmidt).

Se efectúa la investigación siguiendo una serie de procesos basados en normas, utilizando mezclas con 3 diseños de resistencias distintas (210, 240 y 300 kg/cm<sup>2</sup>).

Finalmente, se da a conocer las gráficas con las correlaciones entre número de rebote y resistencia a la compresión.

*Palabras clave:* Correlación, ensayo de esclerometría, ensayos destructivos, ensayos no destructivos, resistencia a compresión

**“Correlation of Concrete Strength between Destructive (Compressive Strength) and Non-Destructive (Schmidt Hammer) Tests”**  
**Alicia Daniela Gavilanes Pinos - Paúl Esteban Illescas Cárdenas, Eng., MS.**  
[Adgavilanesp75@est.ucacue.edu.ec](mailto:Adgavilanesp75@est.ucacue.edu.ec)

## **ABSTRACT**

Portland hydraulic cement concrete is widely used for construction worldwide. Evaluating its quality is very important, and simple compression tests are often used to determine the mix quality in design strength terms.

In recent years, methods and tools have been implemented to evaluate the concrete strength mix without affecting the structural elements; these tests are known as non-destructive, and one of these is performed with the Schmidt hammer (sclerometer).

This research is designed to determine a model based on the correlation between the conventional compressive strength test (in the hydraulic press) and the sclerometry test through laboratory tests, generating greater reliability using the Schmidt hammer.

The research follows a series of standards-based processes using mixtures with three different resistance designs (210, 240, and 300 kg/cm<sup>2</sup>).

Finally, the graphs with the correlations between rebound number and compressive strength are shown.

*Keywords:* Correlation, sclerometry test, destructive testing, non-destructive testing, compressive strength

# ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	3
AGRADECIMIENTOS .....	5
RESUMEN .....	6
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE TABLAS .....	12
INTRODUCCIÓN .....	14
CAPÍTULO I.....	16
1. MARCO REFERENCIAL.....	16
1.1. Planteamiento del Problema .....	16
1.1.1. Formulación del Problema .....	16
1.1.2. Delimitación del Problema .....	17
1.2. Objetivos.....	17
1.2.1. Objetivo general .....	17
1.2.2. Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificación.....	18
1.3.1. Zona de estudio.....	20
CAPÍTULO II.....	21
2. MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Concreto.....	21
2.2. Componentes del Concreto.....	21
2.2.1. Áridos o Agregados.....	21
2.2.1.1. Árido Fino.....	21
2.2.1.2. Árido Grueso .....	22
2.2.1.3. Propiedades de los áridos.....	22
2.2.1.3.1. Granulometría.....	22
2.2.1.3.2. Módulo de Finura .....	24
2.2.1.3.3. Tamaño Máximo Nominal .....	24
2.2.2. Ligantes o Pasta .....	24
2.2.2.1. Cemento.....	24
2.2.2.1.1. Composición del Cemento.....	24
2.2.2.1.1.1. Composición Química.....	24

2.2.2.1.1.2.	Composición Mineralógica .....	25
2.2.2.1.2.	Cemento Hidráulico.....	26
2.2.2.1.2.1.	Tipos de Cementos Hidráulicos .....	26
2.2.2.1.2.1.1.	Cemento Portland .....	26
2.2.2.1.2.1.2.	Cementos Compuestos .....	27
2.2.2.1.2.1.3.	Cementos Hidráulicos .....	27
2.2.2.2.	Agua.....	28
2.2.2.3.	Aire .....	29
2.3.	Procesos de Producción .....	29
2.3.1.	Dosificación .....	29
2.3.1.1.	Diseño de Mezclas de Concreto.....	29
2.3.1.1.1.	Método ACI Hormigón Normal .....	30
2.3.1.1.2.	Método ACI Hormigón con adiciones de cenizas volantes.....	30
2.3.1.1.3.	Métodos Fuller Thompson, Weymouth, Bolomey, Faury, Joisel, Vallete y Dreux ....	31
2.3.2.	Compactación.....	32
2.3.2.1.	Métodos para la Compactación.....	32
2.3.2.1.1.	Compactación Manual .....	32
2.3.2.1.2.	Compactación Mecánica .....	33
2.3.3.	Curado.....	33
2.4.	Control de Calidad del Concreto .....	33
2.4.1.1.	Ensayos Destructivos .....	34
2.4.1.1.1.	Ensayo a Compresión Simple .....	34
2.4.1.1.2.	Ensayo Resistencia a Tracción.....	34
2.4.1.1.3.	Ensayo de Dureza.....	35
2.4.1.1.4.	Ensayo de Flexión .....	35
2.4.1.2.	Ensayos no Destructivos .....	35
2.4.1.2.1.	Ensayo martillo de rebote (Esclerómetro) .....	36
2.4.1.2.2.	Ensayo de Penetración .....	42
2.4.1.2.3.	Ensayo de Madurez .....	42
2.4.1.2.4.	Ensayo de Extracción por deslizamientos.....	42
CAPÍTULO III.....		43
3.	MARCO METODOLÓGICO .....	43
3.1.	Cantidad de muestras .....	43
3.2.	Ensayos de Agregados .....	44
3.3.	Ensayos de Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Árido Fino y Grueso .....	44

3.4.	Determinación de la Masa Unitaria (peso volumétrico) y el Porcentaje de Vacíos .....	46
3.5.	Diseño de Mezclas de Concreto .....	48
3.6.	Proceso de Producción .....	48
3.6.1.	Materiales para la elaboración del concreto.....	48
3.6.2.	Equipos.....	49
3.6.2.1.	Equipos para la elaboración de probetas .....	49
3.6.2.2.	Equipos para el ensayo de Asentamiento .....	49
3.6.2.3.	Equipos para el ensayo de Resistencia a Compresión .....	49
3.6.2.4.	Equipos para el ensayo de Esclerometría .....	49
3.6.3.	Elaboración de Probetas de Concreto .....	50
3.6.4.	Ensayo de Esclerometría.....	51
3.6.5.	Ensayo de Compresión .....	51
CAPÍTULO IV.....		52
4.	RESULTADOS.....	52
4.1.	Ensayo de Agregados.....	52
4.2.	Ensayo de Resistencia de Compresión .....	52
4.3.	Ensayo de Esclerometría .....	54
4.4.	Resultados de resistencia obtenida mediante la aplicación móvil OS Schmidt. ....	55
4.5.	Resultados de resistencia obtenida mediante curva de conversión.....	56
4.6.	Correlación entre ensayos de resistencia a compresión (prensa) y esclerometría .....	57
4.6.1.	Correlación entre ensayos de resistencia a compresión (prensa) y esclerometría a los 7, 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 210 kg/cm <sup>2</sup> . ....	57
4.6.2.	Correlación entre ensayos de resistencia a compresión y esclerometría a los 7, 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 240 kg/cm <sup>2</sup> . ....	61
4.6.3.	Correlación entre ensayos de resistencia a compresión y esclerometría a los 7, 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 300 kg/cm <sup>2</sup> . ....	64
4.6.4.	Correlación entre ensayos de resistencia a compresión (prensa) y esclerometría a los 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 210 kg/cm <sup>2</sup> . ....	67
4.6.5.	Correlación entre ensayos de resistencia a compresión y esclerometría a los 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 240 kg/cm <sup>2</sup> . ....	70
4.6.6.	Correlación entre ensayos de resistencia a compresión y esclerometría a los 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 300 kg/cm <sup>2</sup> . ....	73
4.7.	Resultados de resistencia obtenida mediante la ecuación para 5, 7, 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 210, 240 y 300 kg/cm <sup>2</sup> . ....	76
4.8.	Resultados de resistencia obtenida mediante la ecuación para 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 210, 240 y 300 kg/cm <sup>2</sup> . ....	77

4.9. Cuadro comparativo de resultados de las distintas resistencias y porcentajes de error obtenidos con relación a la resistencia obtenida a la prensa. ....	79
4.10. Márgenes de error del esclerómetro con respecto a la aplicación móvil y a la curva de conversión. ....	82
CAPÍTULO V.....	84
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	84
5.1. Conclusiones .....	84
5.2. Recomendaciones .....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	86
ANEXOS.....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Materiales predominantes en la construcción en el Ecuador. [1].....	14
Fig. 2 Ubicación geográfica. Autor.....	20
Fig. 3 Composición Mineralógica del Cemento. [6].....	25
Fig. 4 Clasificación del Cemento Portland. [15].....	26
Fig. 5 Tipos de Cementos Compuestos NTE INEN 490. [2].....	27
Fig. 6 Tipos de Cementos Hidráulico. [2].....	27
Fig. 7 Componentes del Hormigón . [6] .....	29
Fig. 8. Partes del Esclerómetro Schmidt tipo N y L Fuente: [21].....	40
Fig. 9. Aplicación Móvil Adaptado de: [30].....	41
Fig. 10. Análisis de granulometría Fuente: Autor.....	44
Fig. 11. Determinación Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Árido Grueso Fuente: Autor .....	45
Fig. 12. Determinación Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Árido Fino Fuente: Autor .....	45
Fig. 13. Procedimiento gravimétrico (picnómetro) Fuente: Autor .....	46
Fig. 14. Procedimiento de determinación. Fuente: Autor .....	46
Fig. 15. Procedimiento de determinación (compactada) Fuente: Autor .....	47
Fig. 16. Procedimiento de determinación (suelta) Fuente: Autor .....	47
Fig. 17. Procedimiento de Diseño Método ACI 211 Fuente: Autor .....	48
Fig. 18. Pasos para realizar el ensayo de esclerometría Fuente: Autor.....	51
Fig. 19. Correlación 210 kg/cm <sup>2</sup> horizontal 1. Fuente: Autor .....	58
Fig. 20. Correlación Exponencial. Fuente: Autor .....	59
Fig. 21. Correlación 210 kg/cm <sup>2</sup> vertical 1. Fuente: Autor .....	60
Fig. 22. Correlación Exponencial. Fuente: Autor .....	61
Fig. 23. Correlación 240 kg/cm <sup>2</sup> horizontal 1. Fuente: Autor .....	61
Fig. 24. Correlación Polinómica. Fuente: Autor .....	62
Fig. 25. Correlación 240 kg/cm <sup>2</sup> vertical 1. Fuente: Autor .....	63
Fig. 26. Correlación polinómica Fuente: Autor .....	64
Fig. 27. Correlación 300 kg/cm <sup>2</sup> horizontal 1. Fuente: Autor .....	64

Fig. 28. Correlación polinómica Fuente: Autor .....	65
Fig. 29. Correlación 300 kg/cm <sup>2</sup> vertical 1. Fuente: Autor .....	66
Fig. 30. Correlación polinómica Fuente: Autor .....	67
Fig. 31. Correlación 210 kg/cm <sup>2</sup> horizontal 2. Fuente: Autor .....	67
Fig. 32. Correlación Exponencial. Fuente: Autor .....	68
Fig. 33. Correlación 210 kg/cm <sup>2</sup> vertical 2. Fuente: Autor .....	69
Fig. 34. Correlación Potencial Fuente: Autor .....	70
Fig. 35. Correlación 240 kg/cm <sup>2</sup> horizontal 2. Fuente: Autor .....	70
Fig. 36. Correlación Exponencial Fuente: Autor .....	71
Fig. 37. Correlación 240 kg/cm <sup>2</sup> vertical 2. Fuente: Autor .....	72
Fig. 38. Correlación Polinómica Fuente: Autor .....	73
Fig. 39. Correlación 300 kg/cm <sup>2</sup> horizontal 2. Fuente: Autor .....	73
Fig. 40. Correlación Polinómica Fuente: Autor .....	74
Fig. 41. Correlación 300 kg/cm <sup>2</sup> vertical 2. Fuente: Autor .....	75
Fig. 42. Correlación Polinómica Fuente: Autor .....	76
Fig. 43. Resultados granulometría árido fino Fuente: Autor .....	90
Fig. 44. Resultados granulometría árido fino Fuente: Autor .....	90
Fig. 45. Resultados granulometría árido grueso Fuente: Autor .....	91
Fig. 46. Resultados granulometría árido grueso Fuente: Autor .....	91
Fig. 47. Asentamiento Resistencia de 210 kg/cm <sup>2</sup> Fuente: Autor .....	91
Fig. 48. Asentamiento Resistencia de 240 kg/cm <sup>2</sup> Fuente: Autor .....	91
Fig. 49. Asentamiento Resistencia de 300 kg/cm <sup>2</sup> Fuente: Autor .....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Límites Granulométricos árido fino. Adaptado de: [11] .....	22
Tabla II. Límites Granulométricos árido grueso. Adaptado de: [11] .....	23
Tabla III. Proporciones del cemento. Adaptado de: [14] .....	25
Tabla IV. Valores máximos admisibles. Adaptado de: [7] .....	28
Tabla V. Partes del esclerómetro. Fuente: [30] .....	40
Tabla VI. Materiales para la elaboración del concreto. Fuente: Autor .....	49
Tabla VII. Pesos en kg (210 kg/cm <sup>2</sup> ). Fuente: Autor .....	50
Tabla VIII. Pesos en kg (240 kg/cm <sup>2</sup> ). Fuente: Autor .....	50
Tabla IX. Pesos en kg (300 kg/cm <sup>2</sup> ). Fuente: Autor .....	50
Tabla X. Resultado de resistencia a compresión 210 kg/cm <sup>2</sup> . Fuente: Autor .....	53
Tabla XI. Resultado de resistencia a compresión 240 kg/cm <sup>2</sup> . Fuente: Autor .....	53
Tabla XII. Resultado de resistencia a compresión 300 kg/cm <sup>2</sup> . Fuente: Autor .....	53
Tabla XIII. Resultado de esclerometría para dosificación de 210, 240 y 300 kg/cm <sup>2</sup> , posición horizontal. Fuente: Autor .....	54
Tabla XIV. Resultado de esclerometría para dosificación de 210, 240 y 300 kg/cm <sup>2</sup> , posición vertical. Fuente: Autor .....	54
Tabla XV. Resultado de resistencia obtenida mediante la aplicación móvil, horizontal. Fuente: Autor .....	55

Tabla XVI. Resultado de resistencia obtenida mediante la aplicación móvil, horizontal. Fuente: Autor .....	56
Tabla XVII. Resultado de resistencia obtenida mediante curva de conversión, horizontal. Fuente: Autor .....	56
Tabla XVIII. Resultado de resistencia obtenida mediante curva de conversión, vertical. Fuente: Autor .....	57
Tabla XIX. Diferentes $R^2$ . Fuente: Autor .....	59
Tabla XX. Diferentes $R^2$ . Fuente: Autor .....	60
Tabla XXI. Diferentes $R^2$ . Fuente: Autor .....	62
Tabla XXII. Diferentes $R^2$ . Fuente: Autor .....	63
Tabla XXIII. Diferentes $R^2$ . Fuente: Autor .....	65
Tabla XXIV. Diferentes $R^2$ . Fuente: Autor .....	66
Tabla XXV. Diferentes $R^2$ . Fuente: Autor .....	68
Tabla XXVI. Diferentes $R^2$ . Fuente: Autor .....	69
Tabla XXVII. Diferentes $R^2$ . Fuente: Autor .....	71
Tabla XXVIII. Diferentes $R^2$ . Fuente: Autor .....	72
Tabla XXIX. Diferentes $R^2$ . Fuente: Autor .....	74
Tabla XXX. Diferentes $R^2$ . Fuente: Autor .....	75
Tabla XXXI. Resultado de resistencia obtenida mediante ecuación 1, horizontal. Fuente: Autor .....	76
Tabla XXXII. Resultado de resistencia obtenida mediante ecuación 1, vertical. Fuente: Autor .....	77
Tabla XXXIII. Resultado de resistencia obtenida mediante ecuación 2, horizontal. Fuente: Autor .....	78
Tabla XXXIV. Resultado de resistencia obtenida mediante ecuación 2, vertical. Fuente: Autor .....	78
Tabla XXXV. Cuadro comparativo de las distintas resistencias y porcentajes obtenidos de 210 kg/cm <sup>2</sup> . Fuente: Autor .....	79
Tabla XXXVI. Cuadro comparativo de las distintas resistencias y porcentajes obtenidos de 240 kg/cm <sup>2</sup> . Fuente: Autor .....	79
Tabla XXXVII. Cuadro comparativo de las distintas resistencias y porcentajes obtenidos de 300 kg/cm <sup>2</sup> . Fuente: Autor .....	80
Tabla XXXVIII. Cuadro comparativo de las distintas resistencias y porcentajes obtenidos de 210 kg/cm <sup>2</sup> . Fuente: Autor .....	81
Tabla XXXIX. Cuadro comparativo de las distintas resistencias y porcentajes obtenidos de 240 kg/cm <sup>2</sup> . Fuente: Autor .....	81
Tabla XL. Cuadro comparativo de las distintas resistencias y porcentajes obtenidos de 300 kg/cm <sup>2</sup> . Fuente: Autor .....	82
Tabla XLI. Margen de error del esclerómetro con respecto a la aplicación móvil, posición horizontal y vertical, resistencia 210, 240 y 300 kg/cm <sup>2</sup> . Fuente: Autor .....	83
Tabla XLII. Margen de error del esclerómetro con respecto a la aplicación móvil, posición horizontal y vertical, resistencia 210, 240 y 300 kg/cm <sup>2</sup> . Fuente: Autor .....	83

# INTRODUCCIÓN

La mezcla de agua, agregados y cemento es denominado concreto, esta composición después de un adecuado proceso de curado y fraguado, se convierte en una roca artificial, con grandes características como: impermeabilidad, consistencia, resistencia a la compresión, entre otros. Por dichas tipologías es el material de mayor empleo a nivel mundial dentro de edificaciones, infraestructura de transporte, estructuras hidráulicas, etc.; la agrupación de fabricantes de cemento en España indica que el 70% de la población mundial vive en edificaciones de concreto; de igual manera, según una encuesta llevada a cabo por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) [1] en Ecuador, dio a conocer que el concreto es el material predominante utilizado en la construcción de viviendas en el país, tal como se observa en la Gráfica 1.

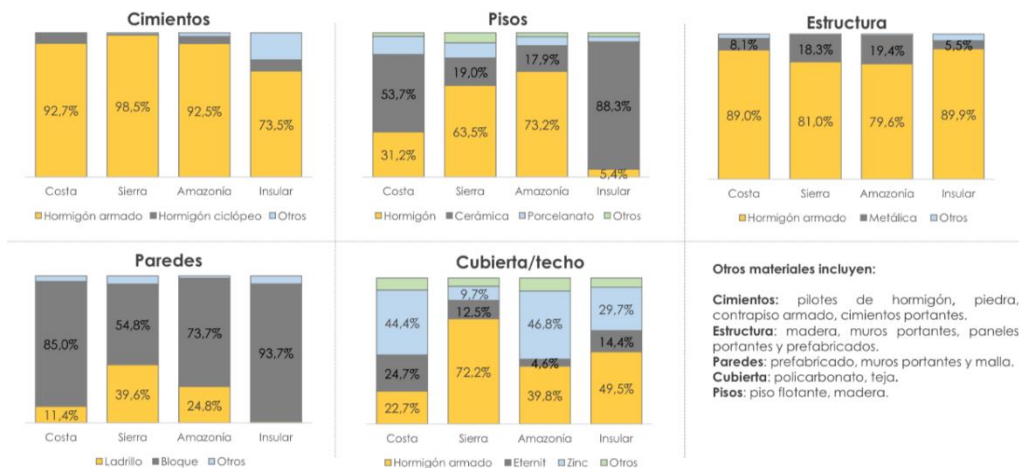


Fig. 1 Materiales predominantes en la construcción en el Ecuador. [1]

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes para determinar la calidad del concreto endurecido, ya que esta propiedad garantiza que el concreto cumpla con los requisitos de diseño de la mezcla. Actualmente, hay una variedad de herramientas y técnicas para evaluar la resistencia del concreto endurecido de estructuras nuevas como antiguas, sin afectar a sus elementos estructurales, este tipo de ensayos se los conocen como no destructivos, debido a que no afecta a los elementos tanto en su sección

trasversal, como en el acero de refuerzo, algunos de estos ensayos son: martillo de Schmidt (esclerómetro), ensayo de madurez, extracción por deslizamiento y penetración.

La prueba de esclerometría, se realiza de manera superficial en un cuerpo ya construido; la dureza se determina mediante golpes con una barra de percusión, este proceso permite obtener una correlación con la resistencia a la compresión de la estructura. Es de suma importancia, tener en cuenta que esta prueba no brinda valores exactos, debido a las variaciones que pueden surgir por algunos factores como: la superficie de contacto entre el esclerómetro y el elemento (debe ser totalmente lisa), el ángulo de impacto al momento de realizar el ensayo, la ubicación del acero de refuerzo, entre otros. Sin embargo, el ensayo permite conocer la resistencia de los elementos que conforman la estructura.

Dentro de la presente investigación, se pretende determinar una correlación de resistencia, entre el ensayo de compresión de testigos, en la prensa hidráulica y el ensayo martillo de rebote (esclerómetro), tomando en cuenta que, en nuestra región no existe un conocimiento certero, acerca de la variación de estos ensayos y, además se desconoce el margen de error que puede ser generado por el uso de las gráficas proporcionadas por el fabricante.

El presente trabajo se efectuará basándose en diversas normas, usando probetas cilíndricas elaboradas con diferentes mezclas que, garanticen valores de  $f'c$  igual a: 210, 240 y 300 kg/cm<sup>2</sup>, a sus 28 días de endurecimiento; los resultados del ensayo de esclerometría se compararán con los obtenidos mediante la prensa hidráulica, consiguiendo así, un modelo matemático que será comparado con las gráficas de interacción brindadas, por el proveedor del equipo.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1. Planteamiento del Problema

#### 1.1.1. Formulación del Problema

Entre las alternativas para evaluar la calidad del concreto, se encuentran las pruebas o ensayos no destructivos, uno de ellos es el ensayo de esclerometría (martillo de Schmidt), el cual es considerado un método indirecto, que determina la dureza del concreto, al impactar una barra de percusión contra un elemento estructural endurecido; este se lo realiza en obra, de manera superficial y los elementos examinados no son afectados ni destruidos como es en el caso del ensayo a compresión con extracción de núcleos.

Los fabricantes de esclerómetros proporcionan una gráfica, la cual es usada para determinar la resistencia, pero se debe tomar en cuenta que, los resultados fueron obtenidos en diferentes condiciones a las que se vive en nuestro entorno, como: el tipo de cemento utilizado, características de los agregados, entre otros. Del mismo modo, se debe considerar que el ensayo de martillo de rebote proporciona una idea sobre la resistencia del concreto y no reemplaza al ensayo a compresión simple, el cual genera un valor cercano a la realidad de los elementos analizados.

Es conveniente investigar, estudiar y documentar si este ensayo no destructivo es seguro y preciso en nuestra región, ya que, pese a existir investigaciones de esta correlación en otros países, en el nuestro no se ha avanzado mucho al respecto.

### **1.1.2. Delimitación del Problema**

El objetivo del presente trabajo es determinar la precisión de las gráficas del esclerómetro y establecer una correlación, entre los valores que se obtienen de la resistencia del ensayo de martillo de rebote y el ensayo en la prensa hidráulica, para ello, la investigación se basará en los lineamientos metodológicos establecidos en las diferentes normas del Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN).

Para llevar a cabo el diseño de mezcla de concreto, se establecieron variables, las cuales están en función de lo siguiente: se elaborará mezclas para resistencias de 210, 240 y 300 kg/cm<sup>2</sup>, empleando agregados disponibles en el medio local, con cemento tipo GU y con un tiempo de curado de 28 días.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar un modelo que correlacione los resultados del ensayo de esclerometría y el ensayo de resistencia a compresión, a través de pruebas en laboratorio con un ambiente controlado, para determinar la calidad del hormigón endurecido en obra, generando mayor fiabilidad en el uso de ensayos no destructivos (martillo de Schmidt).

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Llevar a cabo un análisis de las características de los agregados, mediante pruebas de laboratorio, que cumplan las normas establecidas por el Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización, para el adecuado empleo en la elaboración de concreto.
- Cuantificar la resistencia del concreto, por medio del ensayo de martillo de rebote y el ensayo de compresión simple, con el fin de analizar los resultados obtenidos.

- Determinar una curva que correlacione los resultados de resistencia obtenidos a través de la prensa y el esclerómetro, estimando su margen de error.
- Verificar esta correlación para diferentes resistencias de diseño de concreto (210, 240 y 300 kg/cm<sup>2</sup>).

### **1.3. Justificación**

Hoy en día, el material con más empleo en el campo constructivo, es el concreto, es por ello que, es necesario realizar una investigación acerca de uno de los métodos no destructivos (esclerometría), que permita conocer el comportamiento de la resistencia en diferentes edades de endurecimiento (curado), en que se encuentra una mezcla de concreto, cumpliendo con los requisitos planteados en el INEN.[2]

Para el desarrollo de esta investigación, es de suma importancia mencionar que durante los últimos 55 años se ha realizado investigaciones acerca de los ensayos no destructivos y ensayos destructivos. El objetivo de aquellas investigaciones, ha sido descubrir métodos más versátiles, económicos y rápidos, para conocer una aproximación más segura de las propiedades del concreto. [3]

Según Iveth Neira y Rubén Palacios [3], el ensayo de esclerometría presenta ventajas tales como: ser un método sencillo, rápido, económico y no causar daño a la estructura, además, menciona que la resistencia que se obtiene mediante este ensayo, es referencial, ya que al momento de realizar el ensayo se utilizan gráficas y tablas entregadas por el fabricante del equipo, pero, esta información puede presentar alteraciones frente a la realidad del entorno local.

De igual manera, la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 3121 [4], da a conocer información sobre cómo realizar este ensayo, sus ventajas y desventajas al momento de ser usado.

Francisco Hostalet [5], nos indica que según investigadores reconocidos existen 3 razones valiosas por las que los ensayos no destructivos no han alcanzado completamente su desarrollo:

- Existen numerosas metodologías de pruebas no destructivas para el concreto que compiten por ser utilizadas de manera exclusiva, en lugar de definir de manera más rigurosa cual es la prueba más ventajosa desde una perspectiva técnica.
- Existen muchos intérpretes novatos en este campo, quienes pueden llegar a conclusiones erróneas debido a su falta de conocimiento sobre las restricciones físicas de cada técnica y su dependencia en un número limitado de resultados.
- A pesar de la relevancia de estas técnicas, su uso aún no está ampliamente difundido y, por consiguiente, no se incluyen en las especificaciones de cada país como principios de control de calidad.[5]

Este estudio pretende encontrar un modelo matemático, que permita predecir la resistencia a la compresión del concreto, a partir de ensayos en probetas cilíndricas fabricadas con materiales comerciales disponibles en el entorno local, utilizando el esclerómetro PROCEQ de la Universidad Católica de Cuenca campus Azogues, esperando que los resultados se aproximen significativamente a los que se obtendrían con ensayos destructivos, para así mejorar la confiabilidad de los ensayos no destructivos en el campo constructivo.

Esta investigación resulta factible ya que el Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos de la Universidad Católica de Cuenca campus Azogues cuenta con los equipos necesarios para elaborar los ensayos pertinentes. Por otra parte, el insumo de materiales será dotado por el autor del presente.

Los resultados del estudio proporcionarán una base sólida en el ámbito de la construcción, específicamente a constructores, fiscalizadores, para verificar en campo con datos fiables el diseño de mezclas de los elementos estructurales.

### 1.3.1. Zona de estudio

El estudio se realizará en el Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos del campus universitario Azogues, ubicado en la intersección de las calles Av. 16 de abril y Ernesto Che Guevara, en el cantón Azogues de la provincia del Cañar.



Fig. 2 Ubicación geográfica. Autor

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Concreto

El concreto es un material de alta resistencia, utilizado en la construcción de puentes, edificios, vías, entre otras estructuras.[3]

Es diseñado y fabricado bajo normas de calidad, y es específico para determinados proyectos, posee diferentes características: precio, manejabilidad, velocidad de fraguado, además posee una adecuada apariencia según sea su aplicación.[6]

#### 2.2. Componentes del Concreto

La mezcla del hormigón está formada por dos componentes principales: los agregados y la pasta (ligante).

##### 2.2.1. Áridos o Agregados

Son materiales de mucha importancia, ya que conforman entre el 60% y el 75% del volumen total del concreto; es necesario que estén compuestos de partículas que posean propiedades mecánicas y una adecuada resistencia, para garantizar y brindar mayor seguridad en la calidad del concreto.[6]

Se dividen en dos tipos:

##### 2.2.1.1. Árido Fino

Es considerado como árido fino a la arena, ya sea natural o artificial, que posee reducidas dimensiones, las cuales le permiten pasar por el tamiz 3/8" (9.5mm). [7]

Para ser considerado como bueno, el agregado fino no debe poseer arcillas, impurezas orgánicas o materiales que afecten la durabilidad y se debe regir a normas para su correcto análisis.[8]

### 2.2.1.2. Árido Grueso

Se denomina árido grueso, al material formado por partículas que duran y resisten sin tener sustancias perjudiciales para su trabajabilidad, además, deben dar cumplimiento con requisitos de resistencia y colocación. [9]

### 2.2.1.3. Propiedades de los áridos

#### 2.2.1.3.1. Granulometría

Es un procedimiento que se realiza de manera mecánica o manual, permite medir y separar los componentes del agregado por tamaño mediante una serie de tamices.[3]

La granulometría debe cumplir la norma INEN 696 [10] y los límites granulométricos deberán establecerse bajo los parámetros de la norma INEN 872 [11], tanto para agregado fino como para agregado grueso, tal como se detallan en las tablas siguientes:

*Tabla I. Límites Granulométricos árido fino. Adaptado de: [11]*

<b>Malla</b>		<b>Norma INEN 872 (%)</b>	
<b>Tamiz</b>	<b>Mm</b>		
3/8"	9,525	100	
No 4	4,760	95	100
No 8	2,380	80	100
No 16	1,190	50	85
No 30	0,595	25	60
No 50	0,297	5	30
No 100	0,149	0	10

Tabla II. Límites Granulométricos árido grueso. Adaptado de: [11]

Número de Tamaño	Tamaño Nominal (tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)												
		100 mm	90,00 mm	75 mm	63,00 mm	50,00 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm
1	de 90 a 37,5	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
2	de 63 a 37,5	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
3	de 50 a 25,0	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
357	de 50 a 4,75	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
4	de 37,5 a 19,0	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---
467	de 37,5 a 4,75	---	---	---	---	100	90 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---
5	de 25,0 a 12,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---
56	de 25,0 a 9,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---
57	de 25,0 a 4,75	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---
6	de 19,0 a 9,5	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---
67	de 19,0 a 4,75	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---
7	de 12,5 a 4,75	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---
8	de 9,5 a 2,36	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5
89	de 9,5 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10
9A	de 4,75 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 5

A: Al árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como árido fino. Se lo incluye como árido grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 8 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694.

#### **2.2.1.3.2. Módulo de Finura**

Se conoce al módulo de finura como un índice que determina el tamaño del agregado, será mayor cuando el agregado contenga partículas más grandes y menor cuando las partículas son más pequeñas.[12]

#### **2.2.1.3.3. Tamaño Máximo Nominal**

Es la abertura del tamiz menor, es decir, por el cual puede pasar el 100% de la muestra del agregado, o a su vez podrá retener de 5% a 15% de la masa. [12]

### **2.2.2. Ligantes o Pasta**

Los ligantes o pasta son una mezcla compuesta por agua, material cementante y aire incluido o atrapado, compone el 25% al 40% del volumen del concreto. [7]

#### **2.2.2.1. Cemento**

Es considerado un aglutinante adhesivo y cohesivo el cual permite unir materiales minerales para dar forma a una mezcla homogénea y compacta. [13]

##### **2.2.2.1.1. Composición del Cemento**

###### **2.2.2.1.1.1. Composición Química**

Está conformado por óxidos principales y secundarios, dentro del grupo de los principales está la sílice ( $\text{SiO}_2$ ), cal ( $\text{CaO}$ ), óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), los cuales ocupan el 90% del cemento. El álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ), trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) y óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ) forman el 10% restante.[14]

Tabla III. Proporciones del cemento. Adaptado de: [14]

Componentes	Elementos	Abreviatura	Aproximación de Límites (%)	Total (%)
Principales	CaO	C	60,0 - 67,0	90
	SiO <sub>2</sub>	S	17,0 - 25,0	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	A	3,0 - 8,0	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	0,5 - 6,0	
Secundarios	MgO	M	0,1 - 4,0	10
	N <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	Álcalis	0,2 - 1,4	
	TiO <sub>2</sub>		0,1 - 0,4	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,1 - 0,3	
	SO <sub>3</sub>	S	1,0 - 4,5	

### 2.2.2.1.1.2. Composición Mineralógica

El cemento tiene 4 principales componentes mineralógicos que componen el 90% de su volumen, los cuales son:

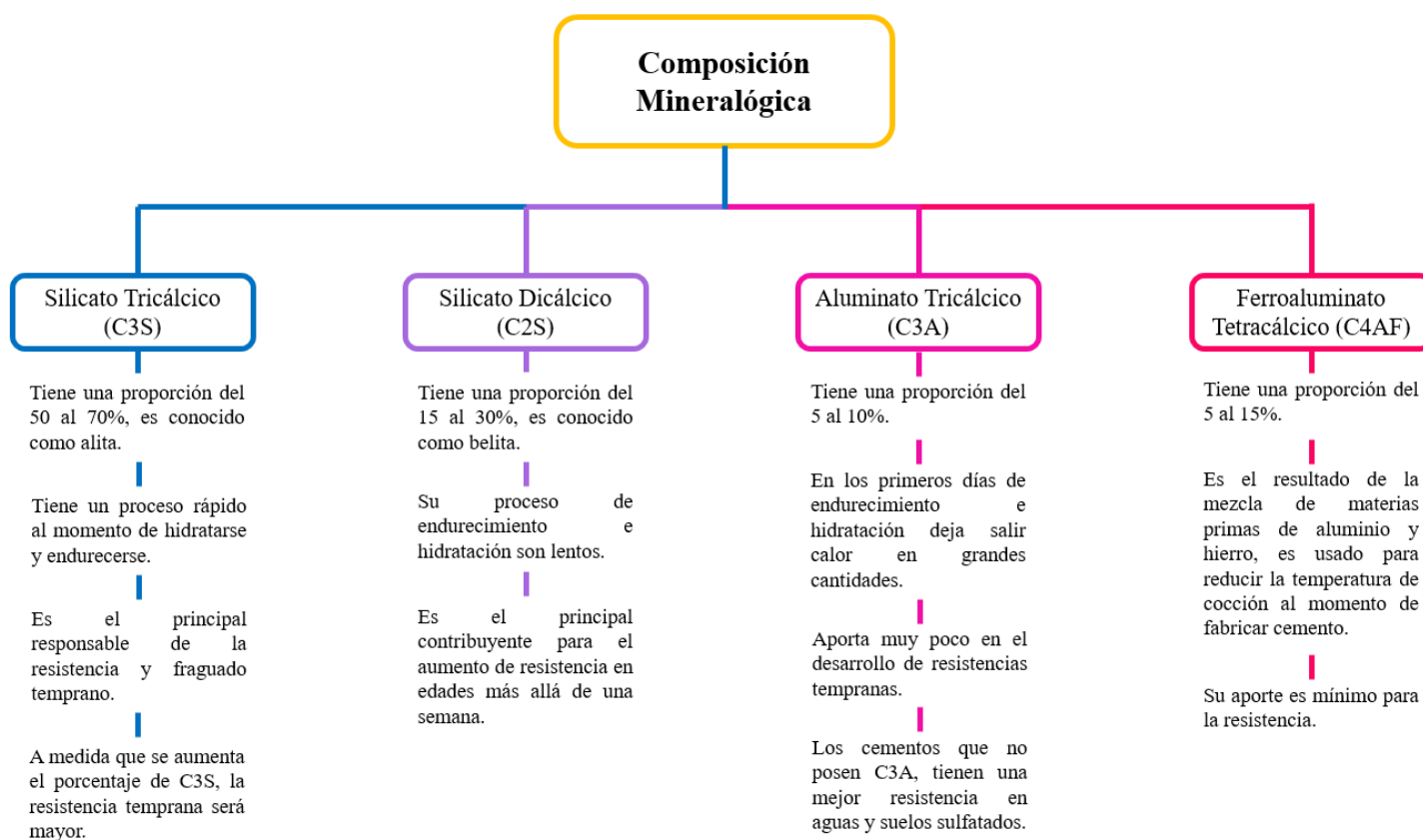


Fig. 3 Composición Mineralógica del Cemento. [6]

### 2.2.2.1.2. Cemento Hidráulico

Se refiere a un material de construcción cuya propiedad primordial es endurecer y fraguar bajo el agua, esto lo convierte en una excelente opción para proyectos de construcción que requieren una gran resistencia y durabilidad.[2]

#### 2.2.2.1.2.1. Tipos de Cementos Hidráulicos

##### 2.2.2.1.2.1.1. Cemento Portland

Es el que más se usa en la construcción, está compuesto de cal, arcilla y otros materiales como el óxido de hierro, los cuales son sometidos a altas temperaturas y mezclados con yeso para obtener una mezcla uniforme.[13]

La clasificación de cemento portland utilizada en nuestro medio se encuentra en la norma INEN 152 [2], y es basada en las normas ASTM C 150 (Standard Specification for Portland Cement), a continuación, se detalla dicha clasificación:

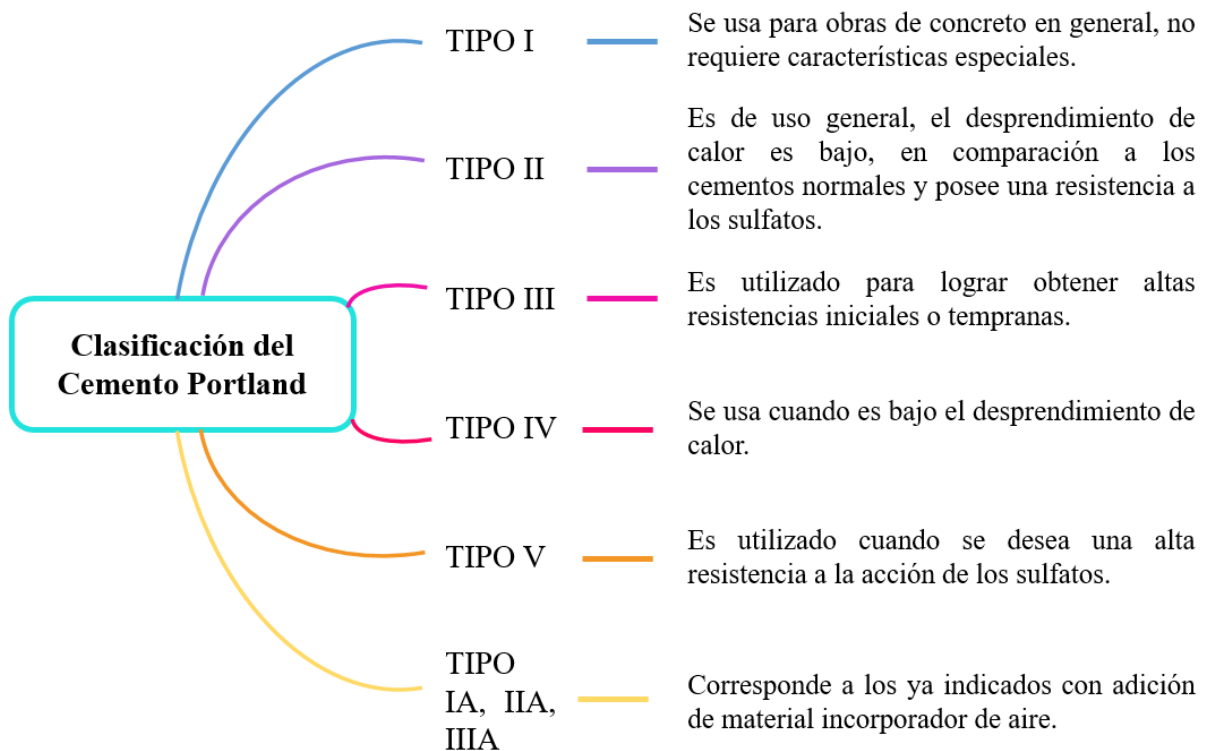


Fig. 4 Clasificación del Cemento Portland. [15]

### 2.2.2.1.2.1.2. Cementos Compuestos

Se define como cementos compuestos según INEN 490 [2], a cementos hidráulicos binarios o ternarios, los binarios están compuestos de cemento portland con cemento de puzolana o escoria y los ternarios se componen de cemento portland con dos puzolanas diferentes o cemento de escoria y una puzolana.

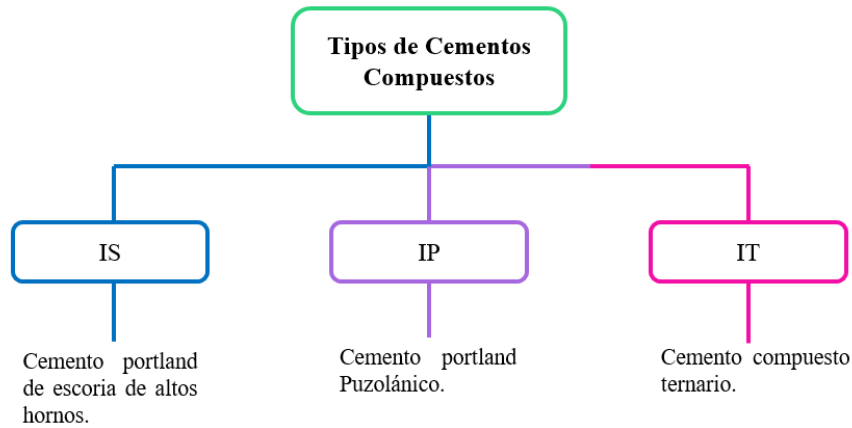


Fig. 5 Tipos de Cementos Compuestos NTE INEN 490. [2]

### 2.2.2.1.2.1.3. Cementos Hidráulicos

La clasificación del cemento hidráulico se establece en la norma INEN 2380 [2], como se aprecia en la Fig.6 que se presenta a continuación:

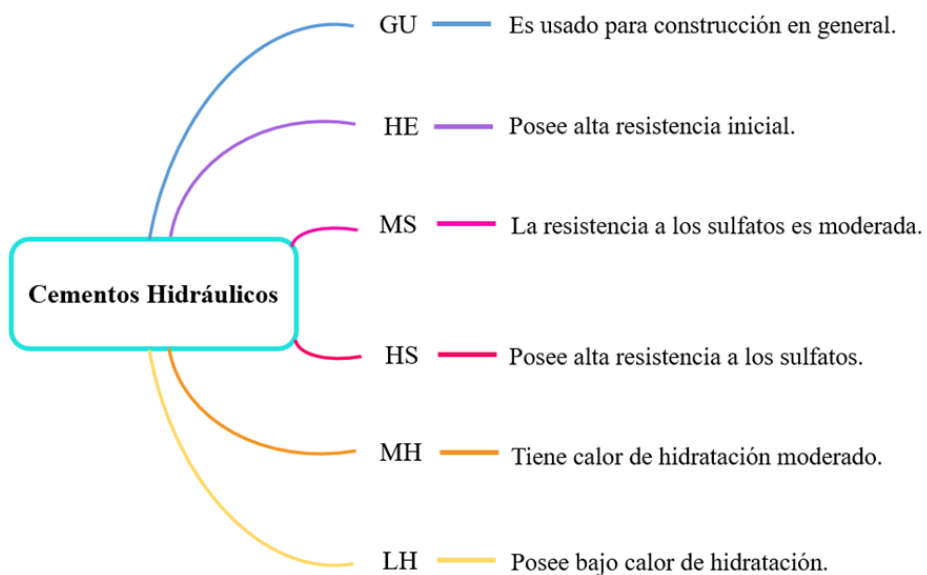


Fig. 6 Tipos de Cementos Hidráulico. [2]

#### 2.2.2.2. Agua

El agua es el material principal al momento de preparar el concreto, cumple varias funciones, una de las más importantes es hidratar el cemento para que desarrolle de mejor manera su capacidad ligante. [15]

Para la preparación del concreto, es necesario que cumpla con determinados requisitos:

- Necesita ser limpia, sin contener partículas desconocidas en cantidades grandes como: aceites, sales, materia orgánica, y otras sustancias.
- Si el agua contiene impurezas, puede afectar en el endurecimiento del concreto, influyendo así también en la resistencia mecánica de la mezcla, por esta razón, es recomendable que los resultados obtenidos sean comparados con los valores máximos permitidos para las sustancias presentes en el agua.[7]

Los valores máximos admisibles se detallan a continuación:

*Tabla IV. Valores máximos admisibles. Adaptado de: [7]*

<b>SUSTANCIAS DISUELTAS</b>	<b>VALOR MÁXIMO ADMISIBLE</b>
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de Magnesio	150 ppm
Sales Solubles	1500 ppm
P.H.	Mayor de 7
Sólidos en Suspensión	1500 ppm
Materia Orgánica	10 ppm

### 2.2.2.3. Aire

Durante el proceso de fabricación del concreto, es común encontrar aire incluido, ya que el agua de la mezcla se evapora y se forma aire en su lugar. [8]

En el concreto el volumen del material cementante se encuentra entre un 7 y 15%, el agua ocupa de 14 a 21% y el aire está entre un 4 a 8%. [7]

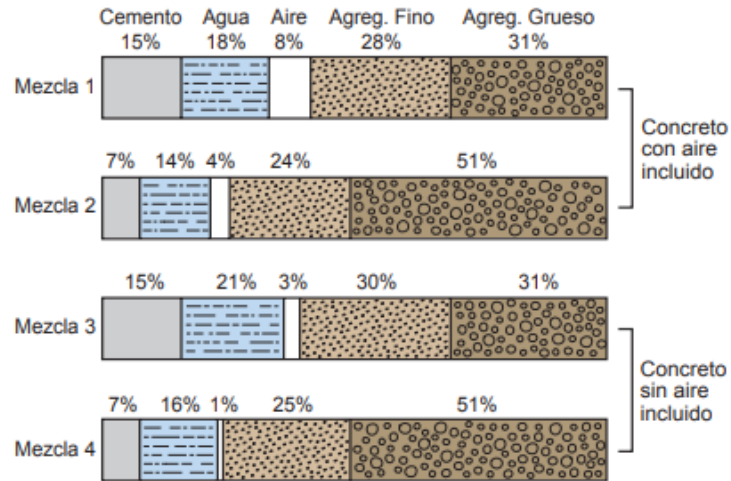


Fig. 7 Componentes del Hormigón . [6]

## 2.3. Procesos de Producción

### 2.3.1. Dosificación

Se llama dosificación al proceso para elaborar el concreto, donde se usa la cantidad correcta de cada ingrediente (agregados y ligantes), de forma que garantice la resistencia requerida.[16]

Existen criterios que se deben considerar al momento de realizar la dosificación, los dos criterios mínimos son: consistencia requerida del concreto y resistencia a la compresión. [16]

#### 2.3.1.1. Diseño de Mezclas de Concreto

Existen varios métodos para llevar a cabo un correcto diseño, los cuales son los siguientes:

- Método ACI Hormigón Normal
- Método ACI Hormigón con Adiciones
- Fuller Thompson
- Bolomey
- Weymouth
- Faury
- Joisel
- Vallete
- Dreux [17]

#### **2.3.1.1.1. Método ACI Hormigón Normal**

Es un método que se basa en las investigaciones de Richart y Talbot, Goldbeck y Gray y Andrew Duff Abrams, sus resultados han sido confirmados por extensos datos experimentales, es por ello que es un método empírico. [17]

Su diseño se puede llevar a cabo de 2 maneras, la primera implica mezclar los materiales según el volumen absoluto y después calcular los pesos de cada ingrediente, mientras el otro, implica calcular el peso del concreto y luego reducir el peso de cada componente, para producir un metro cúbico de concreto. [17]

#### **2.3.1.1.2. Método ACI Hormigón con adiciones de cenizas volantes**

En 1930 en Estados Unidos, se investigó acerca de la reutilización de las cenizas volantes, estas cenizas se producen de una manera masiva por la combustión del carbón pulverizado y es un problema grave almacenarlas. [17]

Se comenzó a usar dichas cenizas en 1939 en una construcción vial en Chicago, de igual manera se utilizó en la Presa Hungry Horse en 1952, donde contenía 70% de cemento y 30% de cenizas, desde ese entonces, en todas las obras usadas se le añade las cenizas al cemento antes de preparar las mezclas. [17]

Se deben considerar los siguientes factores al utilizar las cenizas:

a) Aunque se cumplan con las especificaciones de la norma ASTM C 618[18], las cenizas volantes pueden tener un comportamiento diferente en el concreto.

b) El impacto de las cenizas en el concreto varía según la edad del hormigón; su resistencia aumenta después de los 90 días, mientras que en las primeras etapas su resistencia disminuye.

c) La inclusión de aire puede verse afectada por la ceniza volante.

d) Las condiciones de curado pueden tener un mayor impacto en el concreto que contiene cenizas.

e) A medida que se requieran mayores resistencias del concreto, será necesario mejorar la calidad de la ceniza utilizada. [17]

#### **2.3.1.1.3. Métodos Fuller Thompson, Weymouth, Bolomey, Faury, Joisel, Vallete y Dreux**

Los métodos ACI, dependen de la calidad de los agregados que se van a utilizar, en muchos casos, la granulometría de dichos materiales no cumple con las normas establecidas. [17]

Los métodos Fuller Thompson, Weymouth, Bolomey, Faury, Joisel, Vallete y Dreux, son procesos analíticos, los cuales ayudan a dar una solución parcial a un problema que parte de agregados mal gradados. El objetivo de estas metodologías es conformar una

granulometría conjunta del material, ajustando a una curva típica que se toma como referencia. [17]

Cada uno de los métodos poseen formas de funcionamiento similares, con la ventaja de que se puede combinar diferentes agregados para conseguir una granulometría más ajustada a la típica. [17]

### **2.3.2. Compactación**

Se define como compactación o consolidación a toda operación que pretenda reducir la cantidad de vacíos encontrados en el concreto, con el objetivo de conseguir la densidad máxima del material. Este proceso es de mucha importancia, ya que aumenta la capacidad del concreto para resistir influencias externas, durabilidad y resistencia mecánica, al igual que de otros materiales. [15]

Existen varios métodos para conseguir la compactación, los más usados son los manuales o mecánicos.

#### **2.3.2.1. Métodos para la Compactación**

##### **2.3.2.1.1. Compactación Manual**

Este proceso es realizado con una varilla de compactación a través de un proceso minucioso que consiste en insertar repetidamente la varilla en el concreto.[15]

##### **2.3.2.1.1.1. Varilla de Compactación**

Es un instrumento de acero recto y liso, con una sección transversal circular, su diámetro varía según el ancho de la viga o diámetro del cilindro. Su longitud depende de cuan profundo sea el molde que se usa para la compactación, ya que debe ser 100 mm más largo.[19]

#### **2.3.2.1.2. Compactación Mecánica**

Existen varios métodos para llevar a cabo la compactación mecánica, el más común es compactación por vibración, el cual implica el uso de dispositivos de vibración, como: los externos que se adhieren al encofrado, superficie, que se emplean sobre el concreto y los de inmersión que actúan desde abajo del concreto.[15]

#### **2.3.3. Curado**

El proceso de curado involucra una serie de acciones diseñadas para crear un entorno favorable que fomente la hidratación progresiva del cemento. Esto puede lograrse mediante la aplicación de humedad externa, la protección del cemento o la retención de la humedad dentro del concreto.[15]

La aplicación de un proceso de curado adecuado es fundamental, puesto que, si se lleva a cabo de manera eficiente, se logrará obtener la resistencia requerida y durabilidad del material.

### **2.4. Control de Calidad del Concreto**

Para obtener un concreto con propiedades específicas que permitan su correcta construcción y desempeño, es necesario realizar pruebas y experimentaciones de control de calidad como parte integral del proceso constructivo, de esta manera se garantizará que los requisitos necesarios se cumplan para lograr un resultado satisfactorio. [20]

El concreto al estar mezclado con materiales heterogéneos posee características y propiedades en estado plástico, estas propiedades pueden predecirse mediante un buen control de calidad y una selección y combinación adecuada de sus componentes. [15]

El concreto será de buena calidad cuando los materiales y técnicas utilizadas para su elaboración sean de alta calidad y cumplan con las especificaciones para las que fue

diseñado. Está basado en la verificación del producto terminado, la supervisión del proceso de fabricación y control de las materias primas. [15]

Se realizan pruebas para el control de calidad, las más utilizadas son: contenido de aire, peso unitario y asentamiento. Además, existen otros parámetros importantes para controlar la calidad del concreto, como la resistencia a la flexión y la relación agua-cemento, aunque la resistencia a la compresión sigue siendo el parámetro principal.

#### **2.4.1.1. Ensayos Destructivos**

Son ensayos que se realizan en probetas utilizando herramientas o máquinas que causan una alteración irreversible en su estado original. A través de este proceso se puede determinar la composición del material, así como sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y su geometría dimensional.[21]

Existen varios ensayos destructivos, entre los cuales se encuentran el de compresión simple, resistencia a tracción, flexión y dureza. [22]

##### **2.4.1.1.1. Ensayo a Compresión Simple**

La compresión simple es la prueba más usada para evaluar la resistencia del concreto, dicha prueba consiste en emplear a un cilindro de concreto una carga axial de compresión hasta que este falle. Este ensayo se encuentra normalizado en la INEN 1 573. [23]

##### **2.4.1.1.2. Ensayo Resistencia a Tracción**

Es un método de evaluación, el cual aplica una fuerza de tracción creciente sobre una probeta normalizada hasta que se rompa, su objetivo es determinar distintas propiedades mecánicas tales como: límite de elasticidad, alargamiento, rotura, entre otras. [24]

#### **2.4.1.1.3. Ensayo de Dureza**

La dureza de un material se refiere a su capacidad para resistir deformaciones permanentes superficiales o plásticas, ya sea por penetración o rayado. [25]

Mediante el ensayo de dureza, se puede realizar la evaluación de resistencia y otras características que posee un material, además, determina si un tratamiento o material es adecuado para un uso específico, utiliza cuatro diferentes tipos de pruebas: Vickers, Brinell, Knoop y Rockwell. [26]

#### **2.4.1.1.4. Ensayo de Flexión**

El ensayo de flexión, es un método prácticamente estático que permite la medición de la deformación, la tensión y módulo de flexión, se lleva a cabo mediante el uso de probetas de distintas secciones que son sometidas a una deformación plástica. [24]

#### **2.4.1.2. Ensayos no Destructivos**

Son metodologías que al momento de evaluar la estructura no causan daño, tiene la función de estimar la resistencia del concreto endurecido en sitio. [27]

Issam Saif Valdez [22], menciona que, los ensayos no destructivos tienen varias aplicaciones útiles, tales como:

- Controlar la calidad de piezas prefabricadas o en construcciones en el lugar.
- Eliminar cualquier duda acerca de la aceptabilidad del material entregado que haya sido causada por incumplimientos en las especificaciones.
- Verificar y disipar dudas en cuanto a la calidad de la mano de obra empleada en la compactación, dosificación, colocación, mezcla o curado del concreto.
- Controlar la resistencia del concreto para asegurar que se haya alcanzado el nivel adecuado para el desencofrado.

- Identificar y evaluar la presencia de defectos como grietas, huecos y otras imperfecciones en una estructura de concreto.
- Comprobar la homogeneidad del concreto antes de realizar pruebas de carga u otros métodos destructivos que puedan ser costosos.
- Establecer la condición de la armadura, cantidad o posición.
- Ampliar la confianza en la calidad del material mediante el uso de un menor número de pruebas destructivas.
- Elegir e identificar el sitio adecuado para llevar a cabo la extracción de las muestras de concreto que serán evaluadas.
- Localizar o detectar el deterioro del concreto ocasionado por fatiga, sobrecarga, ataque químico, cambios internos o externos, incendios, explosiones o efectos ambientales.

Actualmente existen varias técnicas y métodos de ensayo, sin embargo, se enuncian los siguientes: ensayo martillo de rebote (Esclerómetro), de penetración, de madurez, de extracción por deslizamiento. [27]

#### **2.4.1.2.1. Ensayo martillo de rebote (Esclerómetro)**

Es un procedimiento de evaluación, que mide la resistencia de un elemento de concreto endurecido mediante número de rebotes, usando un martillo ligero llamado esclerómetro.[4]

Es importante llevar a cabo este ensayo según las normas establecidas en NTE INEN 3121[4].

##### **2.4.1.2.1.1. Martillo Schmidt**

Es una herramienta que se usa para determinar la resistencia superficial del concreto. Este martillo brinda un resultado conocido como el índice de rebote "R", el cual

puede variar según el ángulo que forma el punzón con la superficie de contacto, pues, la fuerza de la gravedad influye en el rebote del punzón.[3]

Además, se debe tener en cuenta que, el índice de rebote es mayor cuando el punzón se coloque sobre una sección resistente, mientras que será menor si se coloca sobre espacios vacíos o material débil. [3]

#### **2.4.1.2.1.2. Selección de superficie de prueba**

Es importante asegurarse de que la zona de prueba tenga las dimensiones adecuadas de al menos 100 mm de espesor y 150 mm de diámetro, ya que esto evitará mediciones incorrectas debido a la elasticidad del elemento. Además, es necesario sujetar firmemente todos los componentes sueltos antes de realizar la prueba. [28]

#### **2.4.1.2.1.3. Preparación de superficie de prueba**

Antes de llevar a cabo la prueba es necesario remover cualquier capa de pintura, polvo o sustancias extrañas al concreto, que puedan afectar el índice de rebote. En caso de que la superficie presente irregularidades, será necesario pulirla con una piedra abrasiva hasta que quede completamente lisa, para así efectuar al menos 10 impactos con el esclerómetro. [28]

Para llevar a cabo los impactos es aconsejable realizar una cuadrícula, seleccionando puntos de impacto que no estén a una distancia menor de 25mm entre sí o desde el borde del elemento.

#### **2.4.1.2.1.4. Procedimiento**

Para realizar el ensayo de manera eficiente, primero se deberá sujetar el esclerómetro correctamente, es decir, colocándolo en forma perpendicular a la superficie ensayada. Una vez producido el impacto, se dará a conocer el valor del índice de rebote; se tomarán al menos 10 lecturas registrando la posición y orientación del esclerómetro,

para obtener una estimación más precisa, detallada y confiable del índice de rebote en la zona ensayada. [28]

Es importante considerar que el valor de rebote (medido por un número) para una mezcla de concreto específica, puede verse afectado por varios componentes como: el tipo de encofrado utilizado en la construcción del elemento, el espesor de la estructura, grado de carbonatación de la superficie del concreto, la humedad de la superficie de la zona de prueba, el material y acabado utilizado entre otros. Por lo tanto, al interpretar los resultados del valor de rebote, es necesario considerar estos factores.[27]

#### **2.4.1.2.1.5. Esclerómetro Original Schmidt Live OS8000**

##### **2.4.1.2.1.5.1. Principio Físico del Esclerómetro Original Schmidt Live**

La prueba del martillo de rebote se basa en la idea de que “el rebote de una masa elástica está condicionado por la rigidez de la superficie donde la masa golpea”.

Para llevar a cabo esta prueba, se emplea una masa impulsada por un resorte con una energía constante que se transfiere al estirar el resorte hasta una posición específica, para ello, se presiona el pistón contra la superficie del concreto que se quiere evaluar.[29]

Este dispositivo mide el valor de rebote “R”, en base a la ecuación 1, se ha demostrado que hay una relación específica entre la dureza, el valor “R” y la resistencia del concreto:

$$R = 100 * \sqrt{\frac{E_r}{E_f}} = 100 * \sqrt{\frac{\frac{1}{2} D x_R^2}{\frac{1}{2} D x_0^2}} = 100 * \frac{x_R}{x_0} \quad (1)$$

---

<sup>1</sup>. Ecuación para medir el valor de rebote R. [29]

Donde:

R = Valor de Rebote

D = Constante del Resorte

Er = Energía después del impacto

Ef = Energía antes del impacto

x0 = Distancia antes del impacto

xR = Distancia del rebote [29]

#### **2.4.1.2.1.5.2. Factores que afectan a las mediciones**

- El rebote R varía según la dirección del impacto, ya sea horizontal o verticalmente hacia arriba o abajo.
- Los valores de rebote R medidos pueden aumentar significativamente debido a cuan antiguo sea el concreto y lo profundo de la carbonatación.
- El tipo de muestra de comparación utilizada (ya sea un cubo o un cilindro) y su tamaño también pueden influir en los valores de rebote R medidos. [29]

#### **2.4.1.2.1.5.3. Esclerómetro Schmidt tipo N y L**

El esclerómetro tipo N podrá emplearse para llevar a cabo pruebas en componentes de concreto con un espesor de 100 mm o más, y cuyo tamaño de partícula máximo sea  $\leq 32$  mm. Por otro lado, se podrán utilizar los modelos L para realizar pruebas en componentes de dimensiones reducidas, tales como elementos de pared delgada con un espesor de entre 50 y 100 mm.[29]

#### 2.4.1.2.1.5.4. Partes del Esclerómetro Schmidt tipo N y L

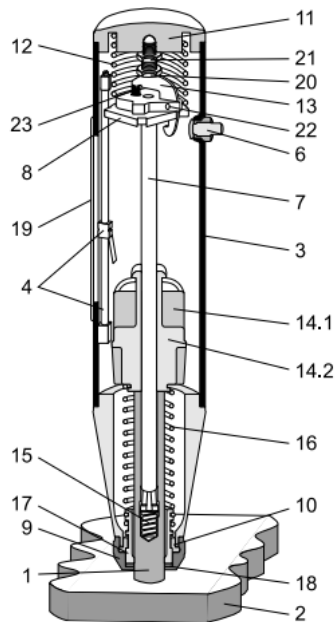


Fig. 8. Partes del Esclerómetro Schmidt tipo N y L  
Fuente: [21]

Tabla V. Partes del esclerómetro. Fuente: [30]

Número	Parte del Esclerómetro
1	Punzón de impacto
2	Superficie de ensayo
3	Caja
4	Corredora con varilla de guía
5	Sin usar
6	Botón, completo
7	Barra de guía del martillo
8	Disco de guía
9	Capuchón
10	Anillo de dos partes
11	Cubierta trasera
12	Muelle de compresión
13	Fiador
14	Masa del martillo: 14.1 modelo N, 14.2 modelo L
15	Muelle de retención
16	Muelle de impacto
17	Manguito de guía
18	Anillo de fieltro
19	Ventana de plexiglás
20	Tornillo de tope
21	Contratuerca
22	Espiga
23	Muelle de fiador

### 2.4.1.2.1.6. Aplicación Móvil OS Schmidt Live OS8000

El martillo de rebote OS Schmidt Live OS8000 posee una aplicación que está conectado a la nube, lo cual permite eliminar la necesidad de llevar registros a mano y tener una buena disponibilidad de los datos obtenidos, además, proporciona un buen rendimiento y gran facilidad de uso.

Ventajas de la aplicación móvil:

- Respalda datos de manera automática.
- La información obtenida mediante la utilización de la aplicación móvil se transfiere automáticamente a una herramienta de informes en línea, sin necesidad de ingresar datos manualmente.
- Permite crear una curva personalizada.
- Realiza reportes en formato PDF o CSV.[30]



Fig. 9. Aplicación Móvil  
Adaptado de: [30]

#### **2.4.1.2.2. Ensayo de Penetración**

La finalidad de este método es la evaluación de la resistencia, mediante la penetración de una aguja o sonda de acero, evaluando así, la homogeneidad del concreto e identificando áreas de baja calidad en las estructuras de concreto. Este ensayo se realiza en sitio, mide la hondura del agujero creado por la introducción de la aguja o el largo de la aguja de acero.[27]

#### **2.4.1.2.3. Ensayo de Madurez**

El ensayo de madurez tiene como propósito medir la resistencia por medio del uso de un índice de madurez, que se determina a partir del componente de temperatura-tiempo o la edad equivalente a una temperatura específica. En otras palabras, la madurez hace referencia al progreso de la resistencia del concreto en función la temperatura y del tiempo. [27]

#### **2.4.1.2.4. Ensayo de Extracción por deslizamientos**

Es un procedimiento de evaluación que identifica la capacidad del concreto endurecido para resistir la extracción por deslizamiento (pull-out), midiendo la fuerza necesaria para remover un aparato metálico insertado en el concreto. [27]

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

Con el objetivo de llevar a cabo esta investigación y lograr obtener modelos matemáticos que determinen la resistencia a la compresión por medio de ensayos tanto destructivos como no destructivos, se desarrollaron diversos procesos que se detallan a continuación.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Materiales de Construcción y Mecánica de Suelos del campus universitario Azogues, de la Universidad Católica de Cuenca.

#### 3.1. Cantidad de muestras

Para determinar la cantidad de muestras, se usó como referencia la guía para la evaluación de resultados de las pruebas de resistencia del concreto elaborada por el comité American Concrete Institute (ACI) 214R -11 [31], donde establece en el capítulo 5, sección 5.2 que la cantidad mínima de ensayos consecutivos a efectuarse es de 30 especímenes.

Por lo tanto, se realizó 96 especímenes, de los cuales se subdividieron para las 3 resistencias que se utilizó (210, 240 y 300 kg/cm<sup>2</sup>).

Para  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup> (4 probetas a los 5, 7, 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días c/u).

Para  $f'c$  240 kg/cm<sup>2</sup> (4 probetas a los 5, 7, 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días c/u).

Para  $f'c$  300 kg/cm<sup>2</sup> (4 probetas a los 5, 7, 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días c/u).

### 3.2. Ensayos de Agregados

Con el fin de llevar a cabo el análisis de granulometría, se realizaron pruebas para cada uno de los agregados, siguiendo las pautas establecidas en la norma INEN 696 [10].

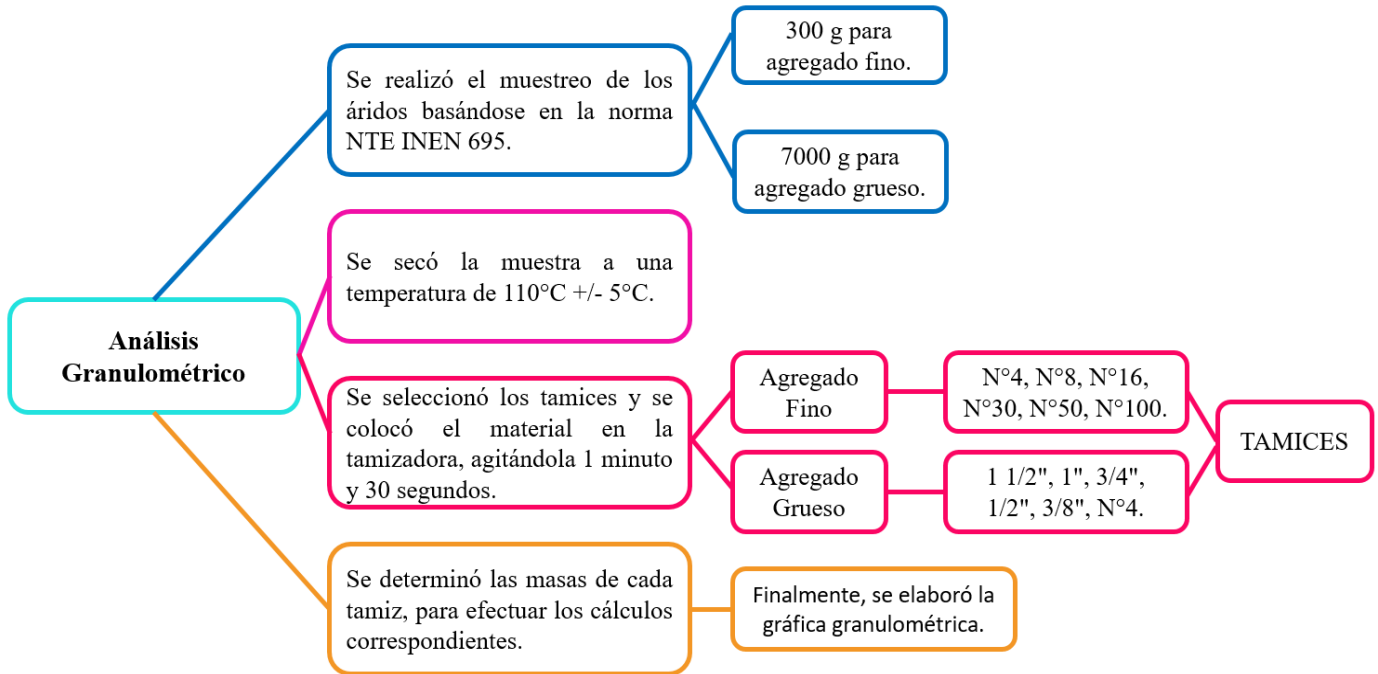


Fig. 10. Análisis de granulometría  
Fuente: Autor

### 3.3. Ensayos de Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Árido Fino y Grueso

Para establecer los valores de Densidad, Densidad Relativa y Absorción de los Áridos Gruesos y Finos, se utilizó como referencia la norma INEN 857 [32] para el árido grueso y la norma INEN 856 [33] para el árido fino.

A continuación, se describe el proceso para realizar estos ensayos:

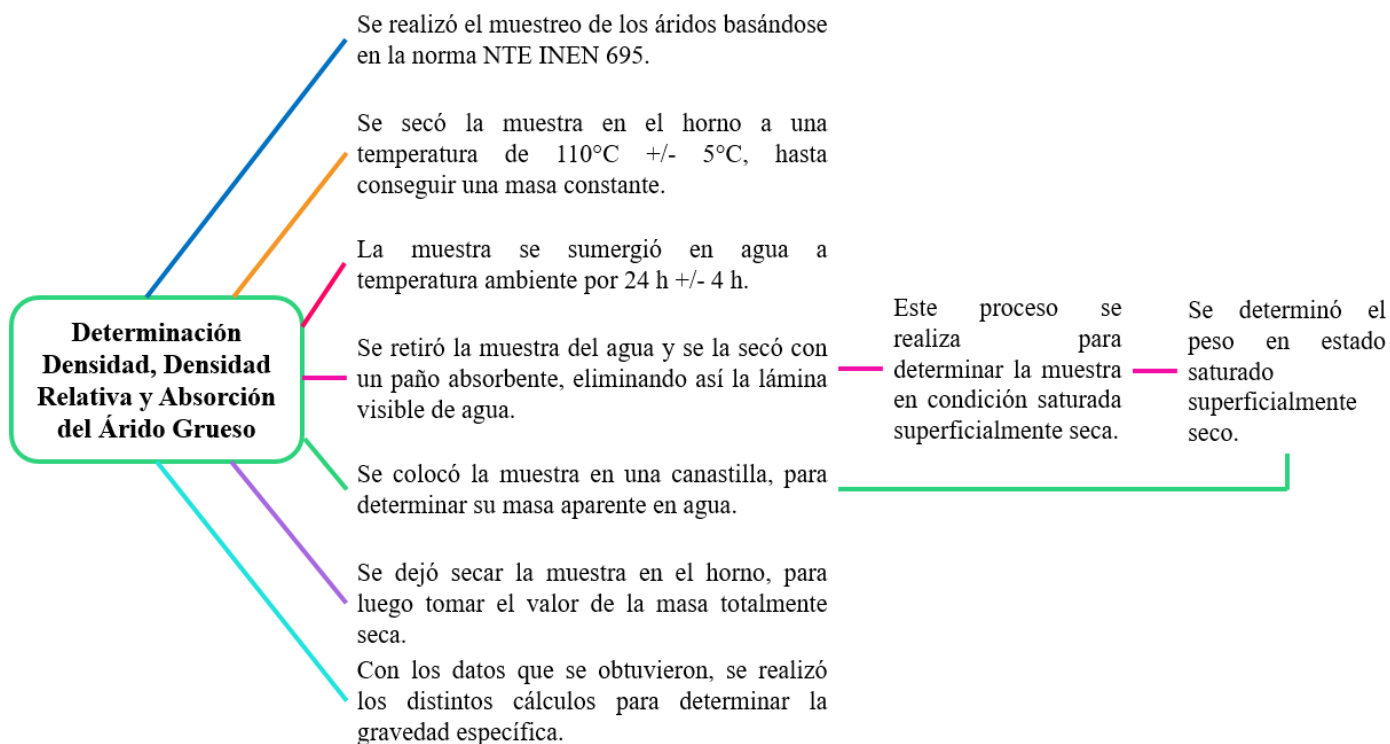


Fig. 11. Determinación Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Árido Grueso  
Fuente: Autor

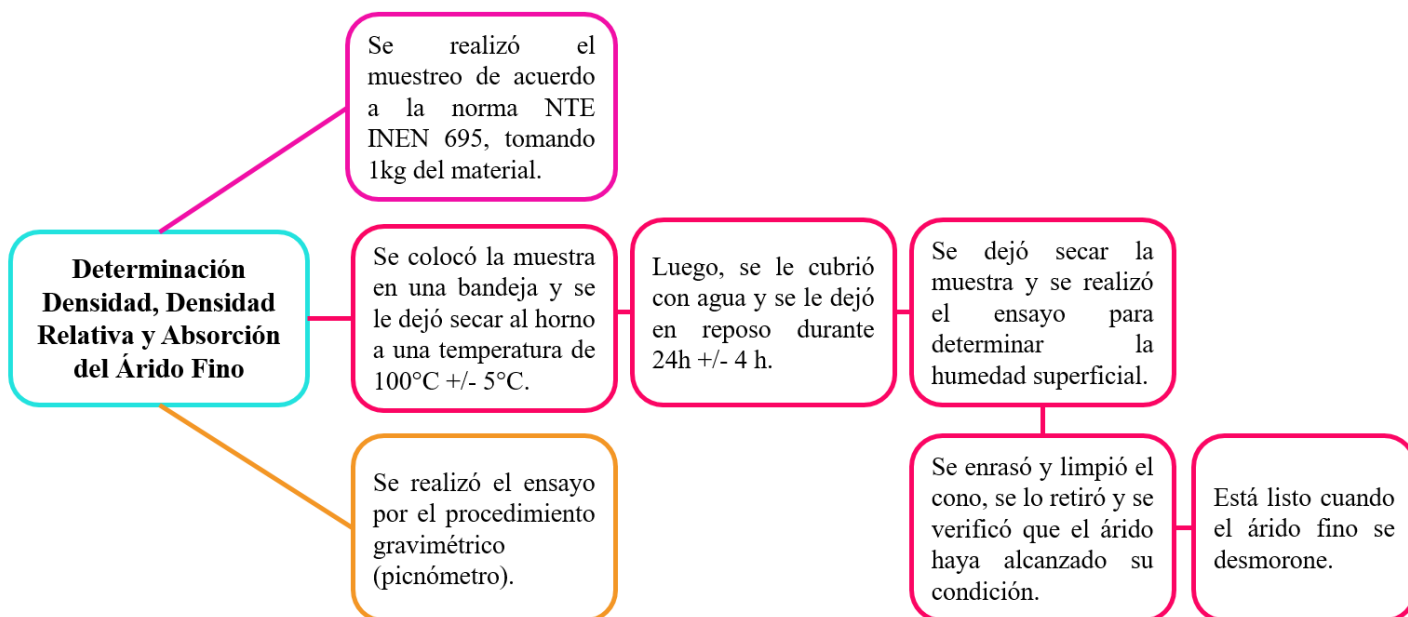


Fig. 12. Determinación Densidad, Densidad Relativa y Absorción del Árido Fino  
Fuente: Autor

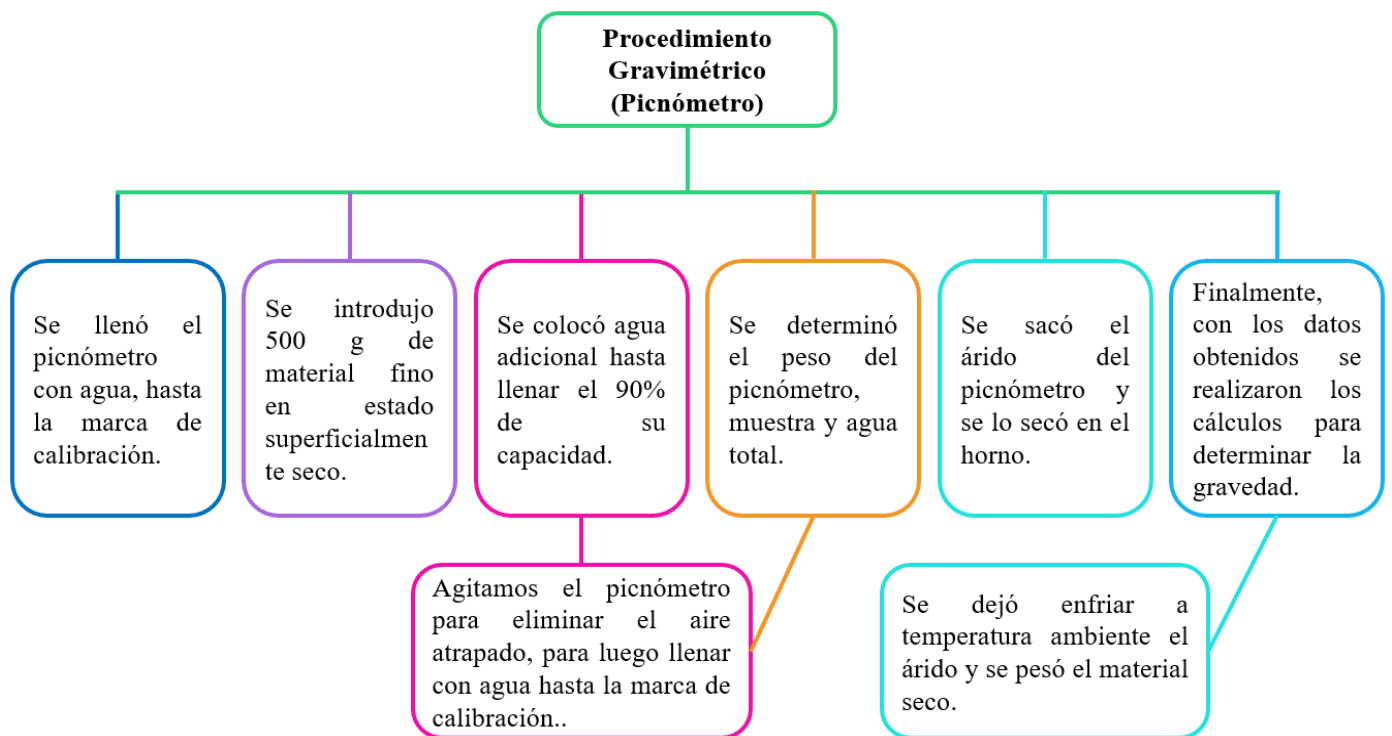


Fig. 13. Procedimiento gravimétrico (picnómetro)  
Fuente: Autor

### 3.4. Determinación de la Masa Unitaria (peso volumétrico) y el Porcentaje de Vacíos

Para dar a conocer la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos, se basó en la norma INEN 858[34], sintetizando el procedimiento en lo siguiente:

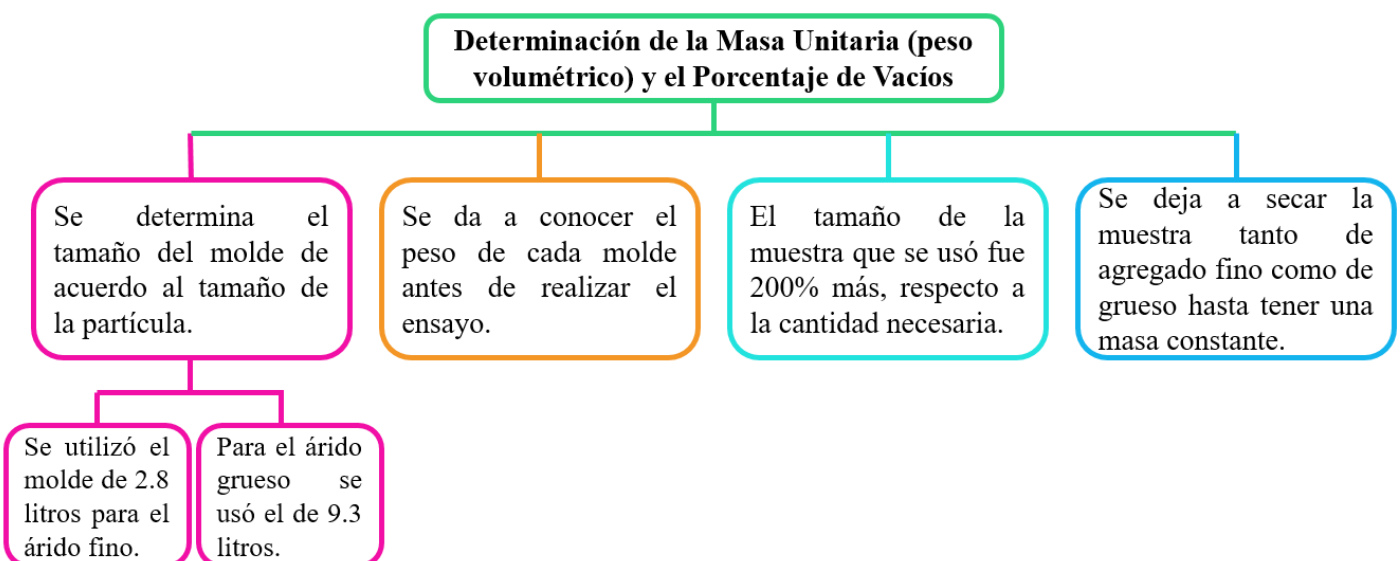


Fig. 14. Procedimiento de determinación.  
Fuente: Autor

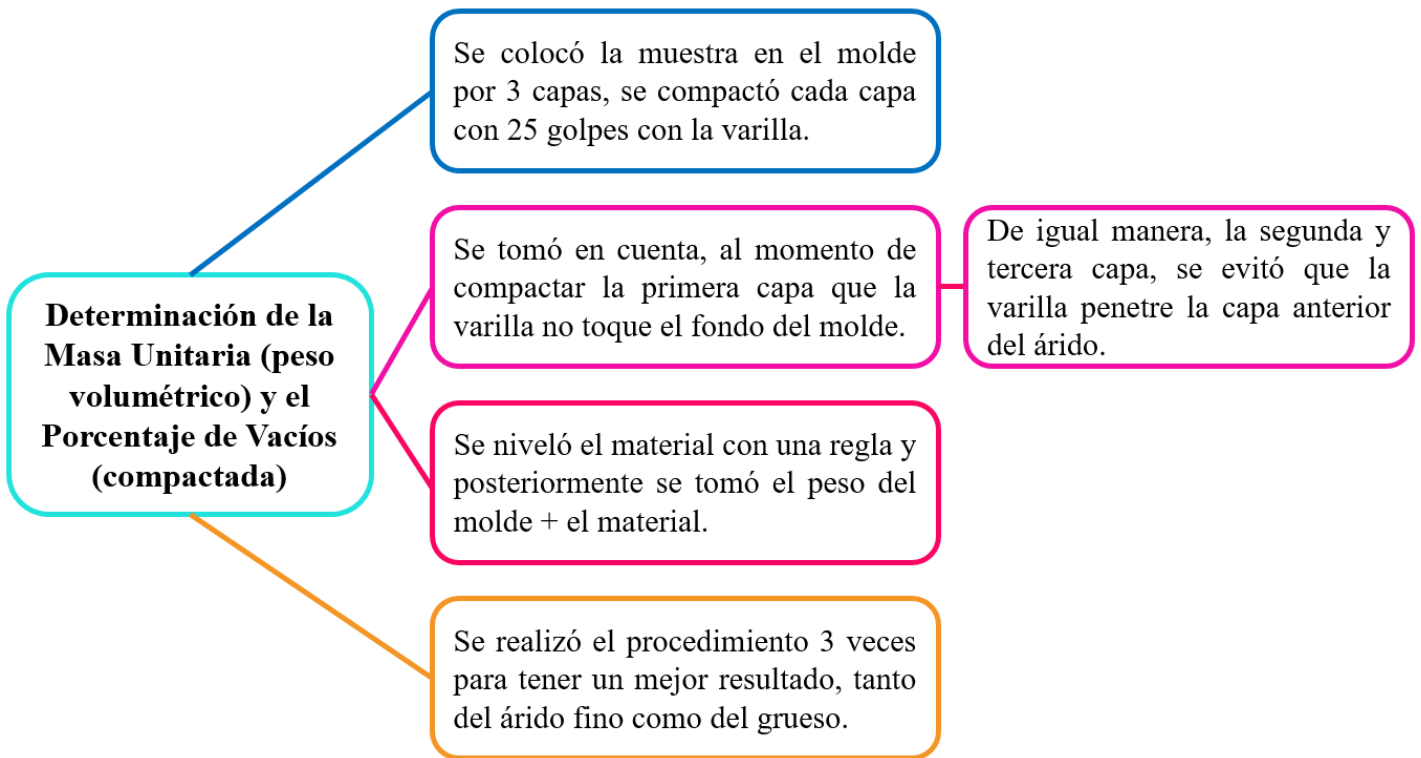


Fig. 15. Procedimiento de determinación (compactada)  
Fuente: Autor

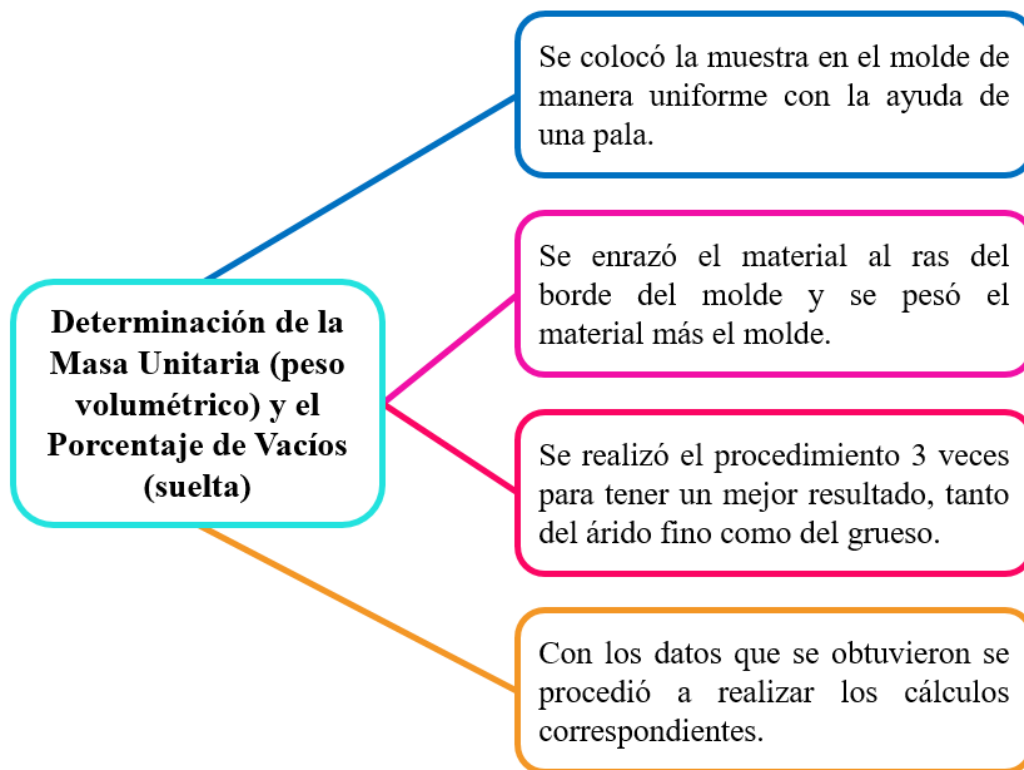


Fig. 16. Procedimiento de determinación (suelta)  
Fuente: Autor

### 3.5. Diseño de Mezclas de Concreto

Para realizar el diseño se escogió el método ACI 211, para cumplir con dicha norma, se siguió una serie de procedimientos detallados a continuación:

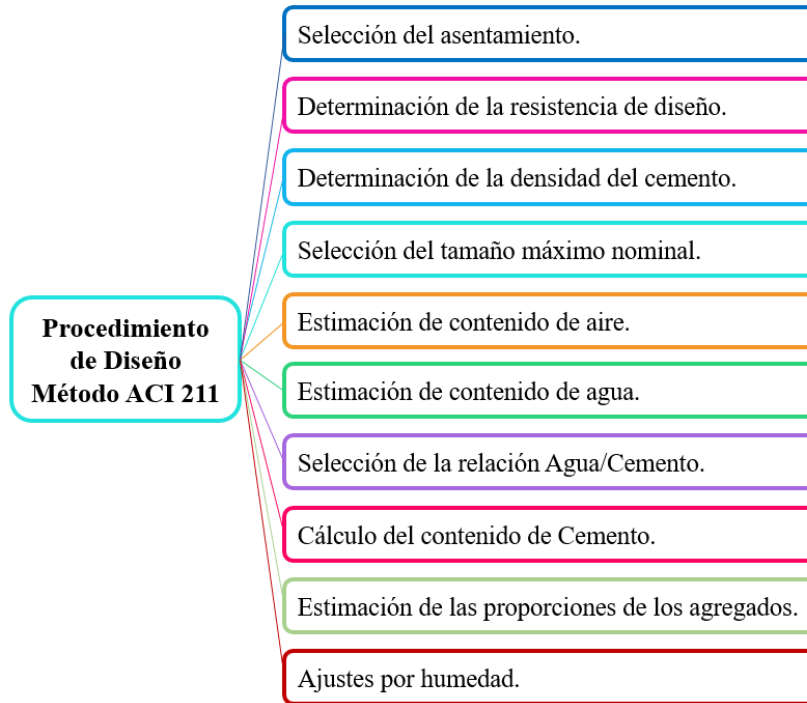


Fig. 17. Procedimiento de Diseño Método ACI 211  
Fuente: Autor

El procedimiento detallado para las 3 resistencias, se encuentran en el ANEXO 7, 8 y 9.

### 3.6. Proceso de Producción

Para este estudio se ensayaron probetas de hormigones de 210, 240 y 300 kg/cm<sup>2</sup>, por ser los más usados en obra, la dosificación se realizó de acuerdo al proceso de ACI 211 mencionado anteriormente.

#### 3.6.1. Materiales para la elaboración del concreto

Los materiales utilizados se detallan en la tabla VI:

Tabla VI. Materiales para la elaboración del concreto. Fuente: Autor

	<b>Material</b>	<b>Procedencia</b>	<b>Proveedor</b>
Árido Fino	Arena Mediana	Cantera Rokazul	
Árido Grueso	Grava 3/4", 3/8", N°4	Cantera Rokazul	
Material Cementante	Cemento Portland tipo GU	Disensa Cañar	Holcim Ecuador

### 3.6.2. Equipos

#### 3.6.2.1. Equipos para la elaboración de probetas

Se utilizaron 32 moldes cilíndricos para cada resistencia, con medidas 200 mm de altura y 100 mm de diámetro, una varilla de compactación, un martillo de hule, acorde a la norma INEN 3124. [35]

#### 3.6.2.2. Equipos para el ensayo de Asentamiento

En base a la norma INEN 1 578, se calculó el asentamiento con los siguientes equipos: molde de metal llamado cono de ABRAMS, cuya base menor tiene una dimensión 100 +/- 3 mm y la base mayor 200 +/- 3 mm, varilla de compactación, instrumento de medida (en este caso se hizo uso de una regla) y cucharón. [36]

#### 3.6.2.3. Equipos para el ensayo de Resistencia a Compresión

Empleamos la norma INEN 1 573 [37] como referencia, utilizamos una báscula, una máquina para ensayo a compresión de marca ELE Internacional, con suficiente capacidad.

#### 3.6.2.4. Equipos para el ensayo de Esclerometría

Los equipos usados para el ensayo de esclerometría fueron los siguientes: martillo de rebote Original Schmidt Live (Proceq) tipo N, piedra abrasiva, regla graduada, lápiz, basándonos en la norma NTE INEN 3121. [4]

### 3.6.3. Elaboración de Probetas de Concreto

Se elaboró 32 cilindros por cada resistencia basándose en la norma INEN 3124 [35], en las tablas VII, VIII, IX, se detallan las dosificaciones para 1 m<sup>3</sup> concreto para cada resistencia.

Tabla VII. Pesos en kg (210 kg/cm<sup>2</sup>). Fuente: Autor

<b>Pesos para 1 m<sup>3</sup> de concreto en kg (210 kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
Agua	=	189
Cemento	=	358
Grava	=	848
Arena	=	855

Tabla VIII. Pesos en kg (240 kg/cm<sup>2</sup>). Fuente: Autor

<b>Pesos para 1 m<sup>3</sup> de concreto en kg (240 kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
Agua	=	204
Cemento	=	385
Grava	=	848
Arena	=	817

Tabla IX. Pesos en kg (300 kg/cm<sup>2</sup>). Fuente: Autor

<b>Pesos para 1 m<sup>3</sup> de concreto en kg (300 kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
Agua	=	211
Cemento	=	443
Grava	=	848
Arena	=	761

Después de obtener las cantidades necesarias, se prepararon las probetas, comenzando con una limpieza exhaustiva y posteriormente aplicando una capa de desmoldante. Se verificó cuidadosamente que las probetas estuvieran completamente selladas con el fin de evitar cualquier fuga de material.

Luego de realizar la mezcla respectiva, se determinó el asentamiento según la norma INEN 1 578 [36].

### 3.6.4. Ensayo de Esclerometría

Después de transcurrir los períodos de curado de 5, 7, 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días, se procedió a realizar el ensayo de esclerometría. La figura siguiente muestra los procedimientos llevados a cabo en dicha evaluación:

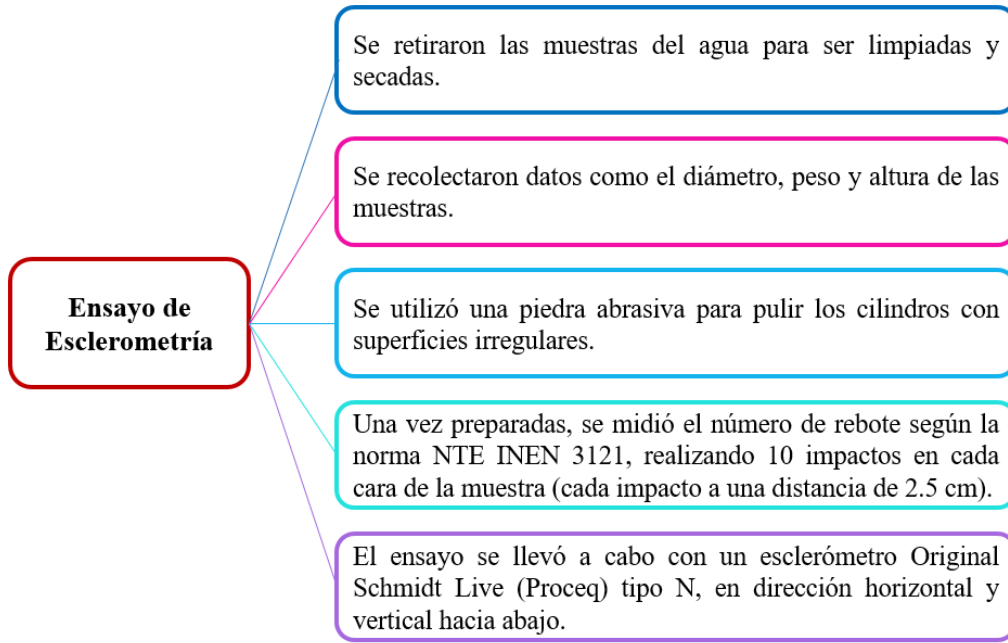


Fig. 18. Pasos para realizar el ensayo de esclerometría  
Fuente: Autor

### 3.6.5. Ensayo de Compresión

Luego de haber ejecutado el ensayo de esclerometría, los mismos especímenes se ensayaron a compresión; se sometieron las probetas de concreto, a un aplastamiento en una prensa especialmente diseñada para esta aplicación, hasta producir la falla. El procedimiento para realizar este ensayo está normado por NTE INEN 1 573 [37].

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Ensayo de Agregados

Las propiedades principales de los agregados usadas en la investigación fueron: análisis granulométrico para agregado fino y grueso, módulo de finura de 2.80 y tamaño máximo nominal  $\frac{3}{4}$ ”; densidades obtenidas para el árido fino, densidad relativa (gravedad específica) (SH) de 2.37, densidad relativa (gravedad específica) (SSS) de 2.49, densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) de 2.70, densidad (SH)  $\text{kg/cm}^3$  igual a 2366.87, densidad (SSS)  $\text{kg/cm}^3$  igual a 2487.41, densidad aparente  $\text{kg/cm}^3$  igual a 2692.20 y una absorción de 5.09; densidades obtenidas para el árido grueso: densidad relativa (gravedad específica) (SH) 2.61, densidad relativa (gravedad específica) (SSS) de 2.65, densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) 2.74, densidad (SH)  $\text{kg/cm}^3$  igual a 2598.54, densidad (SSS)  $\text{kg/cm}^3$  igual a 2647.06, densidad aparente  $\text{kg/cm}^3$  igual a 2731.39 y una absorción de 1.87; masa unitaria y porcentajes de vacíos de los agregados, para el agregado fino la masa unitaria compacta fue igual a 1352.27  $\text{kg/cm}^3$  y masa unitaria suelta igual a 1280.27  $\text{kg/cm}^3$ , para el árido grueso la masa unitaria compacta 1528.08  $\text{kg/cm}^3$  y una masa unitaria suelta igual a 1416.82  $\text{kg/cm}^3$ , además, la elaboración de la mezcla de concreto se realizó usando el procedimiento explicado en el Método ACI 211.

#### 4.2. Ensayo de Resistencia de Compresión

Según los ensayos llevados a cabo en las 96 probetas cilíndricas, se lograron obtener los resultados siguientes.

Para las muestras de resistencia igual a 210  $\text{kg/cm}^2$ , en sus diferentes edades, en la prensa hidráulica:

Tabla X. Resultado de resistencia a compresión 210 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Autor

<b>210 kg/cm<sup>2</sup></b>	
<b>Edad (días)</b>	<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
5	97,78
7	140,78
14	150,96
21	164,50
23	178,02
26	187,84
28	214,67
56	222,19

Para las probetas con el diseño de 240 kg/cm<sup>2</sup>, se obtuvo:

Tabla XI. Resultado de resistencia a compresión 240 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Autor

<b>240 kg/cm<sup>2</sup></b>	
<b>Edad (días)</b>	<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
5	102,24
7	112,30
14	150,66
21	205,13
23	218,77
26	229,99
28	241,74
56	243,47

En cuanto a las probetas cilíndricas de 300 kg/cm<sup>2</sup>, las resistencias alcanzadas a las diferentes edades fueron:

Tabla XII. Resultado de resistencia a compresión 300 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Autor

<b>300 kg/cm<sup>2</sup></b>	
<b>Edad (días)</b>	<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
5	163,50
7	178,71
14	214,82
21	234,97

23	259,25
26	274,73
28	300,51
56	304,62

### 4.3. Ensayo de Esclerometría

Para realizar este ensayo, se examinaron 32 cilindros de cada nivel de resistencia. Se evaluaron 16 cilindros en posición horizontal y 16 cilindros en posición vertical, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla XIII. Resultado de esclerometría para dosificación de 210, 240 y 300 kg/cm<sup>2</sup>, posición horizontal. Fuente: Autor

<b>HORIZONTAL</b>			
<b>Edad (días)</b>	<b>Dosificación de 210 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Dosificación de 240 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Dosificación de 300 kg/cm<sup>2</sup></b>
	<b># Rebote (esclerómetro)</b>	<b># Rebote (esclerómetro)</b>	<b># Rebote (esclerómetro)</b>
5	S/N	S/N	10,30
5	S/N	S/N	10,20
7	10,90	11,20	14,80
7	11,20	11,80	14,80
14	16,20	16,70	22,60
14	16,40	15,70	25,40
21	25,30	25,40	29,30
21	25,30	26,00	29,30
23	26,90	27,80	31,50
23	26,80	28,10	31,90
26	27,50	28,90	33,30
26	27,30	29,00	33,30
28	28,10	29,70	35,20
28	28,40	29,90	35,50
56	28,80	31,10	36,20
56	29,70	31,10	36,40

Tabla XIV. Resultado de esclerometría para dosificación de 210, 240 y 300 kg/cm<sup>2</sup>, posición vertical. Fuente: Autor

<b>VERTICAL</b>			
<b>Edad (días)</b>	<b>Dosificación de 210 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Dosificación de 240 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Dosificación de 300 kg/cm<sup>2</sup></b>
	<b># Rebote (esclerómetro)</b>	<b># Rebote (esclerómetro)</b>	<b># Rebote (esclerómetro)</b>
5	S/N	S/N	10,20

5	S/N	S/N	10,30
7	10,50	10,50	12,90
7	10,60	10,70	12,40
14	11,50	12,70	17,90
14	11,50	13,50	21,90
21	22,10	23,60	25,80
21	21,90	24,10	25,90
23	23,40	25,00	26,70
23	22,80	24,80	27,00
26	24,10	27,00	29,10
26	24,30	26,30	29,30
28	25,70	27,30	30,90
28	24,50	27,90	31,30
56	26,10	28,90	32,40
56	27,00	29,30	32,60

#### 4.4. Resultados de resistencia obtenida mediante la aplicación móvil OS Schmidt.

Se obtuvo la resistencia mediante la aplicación móvil OS Schmidt del esclerómetro, los resultados de horizontal y vertical se muestran en las tablas XV, XVI:

Tabla XV. Resultado de resistencia obtenida mediante la aplicación móvil, horizontal. Fuente: Autor

HORIZONTAL						
Edad (días)	Dosificación de 210 kg/cm <sup>2</sup>		Dosificación de 240 kg/cm <sup>2</sup>		Dosificación de 300 kg/cm <sup>2</sup>	
	# Rebote	(aplicación móvil)	# Rebote	(aplicación móvil)	# Rebote	(aplicación móvil)
5	S/N	S/N	S/N	S/N	10,30	S/N
5	S/N	S/N	S/N	S/N	10,20	S/N
7	10,90	S/N	11,20	S/N	14,80	S/N
7	11,20	S/N	11,80	S/N	14,80	S/N
14	16,20	S/N	16,70	S/N	22,60	108,89
14	16,40	S/N	15,70	S/N	25,40	143,25
21	25,30	142,69	25,40	143,25	29,30	192,97
21	25,30	142,69	26,00	156,00	29,30	192,97
23	26,90	161,40	27,80	171,94	31,50	222,53
23	26,80	160,80	28,10	180,64	31,90	225,35
26	27,50	170,09	28,90	186,78	33,30	249,24
26	27,30	168,85	29,00	191,00	33,30	249,24
28	28,10	180,64	29,70	196,61	35,20	283,61
28	28,40	182,57	29,90	198,92	35,50	286,02
56	28,80	185,14	31,10	219,70	36,20	291,61
56	29,70	196,61	31,10	219,70	36,40	293,22

Tabla XVI. Resultado de resistencia obtenida mediante la aplicación móvil, horizontal. Fuente: Autor

VERTICAL						
Edad (días)	Dosificación 210 kg/cm <sup>2</sup>		Dosificación 240 kg/cm <sup>2</sup>		Dosificación 300 kg/cm <sup>2</sup>	
	# Rebote	(aplicación móvil)	# Rebote	(aplicación móvil)	# Rebote	(aplicación móvil)
5	S/N	S/N	S/N	S/N	10,20	S/N
5	S/N	S/N	S/N	S/N	10,30	S/N
7	10,50	S/N	10,50	S/N	12,90	S/N
7	10,60	S/N	10,70	S/N	12,40	S/N
14	11,50	S/N	12,70	S/N	17,90	93,44
14	11,50	S/N	13,50	S/N	21,90	141,82
21	22,10	148,67	23,60	165,20	25,80	191,95
21	21,90	141,82	24,10	173,72	25,90	192,69
23	23,40	163,80	25,00	189,69	26,70	204,35
23	22,80	153,38	24,80	186,18	27,00	212,00
26	24,10	173,72	27,00	212,00	29,10	236,81
26	24,30	175,16	26,30	201,29	29,30	238,44
28	25,70	191,20	27,30	214,35	30,90	257,5
28	24,50	176,60	27,90	219,06	31,30	261,54
56	26,10	199,76	28,90	231,2	32,40	277,42
56	27,00	212,00	29,30	238,44	32,60	279,13

#### 4.5. Resultados de resistencia obtenida mediante curva de conversión.

Mediante la curva de conversión brindada por el fabricante del esclerómetro, se consiguieron los resultados mostrados en las tablas XVII y XVIII.

En el ANEXO 14, se muestra la curva de conversión utilizada.

Tabla XVII. Resultado de resistencia obtenida mediante curva de conversión, horizontal. Fuente: Autor

HORIZONTAL						
Edad (días)	Dosificación de 210 kg/cm <sup>2</sup>		Dosificación de 240 kg/cm <sup>2</sup>		Dosificación de 300 kg/cm <sup>2</sup>	
	# Rebote	(curva de conversión)	# Rebote	(curva de conversión)	# Rebote	(curva de conversión)
5	S/N	S/N	S/N	S/N	10,30	S/N
5	S/N	S/N	S/N	S/N	10,20	S/N
7	10,90	S/N	11,20	S/N	14,80	S/N
7	11,20	S/N	11,80	S/N	14,80	S/N
14	16,20	S/N	16,70	S/N	22,60	112,16
14	16,40	S/N	15,70	S/N	25,40	146,83
21	25,30	144,79	25,40	146,83	29,30	199,86
21	25,30	144,79	26,00	154,99	29,30	199,86

23	26,90	165,19	27,80	176,41	31,50	229,43
23	26,80	163,15	28,10	183,55	31,90	233,51
26	27,50	173,35	28,90	193,74	33,30	252,88
26	27,30	170,29	29,00	195,78	33,30	252,88
28	28,10	183,55	29,70	201,90	35,20	279,40
28	28,40	187,62	29,90	203,94	35,50	284,50
56	28,80	192,72	31,10	224,33	36,20	294,69
56	29,70	201,90	31,10	224,33	36,40	297,75

Tabla XVIII. Resultado de resistencia obtenida mediante curva de conversión, vertical. Fuente: Autor

VERTICAL						
Edad (días)	Dosificación de 210 kg/cm <sup>2</sup>		Dosificación de 240 kg/cm <sup>2</sup>		Dosificación de 300 kg/cm <sup>2</sup>	
	# Rebote	(curva de conversión)	# Rebote	(curva de conversión)	# Rebote	(curva de conversión)
5	S/N	S/N	S/N	S/N	10,20	S/N
5	S/N	S/N	S/N	S/N	10,30	S/N
7	10,50	S/N	10,50	S/N	12,90	S/N
7	10,60	S/N	10,70	S/N	12,40	S/N
14	11,50	S/N	12,70	S/N	17,90	S/N
14	11,50	S/N	13,50	S/N	21,90	145,81
21	22,10	151,93	23,60	170,29	25,80	196,80
21	21,90	145,81	24,10	177,43	25,90	197,82
23	23,40	168,25	25,00	185,58	26,70	209,04
23	22,80	157,03	24,80	183,54	27,00	213,12
26	24,10	177,43	27,00	213,12	29,10	244,73
26	24,30	179,47	26,30	203,94	29,30	245,75
28	25,70	195,78	27,30	218,21	30,90	265,12
28	24,50	181,50	27,90	224,33	31,30	273,28
56	26,10	202,92	28,90	236,57	32,40	286,54
56	27,00	213,12	29,30	245,75	32,60	288,57

#### 4.6. Correlación entre ensayos de resistencia a compresión (prensa) y esclerometría

##### 4.6.1. Correlación entre ensayos de resistencia a compresión (prensa) y esclerometría a los

7, 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Se llevó a cabo la correlación de los resultados tanto en la dirección horizontal como en la vertical. Las gráficas presentadas a continuación corresponden a la correlación de los resultados en la dirección horizontal.

Con el fin de determinar la correlación con el mejor resultado, se examinó el coeficiente de determinación de cada modelo ( $R^2$ ), ya que a medida que el valor del  $R^2$  aumenta, la correlación mejora. Esto se debe a que la línea de tendencia ha tenido en cuenta más datos y/o se ha acercado más a ellos.

Además, en las gráficas es importante considerar, que cuando mayor es la resistencia a la compresión de un material, mayor es su dureza y resistencia a la deformación. Por lo tanto, si se grafica la relación entre el número de rebote y la resistencia a la compresión de un material, se espera que haya una relación directa, es decir, que a medida que la resistencia a la compresión aumenta, el número de rebote también aumenta.

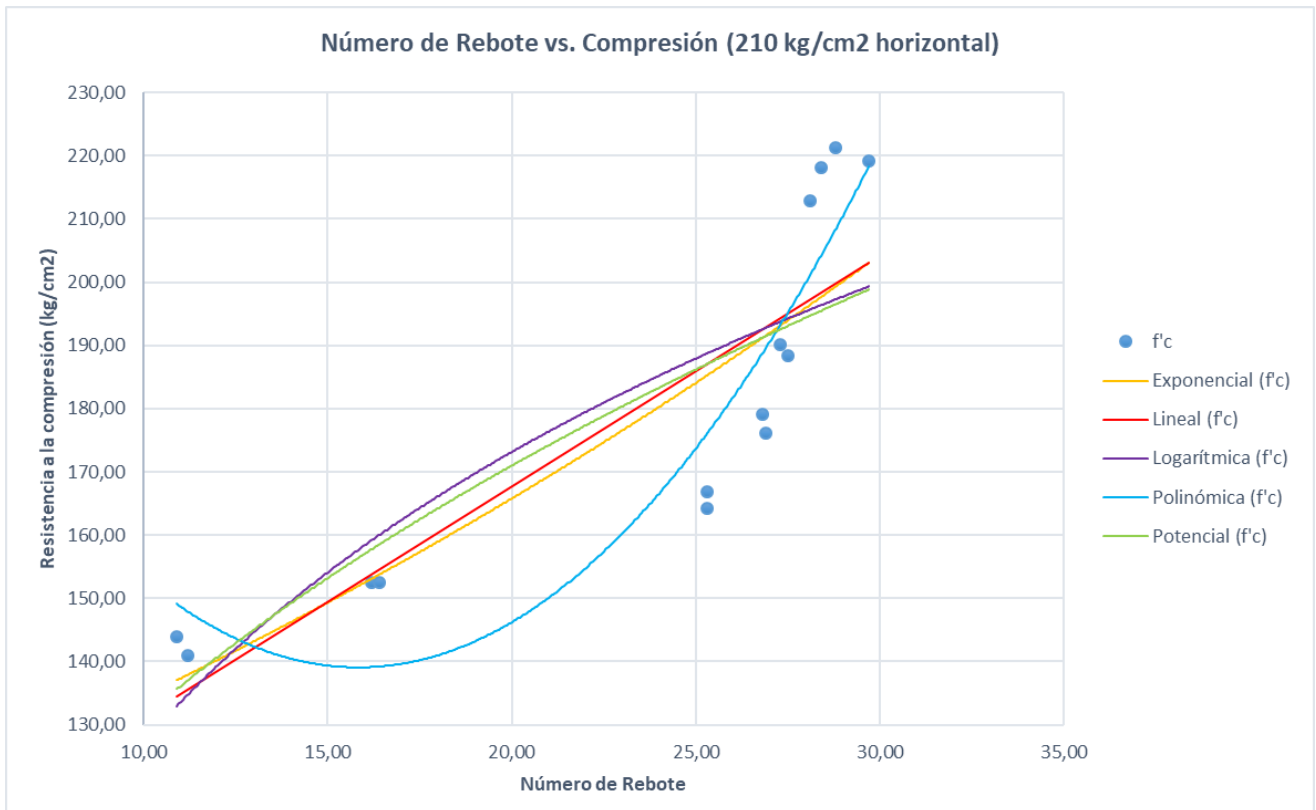


Fig. 19. Correlación 210 kg/cm<sup>2</sup>horizontal 1.  
Fuente: Autor

Tabla XIX. Diferentes R<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Número de Rebote vs. Compresión (210 kg/cm <sup>2</sup> horizontal)		
	Ecuación	R <sup>2</sup>
<b>Exponencial</b>	$y = 109,1e^{0,0209x}$	0,7767
<b>Lineal</b>	$y = 3,6499x + 94,736$	0,7269
<b>Logarítmica</b>	$y = 66,216\ln(x) - 25,211$	0,6661
<b>Polinómica</b>	$y = 0,4124x^2 - 13,059x + 242,46$	0,8615
<b>Potencial</b>	$y = 54,493x^{0,3817}$	0,7197

La ecuación matemática estaría basada en la correlación exponencial, con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.7767$ . Se eligió esta opción ya que en la correlación polinómica como lo indica en la Fig. 19, a pesar de ser la mayor no cumple con la relación a mayor rebote mayor resistencia.

$$y = 109.1e^{0.0209x} \quad (2)$$

Donde:

y = resistencia a la compresión del concreto (kg/cm<sup>2</sup>).

x = Número de rebote.

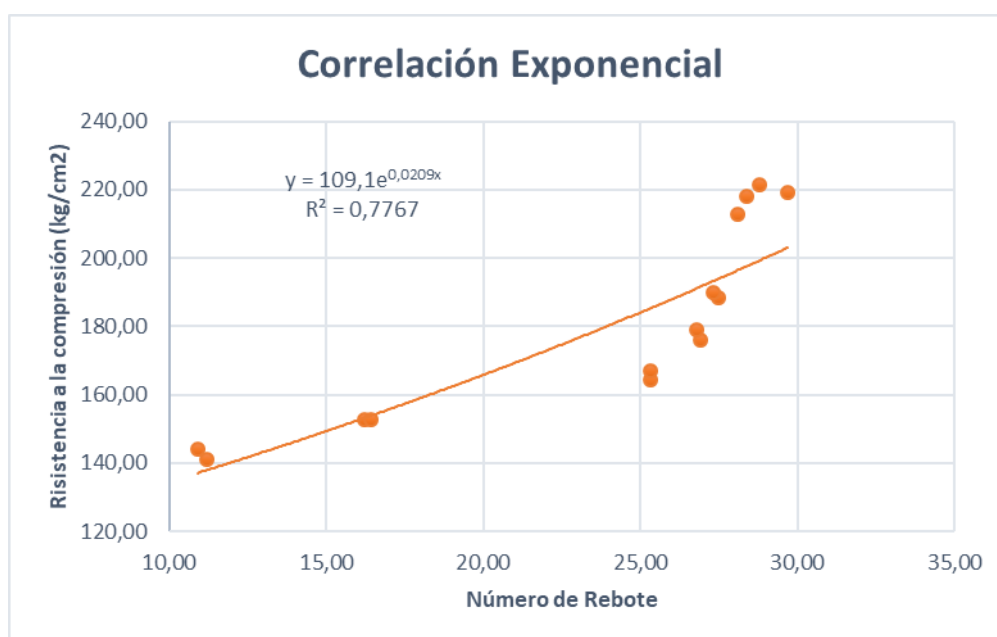


Fig. 20. Correlación Exponencial.  
Fuente: Autor

<sup>2</sup> Ecuación polinómica para resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, posición horizontal.

De igual manera, se realizó para la posición vertical y se obtuvieron los siguientes resultados:

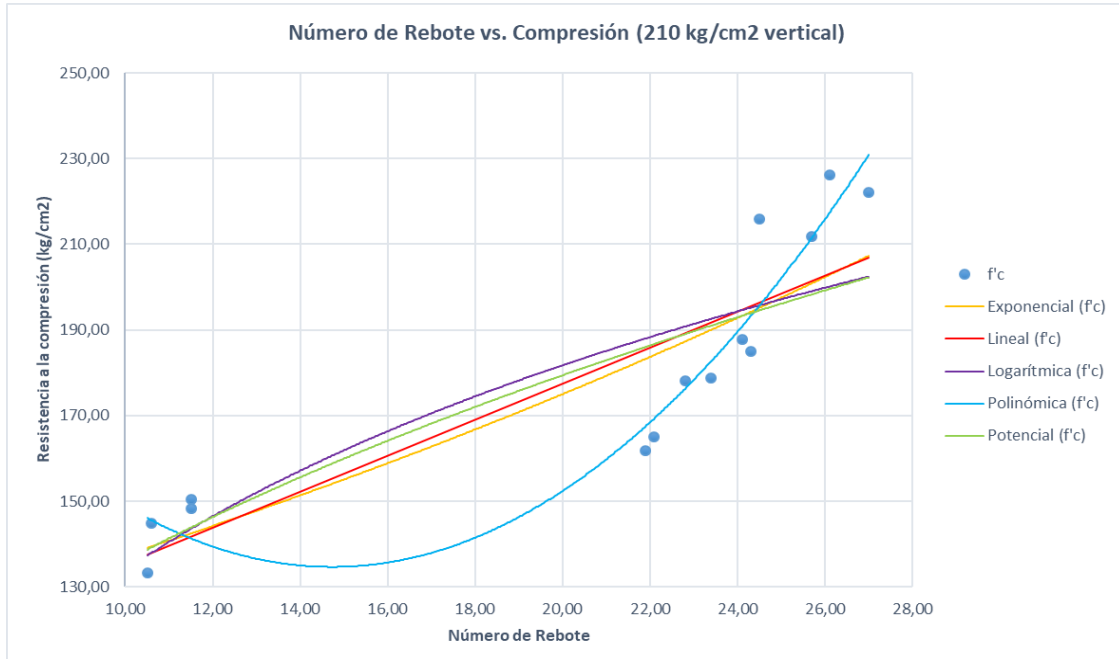


Fig. 21. Correlación 210 kg/cm2 vertical 1.  
Fuente: Autor

Tabla XX. Diferentes R<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Número de Rebote vs. Compresión (210 kg/cm <sup>2</sup> vertical)		
	Ecuación	R <sup>2</sup>
<b>Exponencial</b>	$y = 107,89e^{0,0242x}$	0,8044
<b>Lineal</b>	$y = 4,204x + 93,362$	0,7611
<b>Logarítmica</b>	$y = 68,991\ln(x) - 24,941$	0,7105
<b>Polinómica</b>	$y = 0,6392x^2 - 18,831x + 273,34$	0,917
<b>Potencial</b>	$y = 54,266x^{0,3991}$	0,7594

La ecuación matemática está descrita por la correlación exponencial, con un coeficiente de determinación R<sup>2</sup> = 0.8044, se eligió esta opción porque la correlación polinómica no muestra una relación clara entre la resistencia y el rebote, es decir, no se aprecia que a mayor rebote mayor resistencia.

$$y = 107.89e^{0.0242x} \quad (3)$$

<sup>3</sup> Ecuación polinómica para resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, posición vertical.

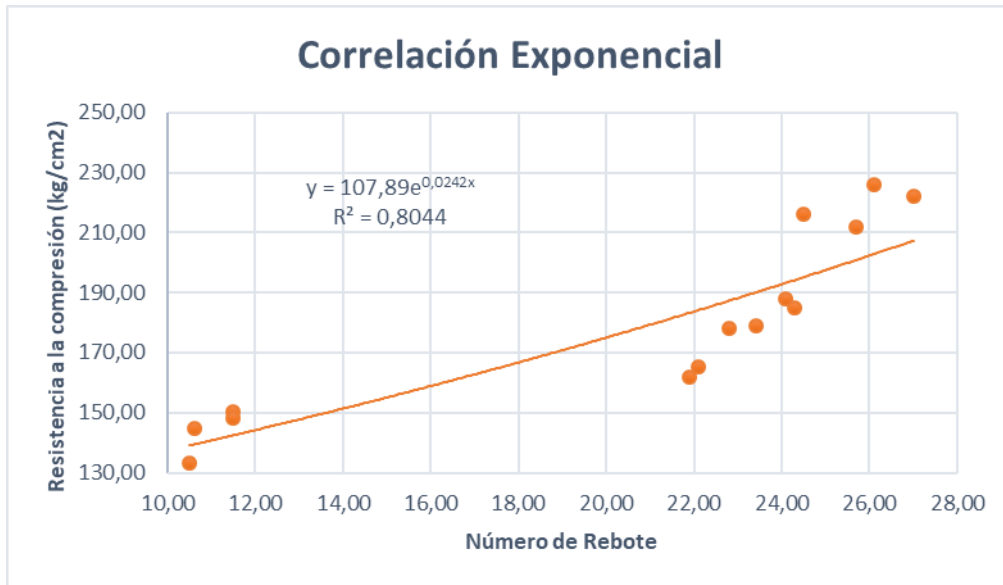


Fig. 22. Correlación Exponencial.  
Fuente: Autor

**4.6.2. Correlación entre ensayos de resistencia a compresión y esclerometría a los 7, 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup>.**

De la misma manera, la correlación se realizó para ambas direcciones, obteniendo los siguientes resultados:

Para la dirección horizontal:

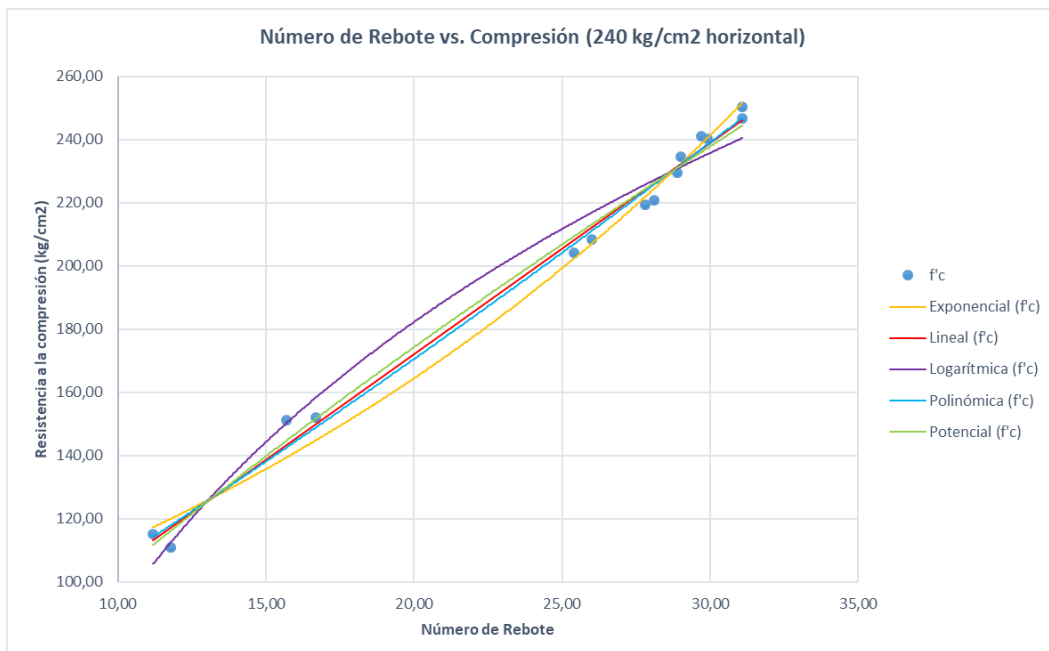


Fig. 23. Correlación 240 kg/cm<sup>2</sup> horizontal 1.  
Fuente: Autor

Tabla XXI. Diferentes R<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Número de Rebote vs. Compresión (240 kg/cm <sup>2</sup> horizontal)		
	Ecuación	R <sup>2</sup>
<b>Exponencial</b>	$y = 76,378e^{0,0384x}$	0,9836
<b>Lineal</b>	$y = 6,6704x + 38,584$	0,9921
<b>Logarítmica</b>	$y = 131,95\ln(x) - 212,98$	0,9807
<b>Polinómica</b>	$y = 0,0246x^2 + 5,6238x + 48,281$	0,9924
<b>Potencial</b>	$y = 17,56x^{0,7662}$	0,9915

La ecuación matemática se define mediante la correlación polinómica, cuyo coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9924$ .

$$y = 0.0246x^2 + 5.6238x + 48.281 \quad (4)$$

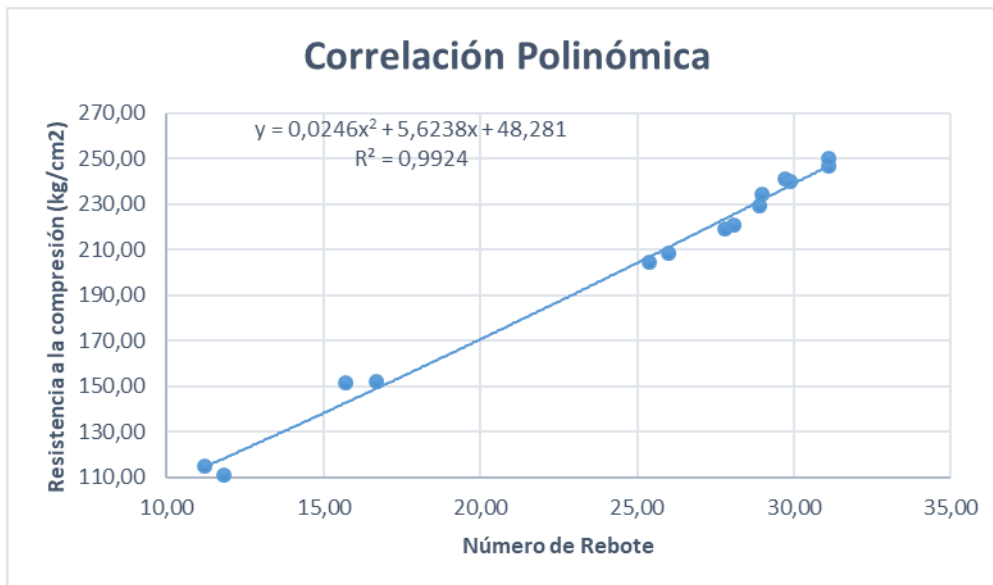


Fig. 24. Correlación Polinómica.  
Fuente: Autor

<sup>4</sup> Ecuación polinómica para resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup>, posición horizontal.

Para la dirección vertical:

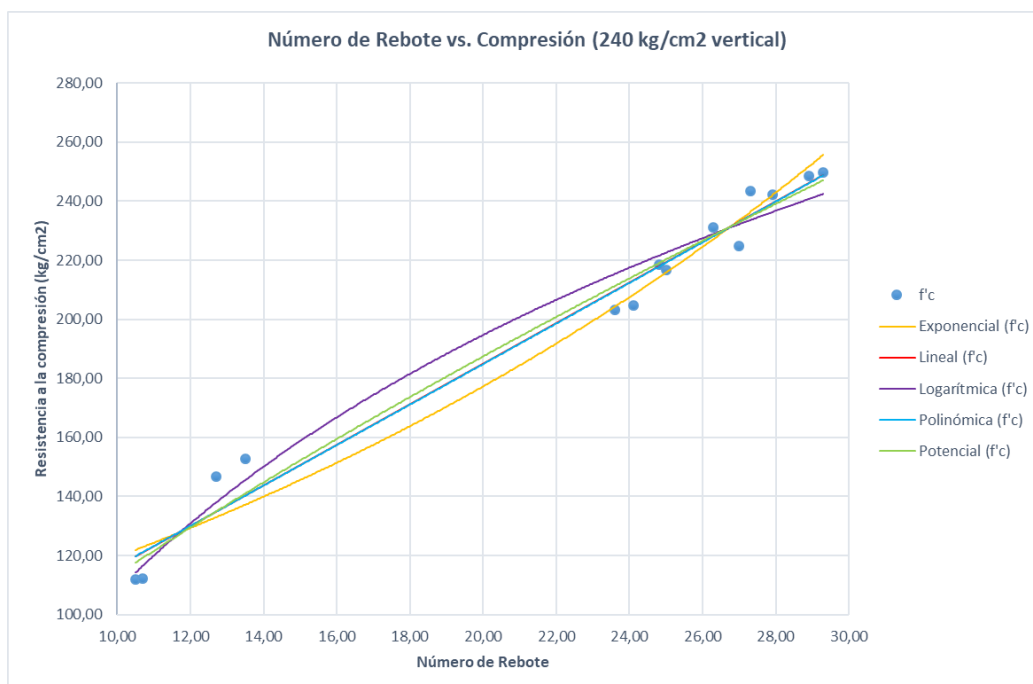


Fig. 25. Correlación 240 kg/cm2 vertical 1.  
Fuente: Autor

Tabla XXII. Diferentes R<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Número de Rebote vs. Compresión (240 kg/cm <sup>2</sup> vertical)		
	Ecuación	R <sup>2</sup>
<b>Exponencial</b>	$y = 80,625e^{0,0394x}$	0,9608
<b>Lineal</b>	$y = 6,8617x + 47,704$	0,9770
<b>Logarítmica</b>	$y = 124,94\ln(x) - 179,58$	0,9795
<b>Polinómica</b>	$y = 0,0017x^2 + 6,794x + 48,272$	0,9771
<b>Potencial</b>	$y = 21,449x^{0,7236}$	0,9744

La ecuación matemática que se utilizaría en este grupo experimental se define mediante la correlación polinómica, cuyo coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9771$ .

$$y = 0.0017x^2 + 6.794x + 48.272 \quad (5)$$

<sup>5</sup> Ecuación polinómica para resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup>, posición vertical.

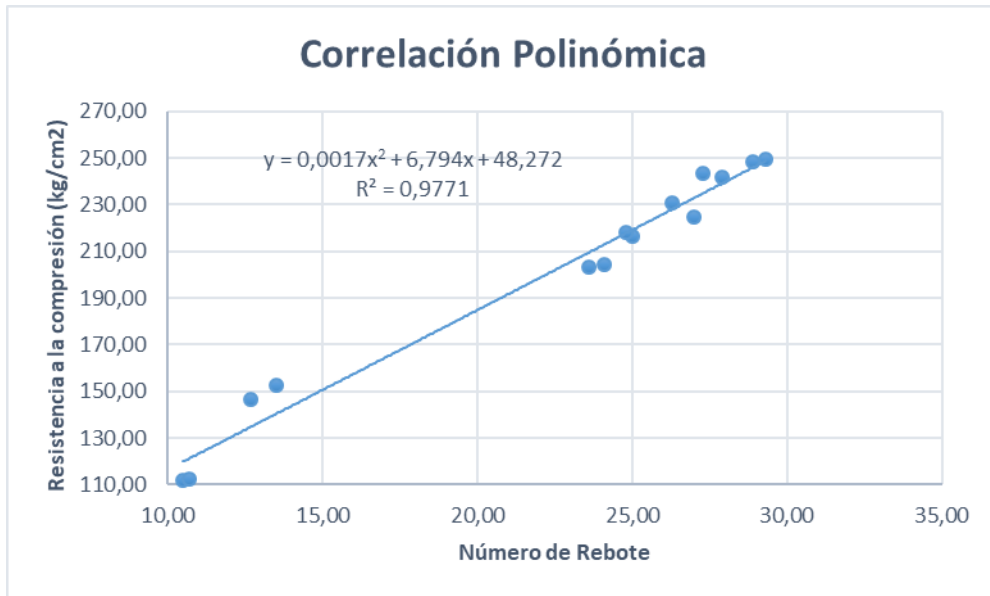


Fig. 26. Correlación polinómica  
 Fuente: Autor

**4.6.3. Correlación entre ensayos de resistencia a compresión y esclerometría a los 7, 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup>.**

Para la resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup>, se calculó las correlaciones para la posición horizontal y vertical, para la horizontal se tienen los siguientes resultados:

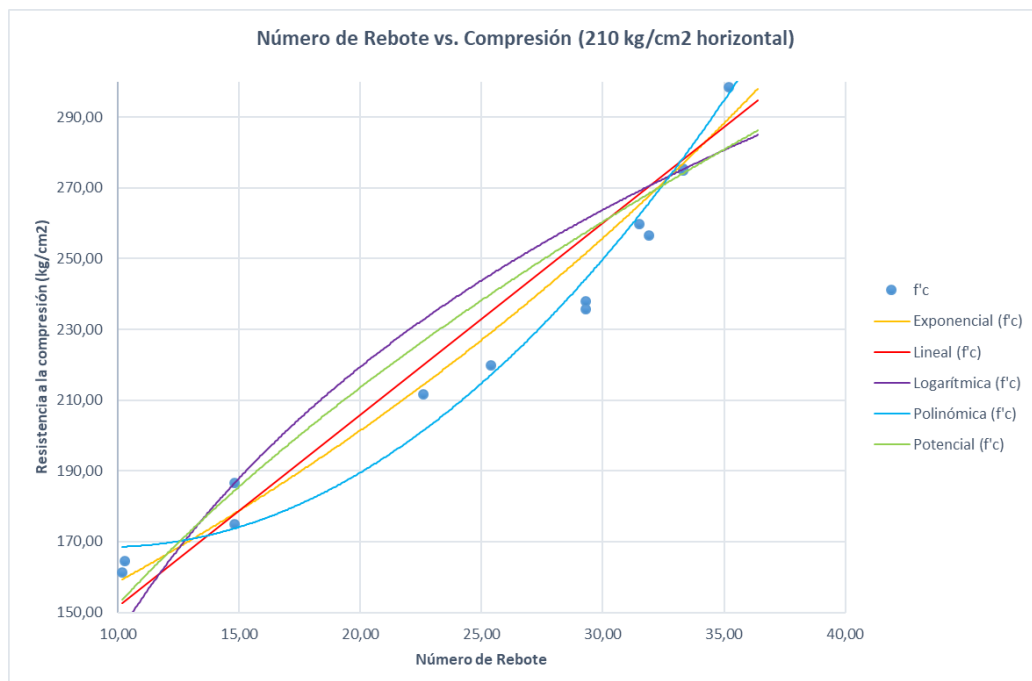


Fig. 27. Correlación 300 kg/cm<sup>2</sup> horizontal 1.  
 Fuente: Autor

Tabla XXIII. Diferentes R<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Número de Rebote vs. Compresión (300 kg/cm <sup>2</sup> horizontal)		
	Ecuación	R <sup>2</sup>
<b>Exponencial</b>	$y = 124,9e^{0,0239x}$	0,9693
<b>Lineal</b>	$y = 5,4157x + 97,502$	0,9338
<b>Logarítmica</b>	$y = 109,42\ln(x) - 108,4$	0,8603
<b>Polinómica</b>	$y = 0,1965x^2 - 3,7947x + 186,84$	0,9835
<b>Potencial</b>	$y = 49,346x^{0,4891}$	0,9164

La ecuación matemática que se emplearía estaría dada por la correlación polinómica, con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9835$ .

$$y = 0.1965x^2 - 3.7947x + 186.84 \quad (6)$$

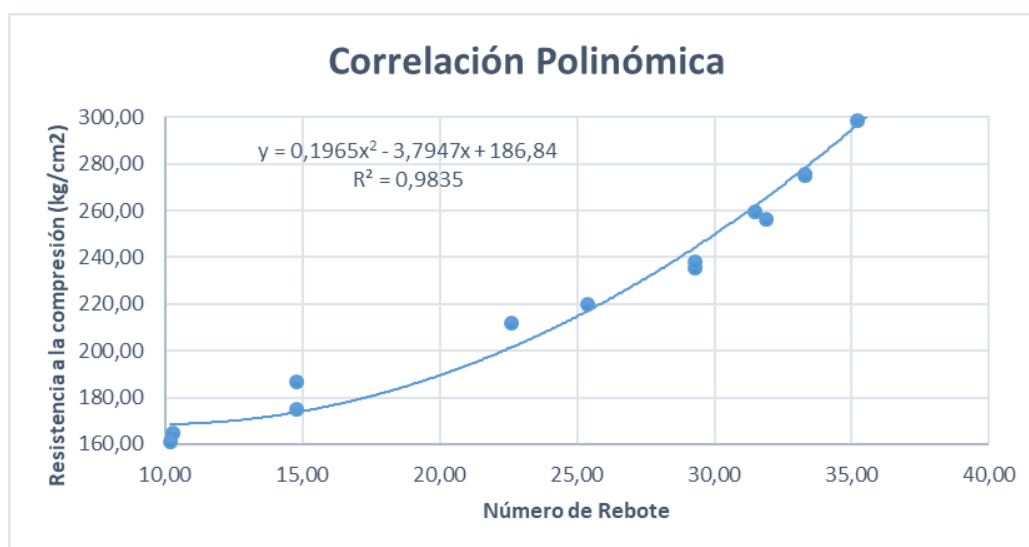


Fig. 28. Correlación polinómica  
Fuente: Autor

<sup>6</sup> Ecuación polinómica para resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup>, posición horizontal.

Para la posición vertical:

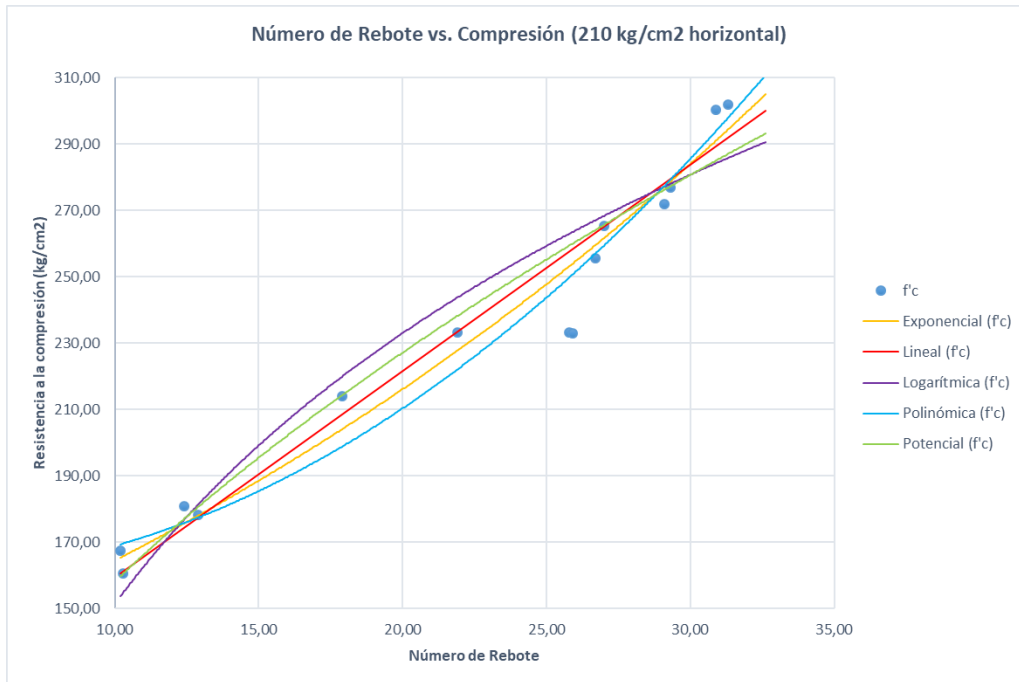


Fig. 29. Correlación 300 kg/cm2 vertical 1.  
Fuente: Autor

Tabla XXIV. Diferentes R<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Número de Rebote vs. Compresión (300 kg/cm2 vertical)		
	Ecuación	R <sup>2</sup>
<b>Exponencial</b>	$y = 125,23e^{0,0273x}$	0,97
<b>Lineal</b>	$y = 6,2309x + 96,984$	0,9501
<b>Logarítmica</b>	$y = 117,7\ln(x) - 119,56$	0,9043
<b>Polinómica</b>	$y = 0,1688x^2 - 0,9201x + 161,28$	0,9706
<b>Potencial</b>	$y = 47,581x^{0,5218}$	0,9454

La ecuación matemática que se emplearía proporciona la correlación polinómica, con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9706$ .

$$y = 0.1688x^2 - 0.9201x + 161.28 \quad (7)$$

<sup>7</sup> Ecuación polinómica para resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup>, posición vertical.

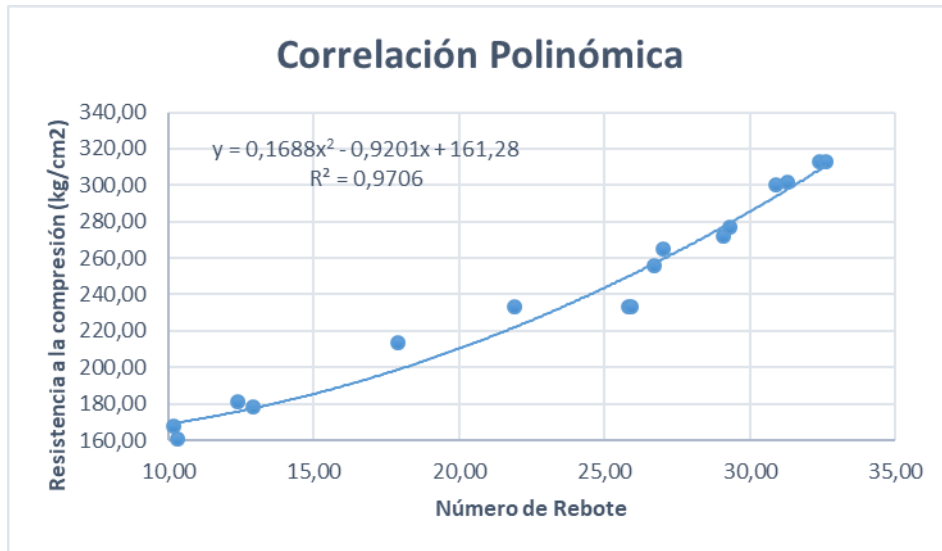


Fig. 30. Correlación polinómica  
Fuente: Autor

**4.6.4. Correlación entre ensayos de resistencia a compresión (prensa) y esclerometría a los 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>.**

Para un mejor resultado, se procedió a realizar las correlaciones con los números de rebote más altos, se ejecutó para las 2 direcciones horizontal y vertical, los resultados de la posición horizontal, se observan en las siguientes gráficas:

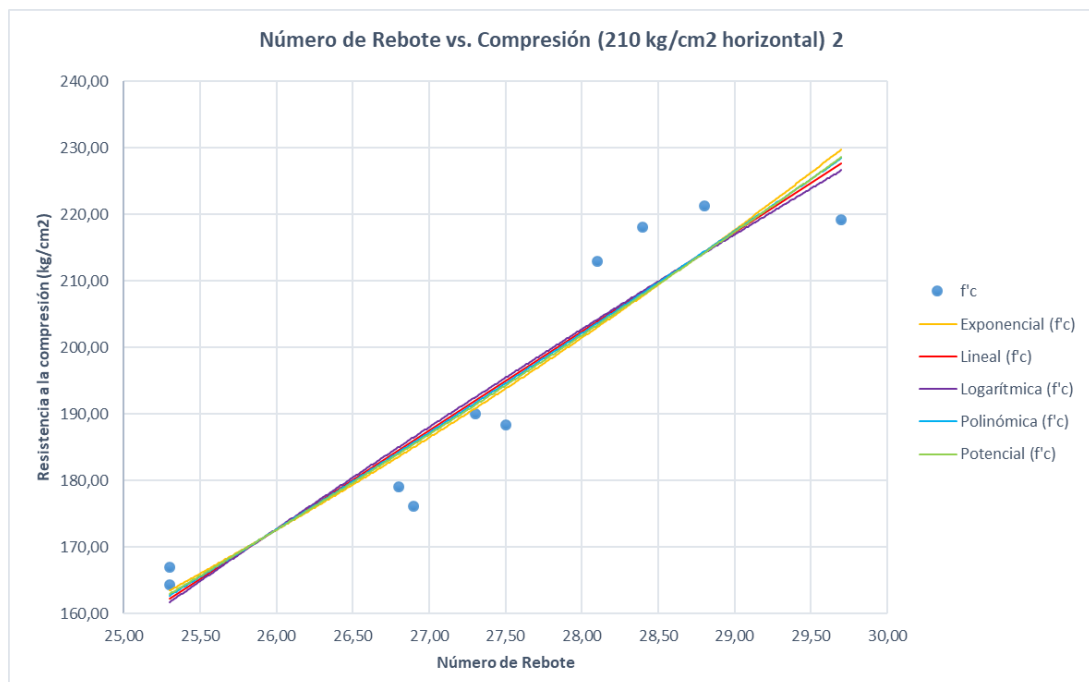


Fig. 31. Correlación 210 kg/cm<sup>2</sup> horizontal 2.  
Fuente: Autor

Tabla XXV. Diferentes R<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Número de Rebote vs. Compresión (210 kg/cm <sup>2</sup> horizontal)		
	Ecuación	R <sup>2</sup>
<b>Exponencial</b>	$y = 23,019e^{0,0775x}$	0,8998
<b>Lineal</b>	$y = 14,881x - 214,24$	0,89
<b>Logarítmica</b>	$y = 405,3\ln(x) - 1147,8$	0,8881
<b>Polinómica</b>	$y = 0,1994x^2 + 3,9822x - 65,713$	0,8904
<b>Potencial</b>	$y = 0,1773x^{2,1119}$	0,8994

El coeficiente de determinación que se usaría es  $R^2 = 0.8998$ , correspondiente a la correlación exponencial.

$$y = 23.019e^{0.0775x} \quad (8)$$

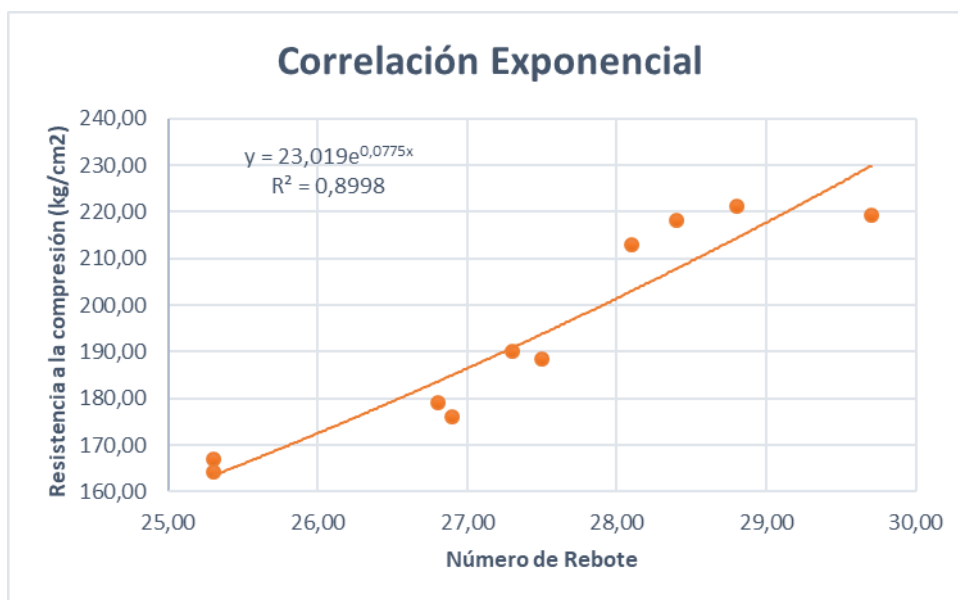


Fig. 32. Correlación Exponencial.  
Fuente: Autor

De igual manera, se realizó para la posición vertical y se obtuvieron los siguientes resultados:

<sup>8</sup> Ecuación polinómica para resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, posición horizontal.

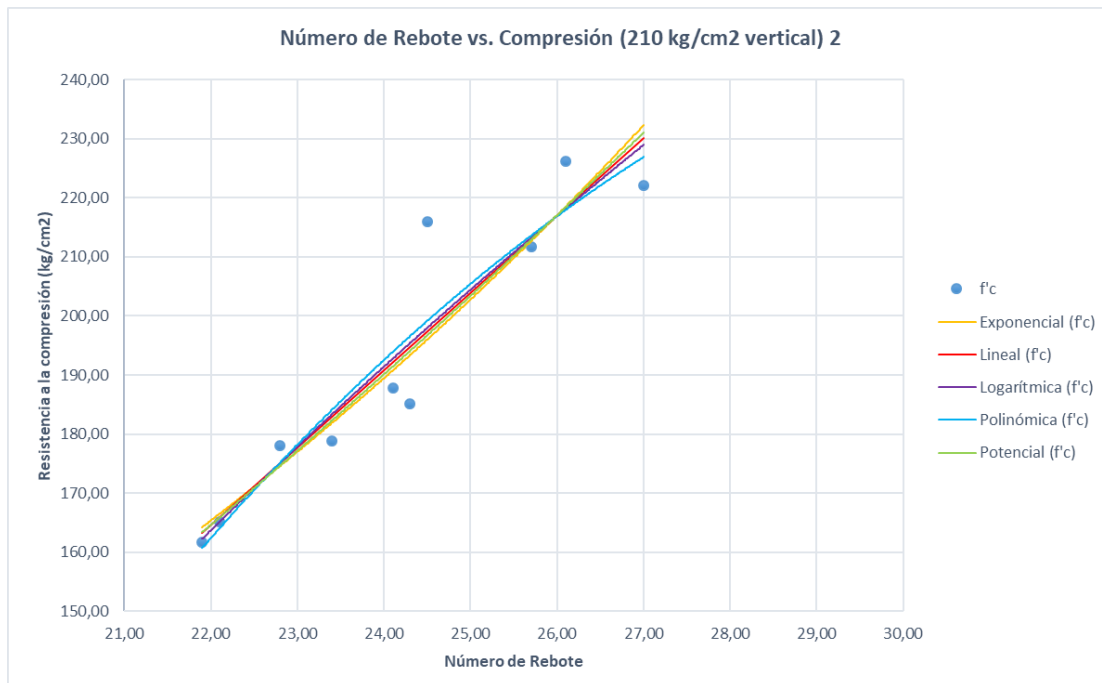


Fig. 33. Correlación 210 kg/cm<sup>2</sup> vertical 2.  
Fuente: Autor

Tabla XXVI. Diferentes R<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Número de Rebote vs. Compresión (210 kg/cm <sup>2</sup> vertical)		
	Ecuación	R <sup>2</sup>
<b>Exponencial</b>	$y = 37,121e^{0,0679x}$	0,8844
<b>Lineal</b>	$y = 13,097x - 123,57$	0,8795
<b>Logarítmica</b>	$y = 318,49\ln(x) - 820,74$	0,883
<b>Polinómica</b>	$y = -0,7178x^2 + 48,053x - 547,26$	0,8856
<b>Potencial</b>	$y = 0,9927x^{1,6536}$	0,89

El coeficiente de determinación es  $R^2 = 0.89$ , correspondiente a la correlación potencial.

$$y = 0.9927x^{1.6536} \quad (9)$$

<sup>9</sup> Ecuación polinómica para resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, posición vertical.

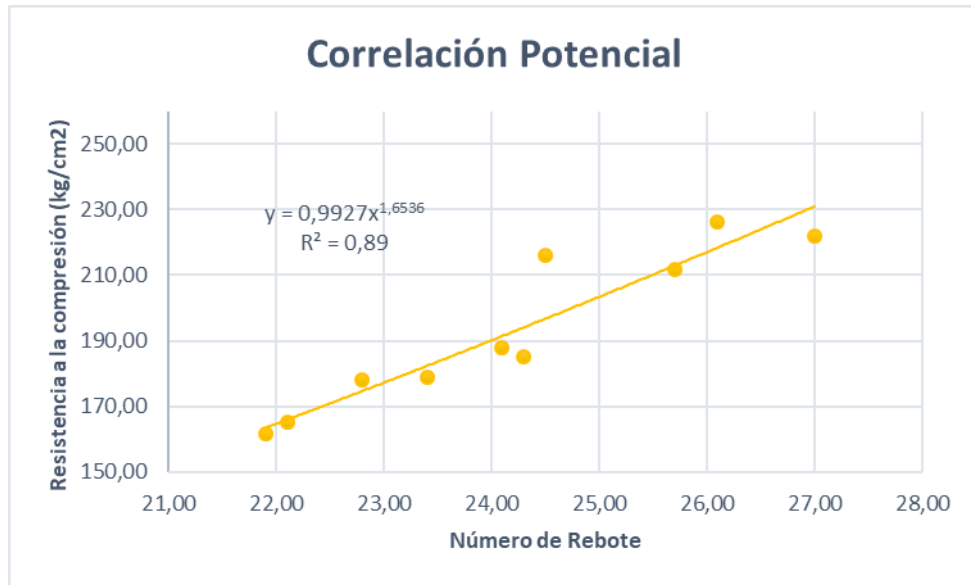


Fig. 34. Correlación Potencial  
Fuente: Autor

**4.6.5. Correlación entre ensayos de resistencia a compresión y esclerometría a los 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup>.**

De igual manera, se realizó para la resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup>, utilizando los valores de rebote más altos para lograr una mayor precisión en los resultados. Esta correlación se realizó para ambas direcciones (vertical y horizontal), las gráficas que se presentan a continuación corresponden a la correlación de resultados en la dirección horizontal.

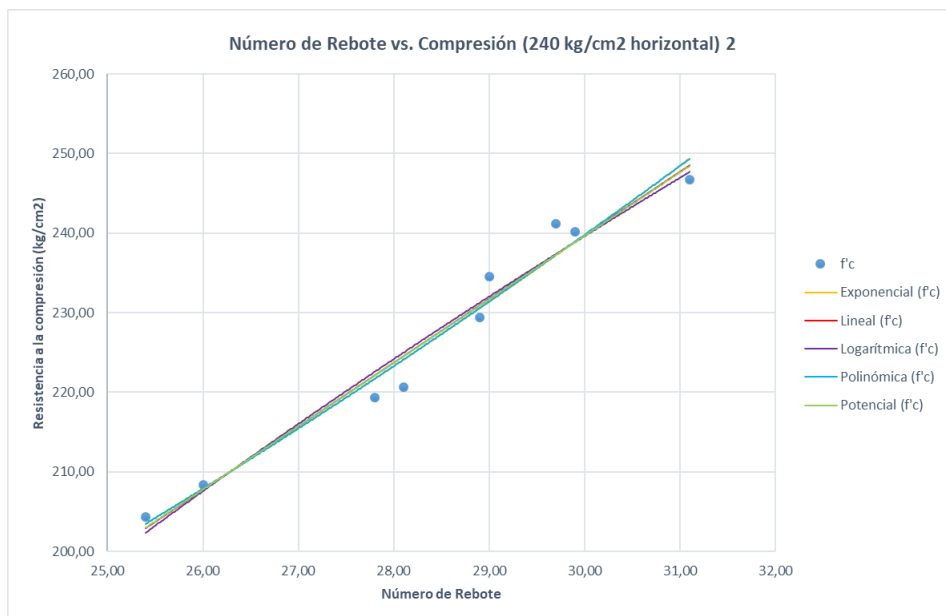


Fig. 35. Correlación 240 kg/cm<sup>2</sup> horizontal 2.  
Fuente: Autor

Tabla XXVII. Diferentes R<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Número de Rebote vs. Compresión (240 kg/cm <sup>2</sup> horizontal)		
	Ecuación	R <sup>2</sup>
<b>Exponencial</b>	$y = 81,685e^{0,0359x}$	0,9774
<b>Lineal</b>	$y = 8,1282x - 3,7765$	0,9749
<b>Logarítmica</b>	$y = 228,92\ln(x) - 538,47$	0,9714
<b>Polinómica</b>	$y = 0,1716x^2 - 1,5884x + 133,16$	0,9764
<b>Potencial</b>	$y = 7,668x^{1,0125}$	0,9756

La ecuación matemática está definida por la correlación exponencial, cuyo coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9774$ .

$$y = 81.685e^{0.0359x} \quad (10)$$

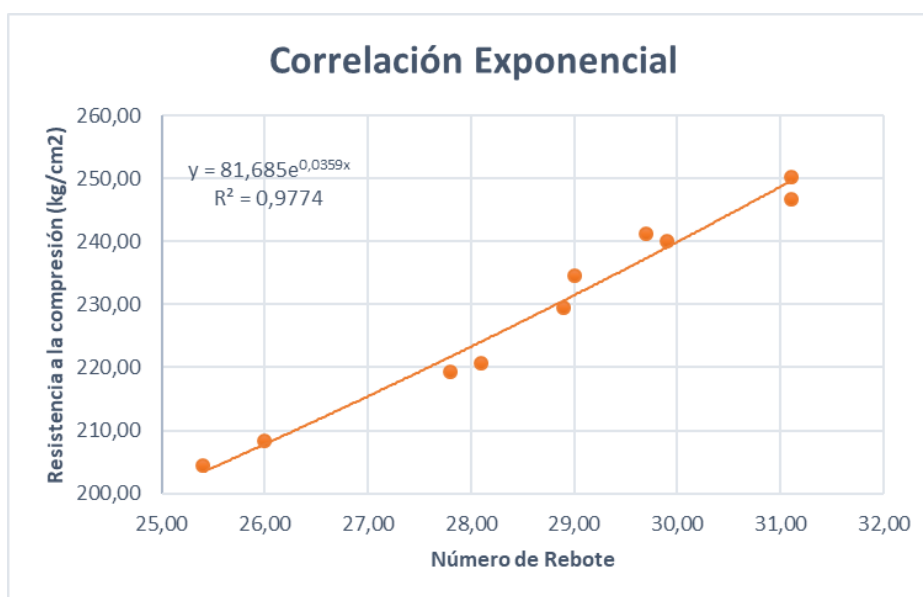


Fig. 36. Correlación Exponencial Fuente: Autor

Para la posición vertical:

<sup>10</sup> Ecuación polinómica para resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup>, posición horizontal.

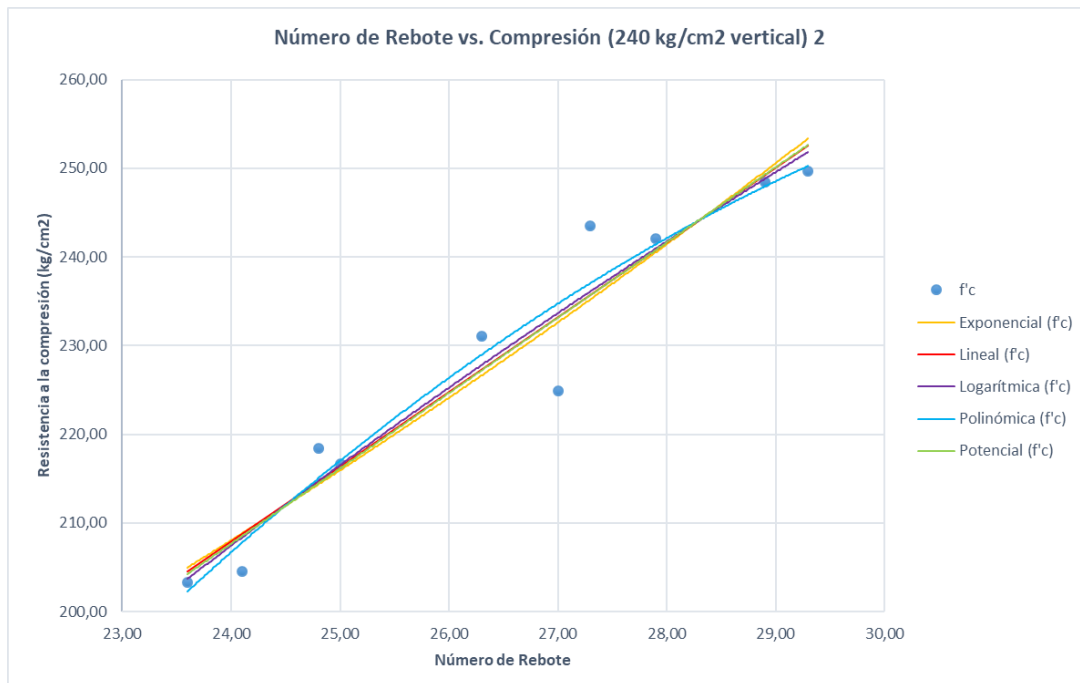


Fig. 37. Correlación 240 kg/cm<sup>2</sup> vertical 2.  
Fuente: Autor

Tabla XXVIII. Diferentes R<sup>2</sup>. Fuente: Autor

<b>Número de Rebote vs. Compresión (240 kg/cm<sup>2</sup> vertical)</b>		
	<b>Ecuación</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Exponencial</b>	$y = 85,211e^{0,0372x}$	0,928
<b>Lineal</b>	$y = 8,4295x + 5,5459$	0,9314
<b>Logarítmica</b>	$y = 222,61\ln(x) - 500,04$	0,9356
<b>Polinómica</b>	$y = -0,4886x^2 + 34,261x - 334,17$	0,9391
<b>Potencial</b>	$y = 9,1316x^{0,983}$	0,9336

La ecuación matemática está definida por la correlación polinómica, cuyo coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9391$ .

$$y = -0.4886x^2 + 34.261x - 334.17 \quad (11)$$

<sup>11</sup> Ecuación polinómica para resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup>, posición vertical.

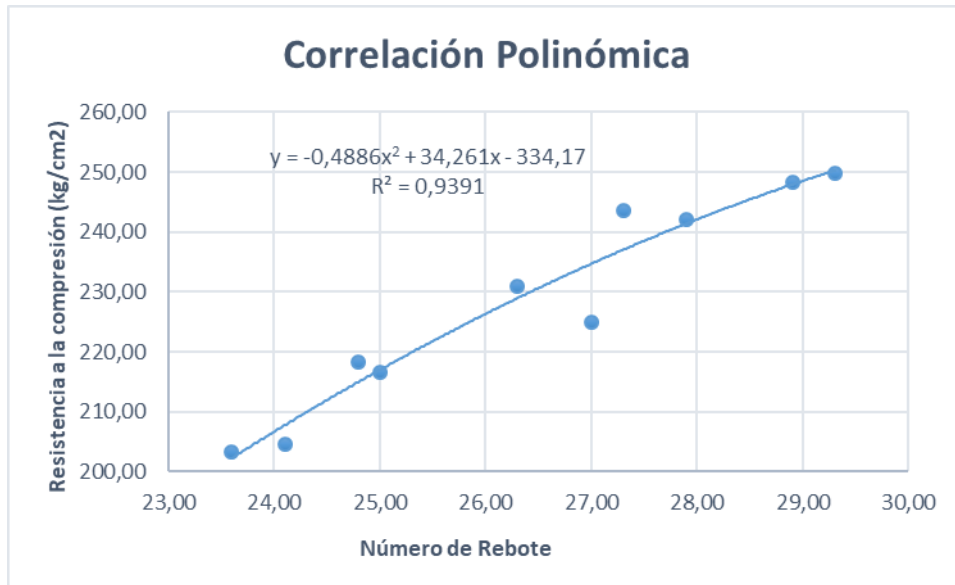


Fig. 38. Correlación Polinómica  
Fuente: Autor

**4.6.6. Correlación entre ensayos de resistencia a compresión y esclerometría a los 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup>.**

Para la resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup>, se efectuó las correlaciones para las 2 direcciones, evaluando los rebotes más altos, para obtener resultados más certeros, los resultados mostrados a continuación corresponden a la posición horizontal.

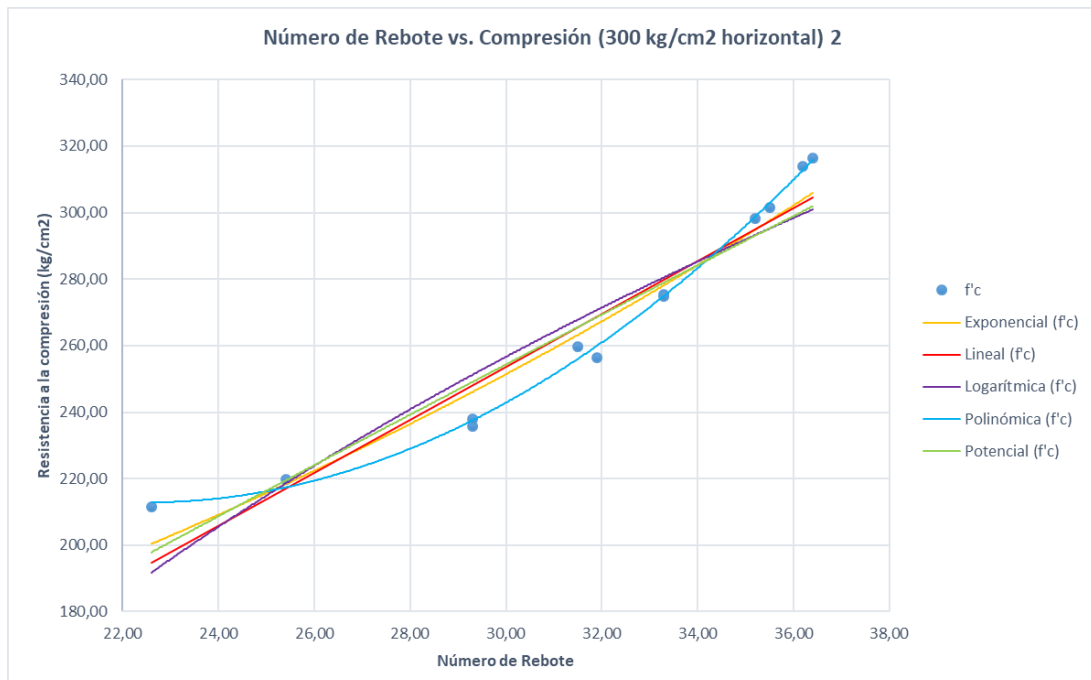


Fig. 39. Correlación 300 kg/cm<sup>2</sup> horizontal 2.  
Fuente: Autor

Tabla XXIX. Diferentes R<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Número de Rebote vs. Compresión (300 kg/cm <sup>2</sup> horizontal)		
	Ecuación	R <sup>2</sup>
<b>Exponencial</b>	$y = 100,21e^{0,0307x}$	0,9494
<b>Lineal</b>	$y = 7,9538x + 14,983$	0,9247
<b>Logarítmica</b>	$y = 229,02\ln(x) - 522,29$	0,8837
<b>Polinómica</b>	$y = 0,5313x^2 - 23,891x + 481,38$	0,9971
<b>Potencial</b>	$y = 12,48x^{0,8863}$	0,9144

En este grupo experimental la ecuación matemática que se emplearía está descrita por la correlación polinómica, con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9971$ .

$$y = 0.5313x^2 - 23.891x + 481.38 \quad (12)$$

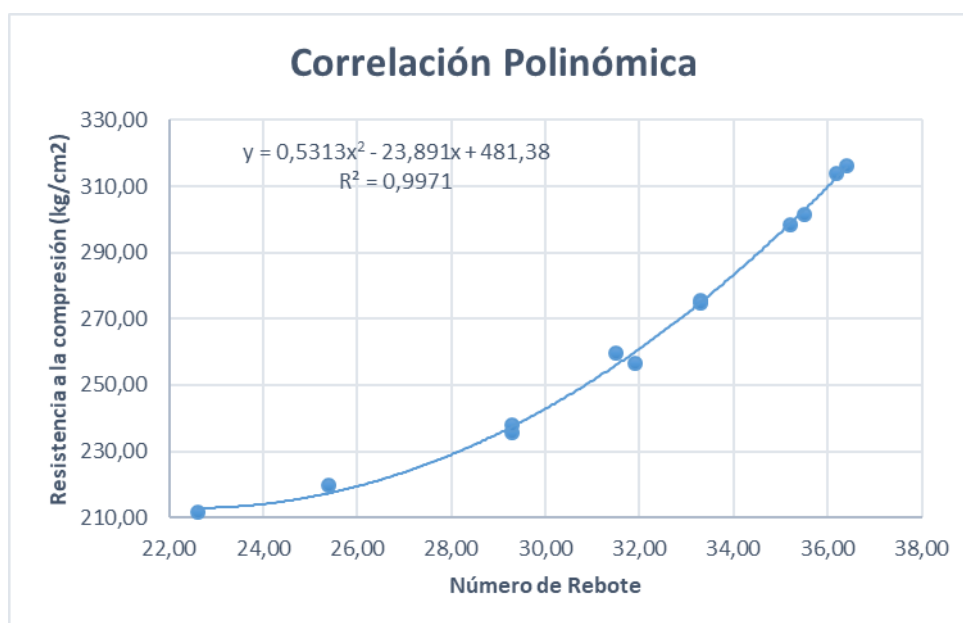


Fig. 40. Correlación Polinómica  
Fuente: Autor

Para la posición vertical, se obtuvieron los siguientes resultados:

<sup>12</sup> Ecuación polinómica para resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup>, posición horizontal.

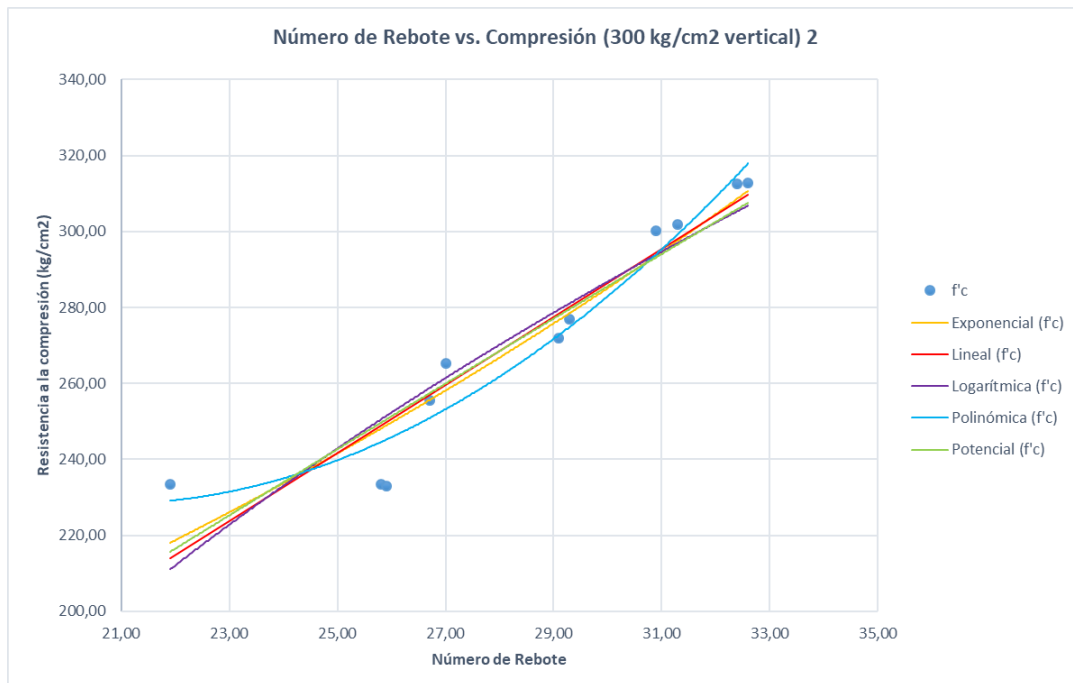


Fig. 41. Correlación 300 kg/cm<sup>2</sup> vertical 2.  
Fuente: Autor

Tabla XXX. Diferentes R<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Número de Rebote vs. Compresión (240 kg/cm <sup>2</sup> vertical)		
	Ecuación	R <sup>2</sup>
<b>Exponencial</b>	$y = 105,58e^{0,0331x}$	0,8913
<b>Lineal</b>	$y = 8,9473x + 17,937$	0,8921
<b>Logarítmica</b>	$y = 240,81\ln(x) - 532,23$	0,8595
<b>Polinómica</b>	$y = 0,6389x^2 - 26,519x + 503,46$	0,9453
<b>Potencial</b>	$y = 13,708x^{0,8928}$	0,8619

En este grupo experimental la ecuación matemática que se emplearía está descrita por la correlación polinómica, con un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9453$ .

$$y = 0.6389x^2 - 26.519x + 503.46 \quad (13)$$

<sup>13</sup> Ecuación polinómica para resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup>, posición vertical.

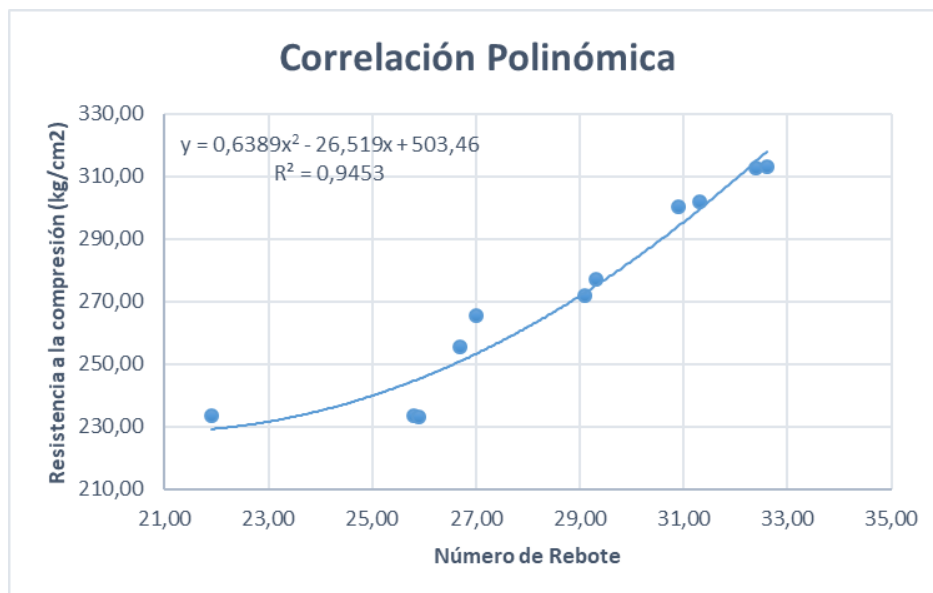


Fig. 42. Correlación Polinómica  
 Fuente: Autor

**4.7. Resultados de resistencia obtenida mediante la ecuación para 5, 7, 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 210, 240 y 300 kg/cm<sup>2</sup>.**

Se obtuvo la resistencia mediante la ecuación polinómica, los resultados de horizontal y vertical se muestran en las tablas XXXI, XXXII.

Tabla XXXI. Resultado de resistencia obtenida mediante ecuación 1, horizontal. Fuente: Autor

<b>HORIZONTAL</b>			
<b>Edad (días)</b>	<b>Resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia 240 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia 300 kg/cm<sup>2</sup></b>
	<b>(ecuación 1)</b>	<b>(ecuación 1)</b>	<b>(ecuación 1)</b>
5	S/N	S/N	168,60
5	S/N	S/N	168,58
7	137,01	114,35	173,72
7	137,87	118,07	173,72
14	153,06	149,06	201,44
14	153,70	142,64	217,23
21	185,13	207,00	244,35
21	185,13	211,13	244,35
23	191,42	223,63	262,28
23	191,02	225,73	265,75
26	193,84	231,35	278,37
26	193,03	232,06	278,37

28	196,28	237,01	296,74
28	197,52	238,43	299,77
56	199,18	246,97	306,97
56	202,96	246,97	309,07

Tabla XXXII. Resultado de resistencia obtenida mediante ecuación 1, vertical. Fuente: Autor

<b>VERTICAL</b>			
<b>Edad (días)</b>	<b>Resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia 240 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia 300 kg/cm<sup>2</sup></b>
	<b>(ecuación 1)</b>	<b>(ecuación 1)</b>	<b>(ecuación 1)</b>
5	S/N	S/N	169,46
5	S/N	S/N	169,71
7	139,10	119,80	177,50
7	139,44	121,16	175,83
14	142,51	134,83	198,90
14	142,51	140,30	222,09
21	184,18	209,56	249,90
21	183,29	212,99	250,68
23	190,07	219,18	257,05
23	187,33	217,81	259,49
26	193,32	232,95	277,45
26	194,26	228,13	279,23
28	200,95	235,02	294,02
28	195,20	239,15	297,85
56	202,90	246,04	308,67
56	207,37	248,80	310,68

**4.8. Resultados de resistencia obtenida mediante la ecuación para 14, 21, 23, 26, 28 y 56 días con una resistencia de 210, 240 y 300 kg/cm<sup>2</sup>.**

Se obtuvo la resistencia mediante la ecuación polinómica, los resultados de horizontal y vertical se muestran en las tablas XXXIII, XXXIV.

Tabla XXXIII. Resultado de resistencia obtenida mediante ecuación 2, horizontal. Fuente: Autor

<b>HORIZONTAL</b>			
<b>Edad (días)</b>	<b>Resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia 300 kg/cm<sup>2</sup></b>
	<b>(ecuación 2)</b>	<b>(ecuación 2)</b>	<b>(ecuación 2)</b>
14	S/N	S/N	212,81
14	S/N	S/N	217,32
21	163,54	203,31	237,49
21	163,54	207,74	237,49
23	185,13	221,60	256,00
23	183,70	224,00	259,91
26	193,94	230,53	274,96
26	190,96	231,36	274,96
28	203,18	237,25	298,72
28	207,95	238,96	302,82
56	214,50	249,48	312,76
56	230,00	249,48	315,70

Tabla XXXIV. Resultado de resistencia obtenida mediante ecuación 2, vertical. Fuente: Autor

<b>VERTICAL</b>			
<b>Edad (días)</b>	<b>Resistencia 210 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia 240 kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Resistencia 300 kg/cm<sup>2</sup></b>
	<b>(ecuación 2)</b>	<b>(ecuación 2)</b>	<b>(ecuación 2)</b>
14	S/N	S/N	S/N
14	S/N	S/N	230,63
21	165,92	202,26	243,43
21	163,45	207,74	244,06
23	182,37	216,98	249,69
23	174,70	214,99	252,05
26	191,48	234,69	272,45
26	194,11	228,93	274,75
28	212,95	237,01	295,31
28	196,76	241,38	301,06
56	218,46	247,89	318,15
56	231,06	250,22	321,45

**4.9. Cuadro comparativo de resultados de las distintas resistencias y porcentajes de error obtenidos con relación a la resistencia obtenida a la prensa.**

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a las diferentes resistencias que se obtuvieron para la posición horizontal.

*Tabla XXXV. Cuadro comparativo de las distintas resistencias y porcentajes obtenidos de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Autor*

<b>Dosificación de 210 Kg/cm<sup>2</sup> (HORIZONTAL)</b>									
<b>Edad (días)</b>	<b>Prensa hidráulica</b>	<b>Esclerómetro (aplicación móvil)</b>		<b>Esclerómetro (curva de conversión)</b>		<b>Esclerómetro (ecuación 1)</b>		<b>Esclerómetro (ecuación 2)</b>	
		<b>Resistencia</b>	<b>%</b>	<b>Resistencia</b>	<b>%</b>	<b>Resistencia</b>	<b>%</b>	<b>Resistencia</b>	<b>%</b>
5	102,93	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
5	83,93	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
7	143,92	S/N	S/N	S/N	S/N	137,01	4,80%	S/N	S/N
7	140,94	S/N	S/N	S/N	S/N	137,87	2,18%	S/N	S/N
14	152,56	S/N	S/N	S/N	S/N	153,06	0,33%	S/N	S/N
14	152,54	S/N	S/N	S/N	S/N	153,70	0,76%	S/N	S/N
21	164,26	142,69	13,13%	144,79	11,85%	185,13	12,70%	163,54	0,44%
21	166,90	142,69	14,51%	144,79	13,25%	185,13	10,92%	163,54	2,01%
23	176,15	161,40	8,37%	165,19	6,22%	191,42	8,67%	185,13	5,10%
23	179,09	160,80	10,21%	163,15	8,90%	191,02	6,66%	183,70	2,58%
26	188,42	170,09	9,73%	173,35	8,00%	193,84	2,88%	193,94	2,93%
26	190,07	168,85	11,16%	170,29	10,40%	193,03	1,56%	190,96	0,47%
28	212,96	180,64	15,18%	183,55	13,81%	196,28	7,83%	203,18	4,59%
28	218,05	182,57	16,27%	187,62	13,96%	197,52	9,42%	207,95	4,63%
56	221,33	185,14	16,35%	192,72	12,93%	199,18	10,01%	214,50	3,08%
56	219,21	196,61	10,31%	201,90	7,90%	202,96	7,41%	230,00	4,92%
<b>Porcentajes promedios</b>		12,52%		10,72%		6,15%		3,08%	

*Tabla XXXVI. Cuadro comparativo de las distintas resistencias y porcentajes obtenidos de 240 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Autor*

<b>Dosificación de 240 Kg/cm<sup>2</sup> (HORIZONTAL)</b>									
<b>Edad (días)</b>	<b>Prensa hidráulica</b>	<b>Esclerómetro (aplicación móvil)</b>		<b>Esclerómetro (curva de conversión)</b>		<b>Esclerómetro (ecuación 1)</b>		<b>Esclerómetro (ecuación 2)</b>	
		<b>Resistencia</b>	<b>%</b>	<b>Resistencia</b>	<b>%</b>	<b>Resistencia</b>	<b>%</b>	<b>Resistencia</b>	<b>%</b>
5	101,94	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
5	101,07	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
7	115,06	S/N	S/N	S/N	S/N	114,35	0,61%	S/N	S/N
7	110,85	S/N	S/N	S/N	S/N	118,07	6,51%	S/N	S/N
14	151,95	72,57	S/N	S/N	S/N	149,06	1,90%	S/N	S/N
14	151,24	64,37	S/N	S/N	S/N	142,64	5,69%	S/N	S/N
21	204,32	149,25	26,95%	146,83	28,14%	207,00	1,31%	203,31	0,50%

21	208,32	156,00	25,12%	154,99	25,60%	211,13	1,35%	207,74	0,28%
23	219,35	171,94	21,61%	176,41	19,58%	223,63	1,95%	221,60	1,03%
23	220,70	180,64	18,15%	183,55	16,83%	225,73	2,28%	224,00	1,50%
26	229,43	185,78	19,03%	193,74	15,56%	231,35	0,84%	230,53	0,48%
26	234,58	191,00	18,58%	195,78	16,54%	232,06	1,07%	231,36	1,37%
28	241,18	196,61	18,48%	201,90	16,29%	237,01	1,73%	237,25	1,63%
28	240,15	198,92	17,17%	203,94	15,08%	238,43	0,72%	238,96	0,50%
56	246,73	219,70	10,95%	224,33	9,07%	246,97	0,10%	249,48	1,11%
56	250,26	219,70	12,21%	224,33	10,36%	246,97	1,31%	249,48	0,31%
<b>Porcentajes promedios</b>			19,12%		17,30%		1,96%		0,87%

Tabla XXXVII. Cuadro comparativo de las distintas resistencias y porcentajes obtenidos de 300 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Dosificación de 300 Kg/cm <sup>2</sup> (HORIZONTAL)									
Edad (días)	Prensa hidráulica	Esclerómetro (aplicación móvil)		Esclerómetro (curva de conversión)		Esclerómetro (ecuación 1)		Esclerómetro (ecuación 2)	
		Resistencia	%	Resistencia	%	Resistencia	%	Resistencia	%
5	164,61	S/N	S/N	S/N	S/N	168,60	2,42%	S/N	S/N
5	161,28	S/N	S/N	S/N	S/N	168,58	4,53%	S/N	S/N
7	174,87	S/N	S/N	S/N	S/N	173,72	0,66%	S/N	S/N
7	186,57	S/N	S/N	S/N	S/N	173,72	6,89%	S/N	S/N
14	211,59	108,89	48,54%	112,16	47,47%	201,44	4,80%	212,81	0,58%
14	219,85	143,25	34,84%	146,83	34,14%	217,23	1,19%	217,32	1,15%
21	235,61	192,97	18,10%	199,86	18,20%	244,35	3,71%	237,49	0,80%
21	237,83	192,97	18,86%	199,86	18,97%	244,35	2,74%	237,49	0,14%
23	259,67	222,53	14,30%	229,43	17,53%	262,28	1,01%	256,00	1,41%
23	256,43	225,35	12,12%	233,51	14,90%	265,75	3,63%	259,91	1,36%
26	275,38	249,24	9,49%	252,88	7,43%	278,37	1,09%	274,96	0,15%
26	274,81	249,24	9,30%	252,88	7,24%	278,37	1,30%	274,96	0,06%
28	298,36	283,61	4,94%	279,40	6,70%	296,74	0,54%	298,72	0,12%
28	301,65	286,02	5,18%	284,50	5,35%	299,77	0,62%	302,82	0,39%
56	313,95	291,61	7,12%	294,69	5,81%	306,97	2,22%	312,76	0,38%
56	316,30	293,22	7,30%	297,75	5,87%	309,07	2,29%	315,70	0,19%
<b>Porcentajes promedios</b>			15,84%		14,34%		2,48%		0,56%

De igual manera, los resultados de las diferentes resistencias realizadas en posición vertical, se presentan a continuación:

Tabla XXXVIII. Cuadro comparativo de las distintas resistencias y porcentajes obtenidos de 210 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Dosificación de 210 Kg/cm <sup>2</sup> (VERTICAL)									
Edad (días)	Prensa hidráulica	Esclerómetro (aplicación móvil)		Esclerómetro (curva de conversión)		Esclerómetro (ecuación 1)		Esclerómetro (ecuación 2)	
		Resistencia	%	Resistencia	%	Resistencia	%	Resistencia	%
5	99,68	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
5	104,58	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
7	133,35	S/N	S/N	S/N	S/N	139,10	4,31%	S/N	S/N
7	144,89	S/N	S/N	S/N	S/N	139,44	3,76%	S/N	S/N
14	150,40	S/N	S/N	S/N	S/N	142,51	5,24%	S/N	S/N
14	148,34	S/N	S/N	S/N	S/N	142,51	3,93%	S/N	S/N
21	165,10	148,67	9,95%	151,93	7,98%	184,18	11,56%	165,92	0,50%
21	161,73	141,82	12,31%	145,81	9,84%	183,29	13,33%	163,45	1,06%
23	178,82	163,8	8,40%	168,25	5,91%	190,07	6,29%	182,37	1,98%
23	178,01	153,38	13,83%	157,03	11,78%	187,33	5,24%	174,70	1,86%
26	187,82	173,72	7,51%	177,43	5,53%	193,32	2,93%	191,48	1,95%
26	185,06	175,16	5,35%	179,47	3,02%	194,26	4,97%	194,11	4,89%
28	211,72	191,2	9,69%	195,78	7,53%	200,95	5,09%	212,95	0,58%
28	215,96	176,6	18,23%	181,50	15,96%	195,20	9,61%	196,76	8,89%
56	226,12	199,76	11,66%	202,92	10,26%	202,90	10,27%	218,46	3,39%
56	222,09	212,00	4,54%	213,12	4,04%	207,37	6,63%	231,06	4,04%
<b>Porcentajes promedios</b>		10,15%		8,19%		6,65%		2,91%	

Tabla XXXIX. Cuadro comparativo de las distintas resistencias y porcentajes obtenidos de 240 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Autor

Dosificación de 240 Kg/cm <sup>2</sup> (VERTICAL)									
Edad (días)	Prensa hidráulica	Esclerómetro (aplicación móvil)		Esclerómetro (curva de conversión)		Esclerómetro (ecuación 1)		Esclerómetro (ecuación 2)	
		Resistencia	%	Resistencia	%	Resistencia	%	Resistencia	%
5	101,55	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
5	104,39	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N	S/N
7	111,85	S/N	S/N	S/N	S/N	119,80	7,10%	S/N	S/N
7	112,15	S/N	S/N	S/N	S/N	121,16	8,04%	S/N	S/N
14	146,77	S/N	S/N	S/N	S/N	134,83	8,14%	S/N	S/N
14	152,67	S/N	S/N	S/N	S/N	140,30	8,10%	S/N	S/N
21	203,30	165,20	18,74%	170,29	16,24%	209,56	3,08%	202,26	0,51%
21	204,56	173,72	15,08%	177,43	13,26%	212,99	4,12%	207,74	1,55%
23	216,63	189,69	12,43%	185,58	14,33%	219,18	1,18%	216,98	0,16%
23	218,39	186,18	14,75%	183,54	15,96%	217,81	0,26%	214,99	1,55%
26	224,92	212,00	5,74%	213,12	5,25%	232,95	3,57%	234,69	4,34%
26	231,02	201,29	12,87%	203,94	11,72%	228,13	1,25%	228,93	0,90%
28	243,52	214,35	11,98%	218,21	10,39%	235,02	3,49%	237,01	2,67%
28	242,09	219,06	9,51%	224,33	7,34%	239,15	1,22%	241,38	0,29%
56	248,41	231,2	6,93%	236,57	4,77%	246,04	0,95%	247,89	0,21%

56	249,70	238,44	4,51%	245,75	1,58%	248,80	0,36%	250,22	0,21%
<b>Porcentajes promedios</b>			11,25%			10,08%	3,63%		1,24%

Tabla XL. Cuadro comparativo de las distintas resistencias y porcentajes obtenidos de 300 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Autor

<b>Dosificación de 300 Kg/cm<sup>2</sup> (VERTICAL)</b>									
<b>Edad (días)</b>	<b>Prensa hidráulica</b>	<b>Esclerómetro (aplicación móvil)</b>		<b>Esclerómetro (curva de conversión)</b>		<b>Esclerómetro (ecuación 1)</b>		<b>Esclerómetro (ecuación 2)</b>	
		<b>Resistencia</b>	<b>%</b>	<b>Resistencia</b>	<b>%</b>	<b>Resistencia</b>	<b>%</b>	<b>Resistencia</b>	<b>%</b>
5	167,47	S/N	S/N	S/N	S/N	169,46	1,19%	S/N	S/N
5	160,63	S/N	S/N	S/N	S/N	169,71	5,65%	S/N	S/N
7	178,36	S/N	S/N	S/N	S/N	177,50	0,48%	S/N	S/N
7	181,02	S/N	S/N	S/N	S/N	175,83	2,87%	S/N	S/N
14	213,92	93,44	56,32%	S/N	S/N	198,90	7,02%	S/N	S/N
14	233,37	141,82	39,23%	145,81	37,52%	222,09	4,83%	230,63	1,17%
21	233,37	191,95	17,75%	196,80	15,67%	249,90	7,08%	243,43	4,31%
21	233,06	192,69	17,32%	197,82	15,12%	250,68	7,56%	244,06	4,72%
23	255,60	204,35	20,05%	209,04	18,22%	257,05	0,57%	249,69	2,31%
23	265,28	212,00	20,08%	213,12	19,66%	259,49	2,18%	252,05	4,99%
26	271,83	236,81	12,88%	244,73	9,97%	277,45	2,07%	272,45	0,23%
26	276,86	238,44	13,88%	245,75	11,24%	279,23	0,86%	274,75	0,76%
28	300,21	257,5	14,23%	265,12	11,69%	294,02	2,06%	295,31	1,63%
28	301,82	261,54	13,35%	273,28	9,46%	297,85	1,32%	301,06	0,25%
56	312,65	277,42	11,27%	286,54	8,35%	308,67	1,27%	318,15	1,76%
56	312,86	279,13	10,78%	288,57	7,76%	310,68	0,70%	321,45	2,75%
<b>Porcentajes promedios</b>			20,59%			14,97%	2,98%		2,26%

#### 4.10. Márgenes de error del esclerómetro con respecto a la aplicación móvil y a la curva de conversión.

En las tablas XLI, XLII, se dan a conocer los márgenes de error del esclerómetro, obtenidos con respecto a la aplicación móvil y a la curva de conversión, para las diferentes resistencias en posición horizontal y vertical.

Tabla XLI. Margen de error del esclerómetro con respecto a la aplicación móvil, posición horizontal y vertical, resistencia 210, 240 y 300 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Autor

<b>Margen de error del esclerómetro con respecto a la aplicación móvil</b>			<b>Margen de error del esclerómetro con respecto a la aplicación móvil</b>		
<b>Posición Horizontal</b>			<b>Posición Vertical</b>		
<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Primer Modelo (%)</b>	<b>Segundo Modelo (%)</b>	<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Primer Modelo (%)</b>	<b>Segundo Modelo (%)</b>
210	6,37	9,45	210	3,49	7,23
240	17,16	18,25	240	7,62	10,01
300	13,36	15,28	300	17,61	18,33

Tabla XLII. Margen de error del esclerómetro con respecto a la aplicación móvil, posición horizontal y vertical, resistencia 210, 240 y 300 kg/cm<sup>2</sup>. Fuente: Autor

<b>Margen de error del esclerómetro con respecto a la curva de conversión</b>			<b>Margen de error del esclerómetro con respecto a la curva de conversión</b>		
<b>Posición Horizontal</b>			<b>Posición Vertical</b>		
<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Primer Modelo (%)</b>	<b>Segundo Modelo (%)</b>	<b>Resistencia kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Primer Modelo (%)</b>	<b>Segundo Modelo (%)</b>
210	4,57	7,64	210	1,53	5,27
240	15,35	16,43	240	6,45	8,84
300	11,87	13,78	300	11,99	12,71

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Después de llevar a cabo el análisis de las características de los agregados realizado mediante pruebas de laboratorio, se puede concluir que, los agregados utilizados cumplen con las normas establecidas por el Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización. Estos agregados son aptos para ser empleados en la elaboración de concreto, garantizando así la calidad y durabilidad del material, como se puede observar los resultados obtenidos en el capítulo 4.

Como conclusión del objetivo específico 2, en base a los ensayos realizados, el diseño de la mezcla de 210, 240 y 300 kg/cm<sup>2</sup>, fue efectivo, ya que cumplió su resistencia óptima a los 28 días, comprobando así su eficacia para evaluar la resistencia del concreto y analizar su desempeño.

Se generaron dos modelos matemáticos (ecuaciones) utilizando los datos de rebote y resistencia obtenidos mediante el uso del esclerómetro, después de tener en cuenta el margen de error mencionado en las tablas XLI y XLII, se concluyó que la ecuación 1 presenta menor porcentaje de variación, por lo tanto, este modelo proporciona valores de resistencia muy cercanos a las resistencias obtenidas con pruebas destructivas.

Basado en las pruebas realizadas, se llegó a la conclusión de que el esclerómetro no resulta efectivo en los primeros días o etapas tempranas, ya que no proporciona un número de rebote que permita obtener un valor de resistencia.

Para hacer uso de los datos que brinda la aplicación móvil se debe tener por lo menos un promedio de rebote de 15 y para el uso de la curva de conversión se debe tener un promedio de rebote de 20.

## 5.2. Recomendaciones

Se sugiere, llevar a cabo ensayos de agregados y trabajabilidad utilizando materiales cementantes tipo HE.

Se recomienda realizar, al menos tres ensayos esclerométricos para obtener la resistencia, con el fin de obtener un promedio que refleje de manera más precisa la resistencia real del objeto.

Es importante realizar una investigación exhaustiva, que recojan información sobre el número de rebotes en diversas direcciones y analicen las posibles discrepancias en esta medida. Además, resulta de mejor manera evitar realizar los ensayos en los primeros 7 días, ya que los resultados de los rebotes obtenidos pueden no ser precisos en este período.

Es recomendable, extender la investigación sobre pruebas destructivas y no destructivas del concreto para obtener correlaciones más precisas.

También, se recomienda utilizar cilindros de 15x30 mm, para verificar si los resultados se ven afectados de alguna manera.

Para mejorar la estadística de los datos obtenidos, se sugiere repetir el proceso de investigación con una sola mezcla y un mayor número de muestras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] INEC, “Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED), 2020,” *Inec*, vol. 1, p. 6, 2021, [Online]. Available: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Encuesta\\_Edificaciones/2020/2020\\_ENED\\_Principales\\_resultados.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2020/2020_ENED_Principales_resultados.pdf)
- [2] Instituto Ecuatoriano de Normalización, *Cemento Hidráulico. Definición de Términos NTE INEN 151*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010.
- [3] I. N. Neira Mizhquero and R. D. Palacios Beltrán, “Obtención de correlaciones para determinar la Resistencia a la compresión y Módulo de rotura del hormigón mediante Ensayos Esclerométricos Trabajo de titulación modalidad Proyecto de Investigación , previo a la obtención del título de Ingeniero Civil AUTO,” Universidad Central del Ecuador, Quito, 2019. Accessed: Sep. 20, 2022. [Online]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18540/1/T-UCE-0011-ICF-127.pdf>
- [4] NTE INEN 3121, “Hormigón Endurecido. Determinación del número de rebote. Método de ensayo,” *Intituto Ecuatoriano Norm.*, pp. 1–9, 2016.
- [5] F. Hostalet Alba, “Situación Actual de las Técnicas de ensayo no destructivo del hormigón,” Barcelona, Sep. 1994. Accessed: Sep. 20, 2022. [Online]. Available: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1114/1198>
- [6] S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. C. Panarese, and J. Tanesi, *Diseño Y Control De Mezclas De Concreto*. Skokie, Illinois, EE.UU: Portland Cement Association, 2004. Accessed: Nov. 11, 2022. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/33383752/Diseño\\_Y\\_Control\\_De\\_Mezclas\\_De\\_Concreto\\_Steven\\_H\\_Kosmatka\\_Beatrice\\_Kerkhoff\\_and\\_William\\_C\\_Panarese\\_1ra\\_Edición](https://www.academia.edu/33383752/Diseño_Y_Control_De_Mezclas_De_Concreto_Steven_H_Kosmatka_Beatrice_Kerkhoff_and_William_C_Panarese_1ra_Edición)
- [7] F. Abanto, “Tecnología del Concreto Ing. Flavio Abanto Castillo,” *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, no. 9. pp. 1689–1699, 2017.
- [8] E. Nawy, *Concreto Reforzado: un enfoque básico*. México, D.F, México : Prentice-Hall Hispanoamericana, 1994. Accessed: Nov. 11, 2022. [Online]. Available: <https://vagosdeunisucrev2.files.wordpress.com/2016/11/158964289-concreto-reforzado-un-enfoque-basico-edward-g-nawy-pdf.pdf>
- [9] L. Gutiérrez de López, *El concreto y otros materiales para la construcción*, Segunda ed. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales , 2003. Accessed: Apr. 08, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>
- [10] NTE INEN 696, “Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.,” *Norma Técnica Ecuatoriana*, vol. 1, no. Primera Edición, p. 12, 2011.
- [11] NTE INEN 872, “Áridos Para Hormigón. Requisitos.,” *Intituto Ecuatoriano Norm.*, p. 16, 2011, [Online]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/872-1.pdf>
- [12] J. Toirac Corral, “Caracterización granulométrica de las plantas productoras de

arena en la República Dominicana, su impacto en la calidad y costo del hormigón,” *Cienc. Soc.*, vol. 3, pp. 293–334, 2012.

- [13] A. F. Romero Quintero and J. C. Hernández Rico, “Diseño de mezclas de hormigón por el método ACI y efectos de la adición de cenizas volantes de termitasajero en la resistencia a la compresión.,” Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia, 2017. Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <https://docplayer.es/52444334-Diseno-de-mezclas-de-hormigon-por-el-metodo-a-c-i-y-efectos-de-la-adicion-de-cenizas-volantes-de-termotasajero-en-la-resistencia-a-la-compresion.html>
- [14] H. Balzamo *et al.*, *Ese material llamado hormigón*. Buenos Aires Argentina: Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, 2012.
- [15] L. Gutiérrez de López, *El Concreto y Otro Materiales Para la Construcción*. Manizales, Colombia: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MANIZALES, 2003. Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/28633263/El\\_Concreto\\_y\\_Otro\\_Materiales\\_Para\\_la\\_Construccion](https://www.academia.edu/28633263/El_Concreto_y_Otro_Materiales_Para_la_Construccion)
- [16] Aceros Arequipa, *Manual de Construcción para Maestros de Obra*. Lima, Arequipa: Aceros Arequipa S.A, by Agencia digital Webtilia, 2020. Accessed: Nov. 30, 2022. [Online]. Available: <https://www.acerosarequipa.com/manuales/pdf/manual-de-construccion-para-maestros-de-obra.pdf>
- [17] O. Giraldo Bolívar, “Guia practica para el diseño de mezclas de hormigon.,” *Univ. Nac. Medellin*, p. 186, 1987.
- [18] ASTM C-618, “Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use,” *Annu. B. ASTM Stand.*, vol. 04, no. C, pp. 3–6, 2003.
- [19] NTE INEN 1576, “Elaboración y Curado en obra de especímenes para ensayo.,” *Sección 400 - CONCRETO HIDRÁULICO*, vol. E-420, p. 1, 2013, [Online]. Available: <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/139-documento-tecnicos/1988-especificaciones-generales-de-construccion-de-carreteras-y-normas-de-ensayo-para-materiales-de-carreteras>
- [20] J. C. Velazquez Mendez, “Control de la calidad del concreto con métodos alternativos de ingeniería.,” Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2018. Accessed: Apr. 05, 2022. [Online]. Available: [http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/15084/tesis condensada PDF.pdf?sequence=1](http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/15084/tesis%20condensada%20PDF.pdf?sequence=1)
- [21] A. D. Vivanco Huayaney, “Análisis comparativo de ensayos destructivos y no destructivos en estructuras de concreto, Puerto Casma, 2021,” Universidad César Vallejo, Lima, 2021. Accessed: Apr. 19, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73124>
- [22] I. A. Saif Valdéz, “Análisis comparativo entre ensayos destructivos y no destructivos de la resistencia del Hormigón con diferentes métodos de dosificación,” Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2019. Accessed: Apr. 20, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17797>

- [23] M. A. B. Suárez, “Correlación entre la resistencia real del concreto y el ensayo no destructivo de esclerometría para muestras de concreto en el departamento de Lambayeque – Perú,” *Tecnohumanismo*, vol. 1, no. 10, pp. 1–15, Sep. 2021, doi: 10.53673/TH.V1I10.59.
- [24] CC.OO, “Ensayos destructivos en la soldadura,” *Fed. Enseñanza Com. Obreras Andalucía*, Jul. 2011.
- [25] Y. Coras Muñoz, “Universidad Nacional de Educación Yosver Coras Muñoz,” UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN Enrique Guzmán y Valle, 2019.
- [26] Struers, “Ensayos de dureza,” *Struers Ensuring Certain.*, 2023, Accessed: Mar. 21, 2023. [Online]. Available: <https://www.struers.com/es-ES/Knowledge/Hardness-testing#>
- [27] Instituto del cemento y del concreto de Guatemala, “Boletín Técnico ICCG Ensayos no destructivos para evaluación de la resistencia del concreto endurecido,” *Boletín Técnico 06*, p. 5, Dec. 2018, Accessed: Apr. 05, 2022. [Online]. Available: <https://docplayer.es/108659780-Boletin-tecnico-iccg-ensayos-no-destructivos-para-evaluacion-de-la-resistencia-del-concreto-endurecido.html>
- [28] Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, “Determinación del índice de rebote utilizando el dispositivo conocido como esclerómetro,” *El concreto en la obra, Probl. causas y soluciones.*, vol. 19, pp. 67–71, 2009, [Online]. Available: <http://www.revistacyt.com.mx/images/problemas/2009/pdf/MARZO.pdf>
- [29] O. Arellano Catalán, “60 years of innovation Proceq,” *Grup. KB México*, 2022.
- [30] ProceQ SA, “Martillo para ensayos de hormigón,” *Proceq SA*, pp. 1–22, 2017.
- [31] ACI 214R-11, “Guide to Evaluation of Strength Test Results of Concrete,” *ACI 214R-11*, 2011, Accessed: Sep. 20, 2022. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/35417406/ACI\\_214R\\_11\\_Guide\\_to\\_Evaluation\\_of\\_S\\_trength\\_Test\\_Results\\_of\\_Concrete](https://www.academia.edu/35417406/ACI_214R_11_Guide_to_Evaluation_of_S_trength_Test_Results_of_Concrete)
- [32] NTE INEN 857, “Áridos. Determinación de la Densidad Relativa(Gravedad Especifica) y Absorción del Arido Grueso.,” *Norma Técnica Ecuatoriana*, no. Primera Edición, pp. 1–14, 2010, [Online]. Available: <http://apps.normalizacion.gob.ec>
- [33] NTE INEN 856, “ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO,” *Intituto Ecuatoriano Norm.*, pp. 1–178, 2014, doi: 10.17226/18725.
- [34] NTE INEN 858, “Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos [NTE 858 INEN ],” *Norma Técnica Ecuatoriana*, vol. 1, no. Primera Edición, p. 5, 2010.
- [35] NTE INEN 3124, “Hormigón. Elaboración Y Curado De Especímenes De Ensayo En El Laboratorio,” *Intituto Ecuatoriano Norm.*, pp. 1–19, 2017.
- [36] NTE INEN 1578, “Determinación del asentamiento, cemento hidráulico.,” *Intituto Ecuatoriano Norm.*, vol. 2165, p. 8, 2010, [Online]. Available: <http://bit.ly/2P2iu4u>

- [37] NTE INEN 1573, “Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico.” *Instituto Ecuatoriano Norm.*, vol. 1, no. Primera Edición, p. 5, 2010, [Online]. Available: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1573.pdf>

# ANEXOS

## ANEXO 1

Granulometría agregado fino.

Malla		% Que pasa
Tamiz	mm	
No 4	4,760	100
No 8	2,380	87,74
No 16	1,190	69,11
No 30	0,595	44,27
No 50	0,297	16,28
No 100	0,149	2,65

Fig. 43. Resultados granulometría árido fino  
Fuente: Autor

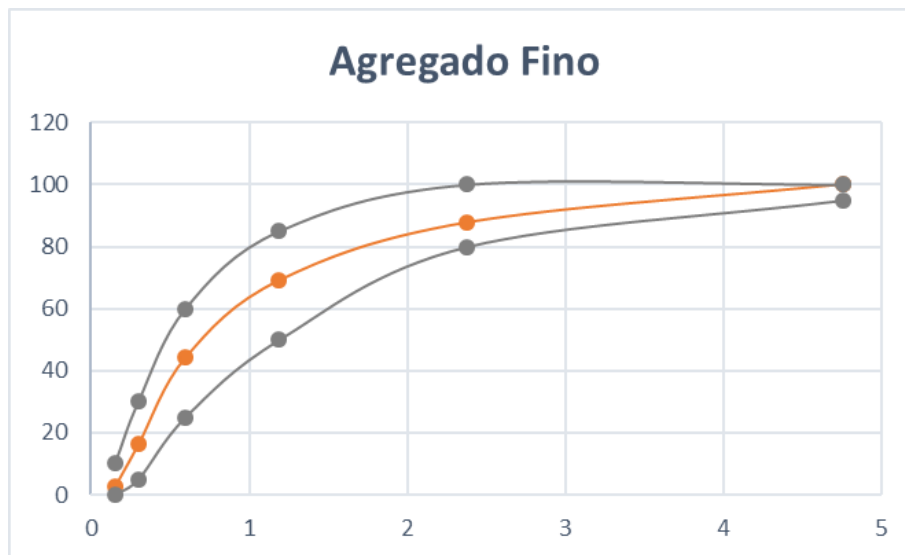


Fig. 44. Resultados granulometría árido fino  
Fuente: Autor

## ANEXO 2

Granulometría árido grueso.

Malla		% Que pasa
Tamiz	mm	
1 1/2"	38,100	100
1"	25,000	100
3/4"	19,050	99,24
1/2"	12,700	50,41
3/8"	9,525	30,03
No 4	4,760	1,83

Fig. 45. Resultados granulometría árido grueso  
Fuente: Autor

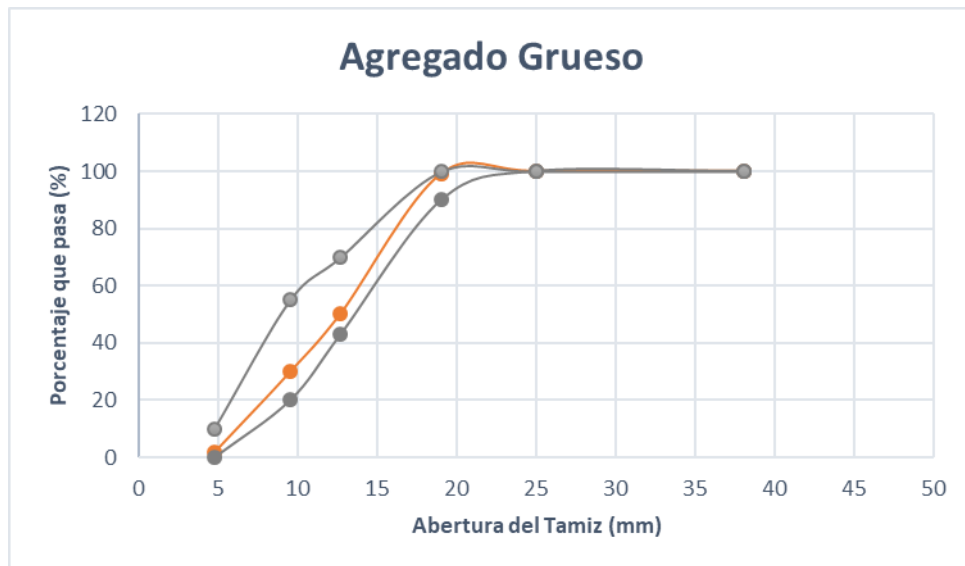


Fig. 46. Resultados granulometría árido grueso  
Fuente: Autor

### ANEXO 3

Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción del Agregado Fino.

<b>A</b>	Masa de la muestra seca la horno, g:	475,77	gr
<b>B</b>	Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g:	1209,51	gr
<b>C</b>	Masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g:	1509,00	gr
<b>S</b>	Masa de la muestra saturada superficialmente seca, g:	500,00	gr
Densidad relativa (gravedad específica)(SH)	$\frac{A}{(B + S - C)} =$	2,37	
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	$\frac{S}{(B + S - C)} =$	2,49	
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	$\frac{A}{(B + A - C)} =$	2,70	
Densidad (SH) kg/m <sup>3</sup>	$\frac{997,5(A)}{(B + S - C)} =$	2366,87	
Densidad (SSS) kg/m <sup>3</sup>	$\frac{997,5(S)}{(B + S - C)} =$	2487,41	
Densidad aparente kg/m <sup>3</sup>	$\frac{997,5(A)}{(B + A - C)} =$	2692,20	
Absorción %	$\frac{S - A}{A} * 100 =$	5,09	

#### ANEXO 4

Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción del Agregado Grueso.

<b>A</b>	Masa en aire de la muestra seca la horno, g:	2678,00	gr
<b>B</b>	Masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, g:	2728,00	gr
<b>C</b>	Masa aparente en agua de la muestra saturada, g:	1700,00	gr
Densidad relativa (gravedad específica)(SH)	$\frac{A}{B - C} =$	2,61	
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS)	$\frac{B}{B - C} =$	2,65	
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente).	$\frac{A}{A - C} =$	2,74	
Densidad (SH) kg/m <sup>3</sup>	$\frac{997,5(A)}{B - C} =$	2598,54572	
Densidad (SSS) kg/m <sup>3</sup>	$\frac{997,5(B)}{B - C} =$	2647,062257	
Densidad aparente kg/m <sup>3</sup>	$\frac{997,5(A)}{A - C} =$	2731,395706	
Absorción %	$\frac{B - A}{A} * 100 =$	1,87	

## ANEXO 5

Masa Unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos del agregado fino.

<b>Gc</b>	Masa unitaria compactada del árido más el molde, kg:	9,24	kgr
<b>Gs</b>	Masa unitaria suelta del árido más el molde, kg:	8,98	kgr
<b>T</b>	Masa del molde, kg:	4,74	kgr
<b>V</b>	Volumen del molde; m3:	0,00299	m3
Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m3	$\frac{G_c - T}{V} =$	1504,317124	
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m3	$\frac{G_s - T}{V} =$	1417,944849	
<b>Gc</b>	Masa unitaria compactada del árido más el molde, kg:	9,33	kgr
<b>Gs</b>	Masa unitaria suelta del árido más el molde, kg:	8,96	kgr
<b>T</b>	Masa del molde, kg:	4,74	kgr
<b>V</b>	Volumen del molde; m3:	0,00299	m3
Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m3	$\frac{G_c - T}{V} =$	1534,781763	
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m3	$\frac{G_s - T}{V} =$	1411,249323	
<b>Gc</b>	Masa unitaria compactada del árido más el molde, kg:	9,36	kgr
<b>Gs</b>	Masa unitaria suelta del árido más el molde, kg:	8,99	kgr
<b>T</b>	Masa del molde, kg:	4,74	kgr
<b>V</b>	Volumen del molde; m3:	0,00299	m3
Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m3	$\frac{G_c - T}{V} =$	1545,159827	
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m3	$\frac{G_s - T}{V} =$	1421,292611	

## ANEXO 6

Masa Unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos del agregado grueso.

<b>Gc</b>	Masa unitaria compactada del árido más el molde, kg:	28,31	kgr
<b>Gs</b>	Masa unitaria suelta del árido más el molde, kg:	27,76	kgr
<b>T</b>	Masa del molde, kg:	14,91	kgr
<b>V</b>	Volumen del molde; m <sup>3</sup> :	0,00996	m <sup>3</sup>
Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m <sup>3</sup>	$\frac{G_c - T}{V} =$	1344,91	
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m <sup>3</sup>	$\frac{G_s - T}{V} =$	1289,71	
<b>Gc</b>	Masa unitaria compactada del árido más el molde, kg:	28,45	kgr
<b>Gs</b>	Masa unitaria suelta del árido más el molde, kg:	27,55	kgr
<b>T</b>	Masa del molde, kg:	14,91	kgr
<b>V</b>	Volumen del molde; m <sup>3</sup> :	0,00996	m <sup>3</sup>
Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m <sup>3</sup>	$\frac{G_c - T}{V} =$	1358,96	
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m <sup>3</sup>	$\frac{G_s - T}{V} =$	1268,63	
<b>Gc</b>	Masa unitaria compactada del árido más el molde, kg:	28,39	kgr
<b>Gs</b>	Masa unitaria suelta del árido más el molde, kg:	27,68	kgr
<b>T</b>	Masa del molde, kg:	14,91	kgr
<b>V</b>	Volumen del molde; m <sup>3</sup> :	0,00996	m <sup>3</sup>
Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m <sup>3</sup>	$\frac{G_c - T}{V} =$	1352,94	
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m <sup>3</sup>	$\frac{G_s - T}{V} =$	1281,68	

## ANEXO 7

Asentamiento Resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>.



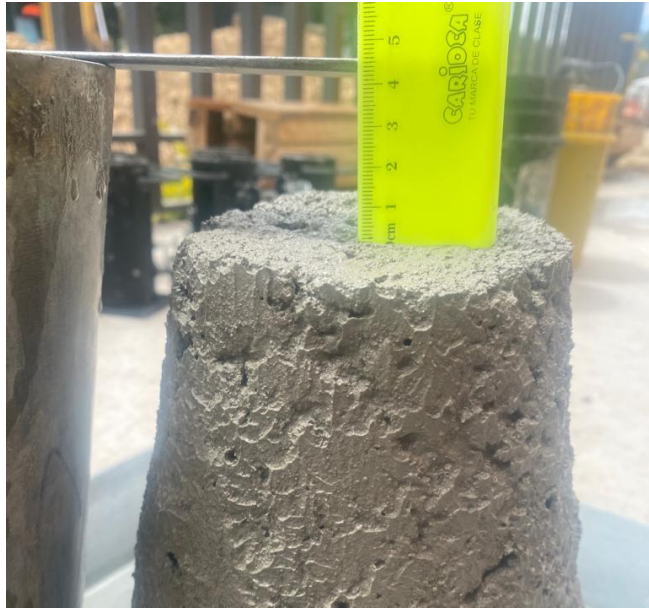
*Fig. 47. Asentamiento Resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>  
Fuente: Autor*

Asentamiento Resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup>.



*Fig. 48. Asentamiento Resistencia de 240 kg/cm<sup>2</sup>  
Fuente: Autor*

Asentamiento Resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup>.



*Fig. 49. Asentamiento Resistencia de 300 kg/cm<sup>2</sup>  
Fuente: Autor*

## ANEXO 8

### Ensayo de Resistencia a la Compresión 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Peso (gr)	D1 (cm)	D2 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	Carga Lectura (Kg/cm2)	Resistencia (Kg/cm2)
D13	1/2/2023	6/2/2023	5	3820	10,3	10,28	20,4	20,35	8290	99,68593798
D14	1/2/2023	6/2/2023	5	3812	10,25	10,25	20,45	20,4	8630	104,585911
D15	1/2/2023	6/2/2023	5	3816	10,28	10,3	20,4	20,35	8560	102,9326453
D16	1/2/2023	6/2/2023	5	3822	10,3	10,28	20,38	20,3	6980	83,93339531
D1	1/2/2023	8/2/2023	7	3859	10,2	10,2	20,2	20,2	11760	143,9186567
D2	1/2/2023	8/2/2023	7	3858	10,2	10,3	20,3	20,2	11630	140,9425428
D3	1/2/2023	8/2/2023	7	3794	10,1	10,2	20,3	20,2	10790	133,3519832
D4	1/2/2023	8/2/2023	7	3184	9,5	9,5	19,6	19,7	10270	144,8883116
D5	1/2/2023	15/2/2023	14	3865	10,25	10,3	20,3	20,3	12650	152,5587013
D8	1/2/2023	15/2/2023	14	3791	10,3	10,3	20,3	20,4	12710	152,5391141
D9	1/2/2023	15/2/2023	14	3853	10,25	10,25	20,3	20,3	12410	150,3952671
D10	1/2/2023	15/2/2023	14	3855	10,3	10,25	20,3	20,3	12300	148,3377096
E4	1/2/2023	22/2/2023	21	3838	10,3	10,25	20,3	20,3	13690	165,1010768
E5	1/2/2023	22/2/2023	21	3798	10,36	10,35	20,3	20,36	13620	161,7286717
E6	1/2/2023	22/2/2023	21	3801	10,3	10,25	20,3	20,35	13620	164,2568784
E7	1/2/2023	22/2/2023	21	3854	10,3	10,28	20,35	20,4	13880	166,9048033
E1	1/2/2023	24/2/2023	23	3818	10,25	10,31	20,35	20,4	14620	176,1453821
E2	1/2/2023	24/2/2023	23	3813	10,25	10,3	20,31	20,3	14850	179,0906494
E3	1/2/2023	24/2/2023	23	3811	10,3	10,3	20,35	20,4	14900	178,8224075
E8	1/2/2023	24/2/2023	23	3786	10,3	10,25	20,35	20,35	14760	178,0052515
E9	1/2/2023	27/2/2022	26	3823	10,3	10,32	20,35	20,35	15680	187,818707
E14	1/2/2023	27/2/2022	26	3836	10,3	10,3	20,45	20,4	15420	185,0631896
E15	1/2/2023	27/2/2022	26	3838	10,3	10,32	20,3	20,35	15730	188,4176187
E16	1/2/2023	27/2/2022	26	3824	10,3	10,25	20,31	20,35	15760	190,0652279
E10	1/2/2023	1/3/2023	28	3827	10,28	10,25	20,3	20,4	16530	211,7244094
E11	1/2/2023	1/3/2023	28	3836	10,3	10,3	20,4	20,4	16740	212,9594851
E12	1/2/2023	1/3/2023	28	3810	10,3	10,3	20,35	20,35	16980	218,0505231
E13	1/2/2023	1/3/2023	28	3823	10,3	10,32	20,45	20,45	16850	215,9615675
D6	1/2/2023	29/3/2023	56	3166	9,45	9,48	19,73	19,78	15010	226,1174347
D7	1/2/2023	29/3/2023	56	3862	10,1	10,15	20,35	20,35	16870	222,0911879
D11	1/2/2023	29/3/2023	56	3862	10,2	10,15	20,39	20,41	16820	221,3295014
D12	1/2/2023	29/3/2023	56	3846	10,3	10,3	20,15	20,1	16070	219,2091327

## ANEXO 9

### Ensayo de Resistencia a la Compresión 240 kg/cm<sup>2</sup>.

Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Peso (gr)	D1 (cm)	D2 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	Carga Lectura (Kg/cm2)	Resistencia (Kg/cm2)
F1	2/2/2023	7/2/2023	5	3820	10,2	10,2	20,2	20,2	8330	101,94238
F2	2/2/2023	7/2/2023	5	3784	10,3	10,2	20,2	20,2	8340	101,07144
F3	2/2/2023	7/2/2023	5	3802	10,3	10,2	20,3	20,3	8380	101,55619
F4	2/2/2023	7/2/2023	5	3809	10,2	10,2	20,2	20,2	8530	104,38998
F5	2/2/2023	9/2/2023	7	3825	10,25	10,31	20,34	20,36	9550	115,06077
F6	2/2/2023	9/2/2023	7	3824	10,27	10,3	20,35	20,34	9210	110,8565
F7	2/2/2023	9/2/2023	7	3818	10,2	10,21	20,35	20,37	9090	111,13427
F8	2/2/2023	9/2/2023	7	3834	10,36	10,3	20,35	20,35	9400	112,15983
F9	2/2/2023	16/2/2023	14	3791	10,25	10,3	20,3	20,3	12600	151,9557
F10	2/2/2023	16/2/2023	14	3739	10,3	10,3	20,3	20,4	12230	146,77839
F11	2/2/2023	16/2/2023	14	3764	10,25	10,25	20,3	20,3	12480	151,24359
F14	2/2/2023	16/2/2023	14	3745	10,3	10,25	20,3	20,3	12660	152,6793
G9	2/2/2023	23/2/2023	21	3846	10,28	10,29	20,39	20,37	16890	203,2971
G10	2/2/2023	23/2/2023	21	3822	10,27	10,3	20,3	20,3	16995	204,56093
G15	2/2/2023	23/2/2023	21	3814	10,2	10,3	20,4	20,4	16860	204,32427
G16	2/2/2023	23/2/2023	21	3826	10,25	10,25	20,5	20,4	17190	208,3235
G5	2/2/2023	25/2/2023	23	3825	10,35	10,25	20,45	20,45	18050	216,62714
G11	2/2/2023	25/2/2023	23	3845	10,2	10,3	20,45	20,45	18100	219,35168
G12	2/2/2023	25/2/2023	23	3856	10,25	10,21	20,45	20,4	17950	218,38525
G14	2/2/2023	25/2/2023	23	3815	10,3	10,25	20,45	20,45	18300	220,69757
G1	2/2/2023	28/2/2022	26	3829	10,25	10,3	20,4	20,48	18650	224,91856
G2	2/2/2023	28/2/2022	26	3852	10,3	10,22	20,5	20,45	19100	231,01957
G3	2/2/2023	28/2/2022	26	3813	10,31	10,2	20,35	20,35	18950	229,42884
G4	2/2/2023	28/2/2022	26	3813	10,22	10,25	20,35	20,45	19300	234,58041
G8	2/2/2023	2/3/2023	28	3829	10,2	10,28	20,4	20,45	19100	243,51901
G13	2/2/2023	2/3/2023	28	3802	10,25	10,31	20,35	20,38	19065	241,18484
F12	2/2/2023	2/3/2023	28	3741	10,2	10,2	20,45	20,45	18840	242,09174
F13	2/2/2023	2/3/2023	28	3744	10,25	10,3	20	20,08	18965	240,15332
F15	2/2/2023	30/3/2023	56	3830	10,2	10,19	20,3	20,28	19550	244,27701
F16	2/2/2023	30/3/2023	56	3124	9,4	9,38	19,4	19,3	16347	240,7782
G6	2/2/2023	30/3/2023	56	3157	9,3	9,25	19,45	19,5	16220	244,86872
G7	2/2/2023	30/3/2023	56	3843	10,2	10,15	20,3	20,3	19450	243,98384

## ANEXO 10

### Ensayo de Resistencia a la Compresión 300 kg/cm<sup>2</sup>.

Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Peso (gr)	D1 (cm)	D2 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	Carga Lectura (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )
I2	7/2/2023	12/2/2023	5	3822	10,25	10,3	20,4	20,45	13650	164,61868
I14	7/2/2023	12/2/2023	5	3814	10,35	10,32	20,3	20,2	13530	161,28239
I15	7/2/2023	12/2/2023	5	2809	10,25	10,28	20,35	20,38	13860	167,4771
I16	7/2/2023	12/2/2023	5	3816	10,3	10,35	20,28	10,35	13450	160,63948
H1	7/2/2023	14/2/2023	7	3817	10,25	10,25	20,3	20,3	14430	174,8754
H2	7/2/2023	14/2/2023	7	3822	10,3	10,25	20,3	20,3	14790	178,36705
H3	7/2/2023	14/2/2023	7	3756	10,3	10,2	20,3	20,3	14900	180,57127
H4	7/2/2023	14/2/2023	7	3765	10,2	10,35	20,3	20,3	15010	181,02025
H5	7/2/2023	21/2/2023	14	3794	10,27	10,31	20,25	20,3	17790	213,92193
H6	7/2/2023	21/2/2023	14	3788	10,2	10,3	20,3	20,3	17650	213,89818
H7	7/2/2023	21/2/2023	14	3728	10,25	10,15	20,4	20,35	17290	211,59469
H8	7/2/2023	21/2/2023	14	3155	9,5	9,4	19,85	19,9	15420	219,85223
H11	7/2/2023	28/2/2023	21	3766	10,35	10,3	20,1	20,2	19540	233,37512
H14	7/2/2023	28/2/2023	21	3830	10,32	10,3	20,4	20,45	19670	235,61186
H16	7/2/2023	28/2/2023	21	3820	10,35	10,25	20,4	20,4	19420	233,06921
I12	7/2/2023	28/2/2023	21	3812	10,25	10,31	20,4	20,45	19740	237,83241
H12	7/2/2023	2/3/2023	23	3809	10,35	10,28	20,3	20,3	21360	255,60709
H13	7/2/2023	2/3/2023	23	3821	10,35	10,28	20,45	20,4	21700	259,67575
I9	7/2/2023	2/3/2023	23	3833	10,25	10,25	20,4	20,35	21890	265,28222
I10	7/2/2023	2/3/2023	23	3799	10,32	10,32	20,45	20,45	21450	256,43543
I5	7/2/2023	5/3/2023	26	3823	10,25	10,28	20,38	20,4	22790	275,38263
I6	7/2/2023	5/3/2023	26	3812	10,29	10,31	20,45	20,4	22650	271,83406
I7	7/2/2023	5/3/2023	26	3809	10,27	10,29	20,39	20,4	22980	276,86873
I8	7/2/2023	5/3/2023	26	3807	10,3	10,35	20,45	20,4	23010	274,81891
I13	7/2/2023	7/3/2023	28	3826	10,3	10,29	20,41	20,45	24990	300,20898
I3	7/2/2023	7/3/2023	28	3829	10,3	10,28	20,45	20,4	25100	301,82353
I4	7/2/2023	7/3/2023	28	3818	10,3	10,3	20,48	20,55	25000	300,0376
I11	7/2/2023	7/3/2023	28	3812	10,28	10,31	20,38	20,4	25110	301,65056
I1	7/2/2023	4/4/2023	56	3819	10,3	10,28	20,3	20,35	25340	304,70949
H15	7/2/2023	4/4/2023	56	3824	10,2	10,25	20,4	20,45	25000	304,45527
H9	7/2/2023	4/4/2023	56	3821	10,3	10,3	20,38	20,35	25350	304,23812
H10	7/2/2023	4/4/2023	56	3823	10,3	10,4	20,42	20,4	25670	305,10919

## ANEXO 11

Ensayo de Esclerometría 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Orientación	Rebotes										Promedio		
D15	1/2/2023	6/2/2023	5	Horizontal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D16	1/2/2023	6/2/2023	5	Horizontal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D13	1/2/2023	6/2/2023	5	Vertical	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D14	1/2/2023	6/2/2023	5	Vertical	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D1	1/2/2023	8/2/2023	7	Horizontal	10	11	12	12	10	12	12	10	10	10	10	10,9	
D2	1/2/2023	8/2/2023	7	Horizontal	10	15	10	10	10	13	11	10	11	12		11,2	
D3	1/2/2023	8/2/2023	7	Vertical	10	11	10	11	10	10	11	11	11	10		10,5	
D4	1/2/2023	8/2/2023	7	Vertical	10	10	10	11	12	10	11	10	11	11		10,6	

Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Orientación	Rebotes										Promedio
D5	1/2/2023	15/2/2023	14	Horizontal	20	18	17	16	16	16	16	13	15	15	16,20
D8	1/2/2023	15/2/2023	14	Horizontal	19	17	17	16	16	15	18	13	17	16	16,40
D9	1/2/2023	15/2/2023	14	Vertical	12	10	11	10	13	11	12	12	10	14	11,50
D10	1/2/2023	15/2/2023	14	Vertical	10	11	11	12	11	10	11	12	14	13	11,50
E4	1/2/2023	22/2/2023	21	Vertical	22	21	21	22	23	21	22	22	23	24	22,10
E5	1/2/2023	22/2/2023	21	Vertical	21	21	21	22	21	23	21	22	24	23	21,90
E6	1/2/2023	22/2/2023	21	Horizontal	25	26	25	23	25	26	24	28	26	25	25,30
E7	1/2/2023	22/2/2023	21	Horizontal	24	26	25	27	24	25	26	27	25	24	25,30

Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Orientación	Rebotes										Promedio
E1	1/2/2023	24/2/2023	23	Horizontal	26	27	26	28	25	26	27	31	26	27	26,90
E2	1/2/2023	24/2/2023	23	Horizontal	31	28	25	26	27	25	28	25	27	26	26,80
E3	1/2/2023	24/2/2023	23	Vertical	24	23	23	24	22	23	22	24	25	24	23,40
E8	1/2/2023	24/2/2023	23	Vertical	23	23	22	23	23	22	24	22	24	22	22,80
E9	1/2/2023	27/2/2022	26	Vertical	23	26	24	25	22	24	26	24	24	23	24,10
E14	1/2/2023	27/2/2022	26	Vertical	25	23	26	24	24	23	25	26	24	23	24,30
E15	1/2/2023	27/2/2022	26	Horizontal	28	31	28	28	27	27	25	28	27	26	27,50
E16	1/2/2023	27/2/2022	26	Horizontal	28	28	29	28	27	25	24	28	28	28	27,30

Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Orientación	Rebotes										Promedio
E10	1/2/2023	1/3/2023	28	Vertical	26	25	27	25	24	26	27	28	24	25	25,7
E11	1/2/2023	1/3/2023	28	Horizontal	31	26	28	27	29	28	29	28	30	28	28,4
E12	1/2/2023	1/3/2023	28	Horizontal	26	27	28	27	29	30	28	29	29	28	28,1
E13	1/2/2023	1/3/2023	28	Vertical	25	25	23	23	25	26	24	25	24	25	24,5
D6	1/2/2023	29/3/2023	56	Vertical	26	25	26	26	24	25	26	28	27	28	26,1
D7	1/2/2023	29/3/2023	56	Vertical	26	26	28	29	27	25	26	27	28	28	27
D11	1/2/2023	29/3/2023	56	Horizontal	28	28	32	30	32	31	29	30	28	29	29,7
D12	1/2/2023	29/3/2023	56	Horizontal	30	29	29	28	27	28	30	31	28	28	28,8

## ANEXO 12

Ensayo de Esclerometría 240 kg/cm<sup>2</sup>.

Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Orientación	Rebotes										Promedio	
F1	2/2/2023	7/2/2023	5	Horizontal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2	2/2/2023	7/2/2023	5	Horizontal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F3	2/2/2023	7/2/2023	5	Vertical	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F4	2/2/2023	7/2/2023	5	Vertical	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F5	2/2/2023	9/2/2023	7	Horizontal	10	13	13	10	11	12	10	12	11	10	11,2	
F6	2/2/2023	9/2/2023	7	Horizontal	10	13	12	15	10	13	12	12	10	11	11,8	
F7	2/2/2023	9/2/2023	7	Vertical	10	10	11	11	10	10	11	11	11	10	10,5	
F8	2/2/2023	9/2/2023	7	Vertical	10	10	10	12	12	10	11	10	11	11	10,7	

Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Orientación	Rebotes										Promedio
F9	2/2/2023	16/2/2023	14	Horizontal	16	18	16	17	15	15	16	18	18	18	16,7
F10	2/2/2023	16/2/2023	14	Vertical	12	13	15	11	16	13	14	12	10	11	12,7
F11	2/2/2023	16/2/2023	14	Horizontal	17	15	17	15	18	14	16	13	16	16	15,7
F14	2/2/2023	16/2/2023	14	Vertical	13	15	13	12	12	10	14	15	15	16	13,5
G9	2/2/2023	23/2/2023	21	Vertical	24	23	25	19	24	23	25	25	24	24	23,6
G10	2/2/2023	23/2/2023	21	Vertical	24	23	22	24	25	26	23	26	24	24	24,1
G15	2/2/2023	23/2/2023	21	Horizontal	25	24	27	26	26	27	25	24	23	27	25,4
G16	2/2/2023	23/2/2023	21	Horizontal	26	26	25	27	27	25	25	26	26	27	26

Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Orientación	Rebotes										Promedio
G5	2/2/2023	25/2/2023	23	Vertical	25	26	24	24	25	26	24	25	25	26	25
G11	2/2/2023	25/2/2023	23	Horizontal	27	26	27	29	27	28	28	27	29	30	27,8
G12	2/2/2023	25/2/2023	23	Vertical	24	25	26	24	25	26	24	24	25	25	24,8
G14	2/2/2023	25/2/2023	23	Horizontal	28	29	27	27	31	27	28	27	29	28	28,1
G1	2/2/2023	28/2/2022	26	Vertical	27	28	28	28	27	25	26	27	27	27	27
G2	2/2/2023	28/2/2022	26	Vertical	26	27	28	26	26	25	27	26	27	25	26,3
G3	2/2/2023	28/2/2022	26	Horizontal	29	29	28	28	31	30	27	29	28	30	28,9
G4	2/2/2023	28/2/2022	26	Horizontal	31	28	28	28	30	30	29	29	30	27	29

Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Orientación	Rebotes										Promedio
G8	2/2/2023	2/3/2023	28	Vertical	27	28	26	27	28	27	26	27	28	29	27,3
G13	2/2/2023	2/3/2023	28	Horizontal	32	30	31	30	29	30	30	27	30	28	29,7
F12	2/2/2023	2/3/2023	28	Vertical	30	26	27	29	28	29	27	26	27	30	27,9
F13	2/2/2023	2/3/2023	28	Horizontal	30	31	30	29	28	30	31	31	30	29	29,9
F15	2/2/2023	2/3/2023	56	Horizontal	32	33	30	31	30	32	31	30	32	30	31,1
F16	2/2/2023	2/3/2023	56	Vertical	29	28	27	30	31	28	27	28	29	32	28,9
G6	2/2/2023	2/3/2023	56	Vertical	31	29	28	30	27	30	31	29	28	30	29,3
G7	2/2/2023	2/3/2023	56	Horizontal	33	35	30	31	32	30	30	29	30	31	31,1

### ANEXO 13

Ensayo de Esclerometría 300 kg/cm<sup>2</sup>.

Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Orientación	Rebotes										Promedio
I2	7/2/2023	12/2/2023	5	Horizontal	10	10	10	10	10	10	11	10	11	11	10,30
I14	7/2/2023	12/2/2023	5	Horizontal	10	11	10	10	10	10	11	10	10	10	10,20
I15	7/2/2023	12/2/2023	5	Vertical	10	10	10	11	10	11	10	10	10	10	10,20
I16	7/2/2023	12/2/2023	5	Vertical	10	10	10	10	10	10	11	10	11	11	10,30
H1	7/2/2023	14/2/2023	7	Horizontal	10	13	17	17	15	14	17	14	15	16	14,80
H2	7/2/2023	14/2/2023	7	Vertical	13	12	11	11	13	15	14	13	11	16	12,90
H3	7/2/2023	14/2/2023	7	Horizontal	16	14	15	14	16	15	17	15	11	15	14,80
H4	7/2/2023	14/2/2023	7	Vertical	16	11	14	12	10	12	12	12	14	11	12,40

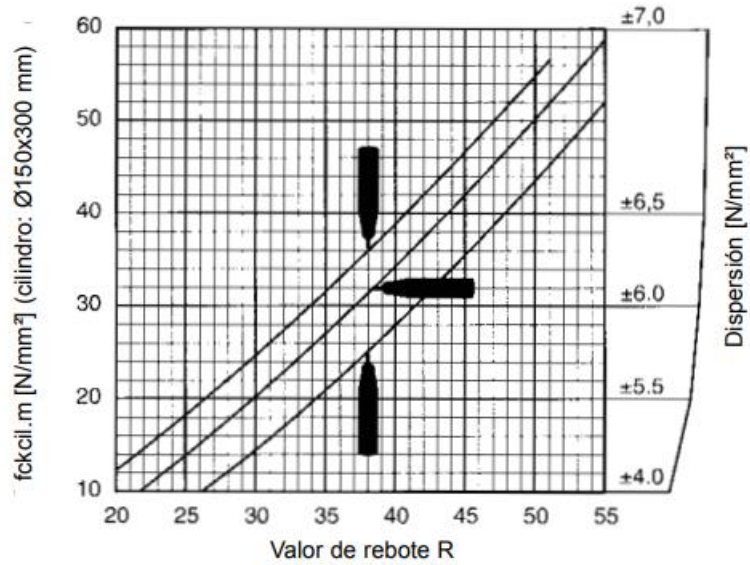
Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Orientación	Rebotes										Promedio
H5	7/2/2023	21/2/2023	14	Vertical	20	21	22	23	21	22	25	21	20	24	21,90
H6	7/2/2023	21/2/2023	14	Vertical	16	15	16	17	19	20	19	19	20	18	17,90
H7	7/2/2023	21/2/2023	14	Horizontal	26	24	27	26	23	24	27	25	25	27	25,40
H8	7/2/2023	21/2/2023	14	Horizontal	24	23	22	27	22	21	20	22	23	22	22,60
H11	7/2/2023	28/2/2023	21	Vertical	24	26	25	25	27	26	25	25	27	28	25,80
H14	7/2/2023	28/2/2023	21	Horizontal	28	29	29	27	30	31	30	31	28	30	29,30
H16	7/2/2023	28/2/2023	21	Vertical	25	26	25	26	27	25	27	26	27	25	25,90
I12	7/2/2023	28/2/2023	21	Horizontal	28	30	28	29	28	29	30	31	29	31	29,30

Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Orientación	Rebotes										Promedio
H12	7/2/2023	2/3/2023	23	Vertical	29	26	28	25	26	27	26	27	29	27	27
H13	7/2/2023	2/3/2023	23	Horizontal	30	32	33	30	30	33	33	32	31	31	31,5
I9	7/2/2023	2/3/2023	23	Vertical	27	26	28	25	26	28	26	27	26	28	26,7
I10	7/2/2023	2/3/2023	23	Horizontal	32	31	33	31	33	32	33	33	31	30	31,9
I5	7/2/2023	5/3/2023	26	Horizontal	35	32	35	33	33	32	34	34	33	32	33,3
I6	7/2/2023	5/3/2023	26	Vertical	29	27	30	29	28	30	27	31	30	30	29,1
I7	7/2/2023	5/3/2023	26	Vertical	30	29	28	30	31	29	27	30	30	29	29,3
I8	7/2/2023	5/3/2023	26	Horizontal	34	32	33	35	32	34	31	35	34	33	33,3

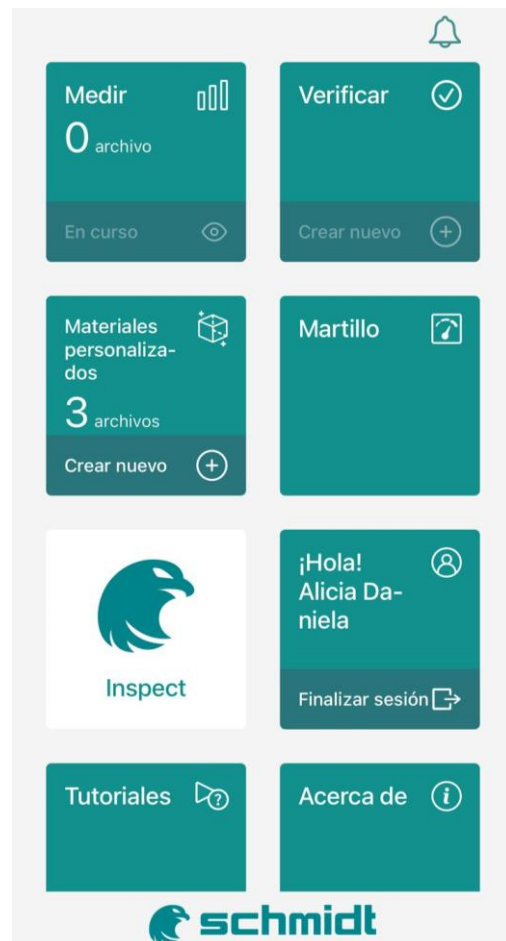
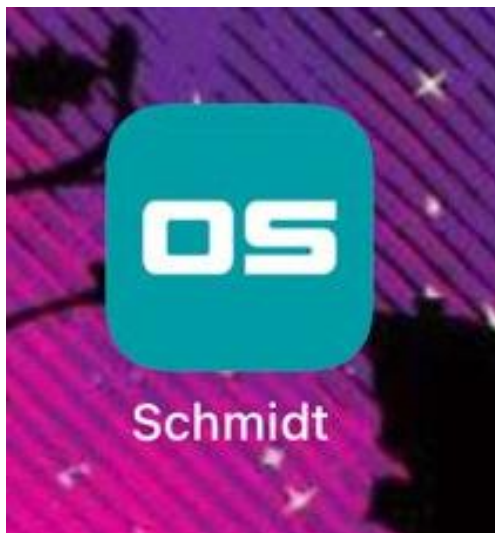
Muestra N°	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	N° Días	Orientación	Rebotes										Promedio
I13	7/2/2023	7/3/2023	28	Vertical	32	32	31	30	32	32	31	30	32	31	31,3
I3	7/2/2023	7/3/2023	28	Vertical	32	31	30	31	30	31	32	31	29	32	30,9
I4	7/2/2023	7/3/2023	28	Horizontal	35	36	36	34	37	35	36	34	35	34	35,2
I11	7/2/2023	7/3/2023	28	Horizontal	34	35	35	34	36	38	35	34	35	39	35,5
I1	7/2/2023	7/3/2023	56	Vertical	31	33	33	34	32	33	31	32	32	35	32,6
H15	7/2/2023	7/3/2023	56	Vertical	30	35	33	32	31	34	32	31	36	30	32,4
H9	7/2/2023	7/3/2023	56	Horizontal	38	35	35	37	35	36	37	36	38	37	36,4
H10	7/2/2023	7/3/2023	56	Horizontal	37	36	36	35	36	34	36	38	37	37	36,2

## ANEXO 14

La curva de conversión que se utilizó para el cálculo fue la siguiente:















La aplicación usada fue la siguiente:



## ANEXO 15

Memoria Fotográfica de los ensayos realizados.

Horno	Temperatura 100 +/- 5°C	Balanza en g
		
Balanza en kg	Pie de Rey	Tamizadora
		
Árido grueso para peso específico	Árido fino para peso específico	Método Gravimétrico
		

Muestreo árido grueso	Muestreo árido grueso	Picnómetro
		
Densidad, árido grueso	Calibración de Probetas	Probetas engrasadas
		
Materiales	Mezcla lista	Asentamiento
		
Asentamiento	Asentamiento	Asentamiento
		

<p style="text-align: center;">Vertido de la Mezcla</p> 	<p style="text-align: center;">Vertido de la Mezcla</p> 	<p style="text-align: center;">Probetas listas</p> 
<p style="text-align: center;">Probetas en el agua</p> 	<p style="text-align: center;">Cilindros pulidos</p> 	<p style="text-align: center;">Señal para los disparos</p> 
<p style="text-align: center;">Ensayo esclerómetro vertical</p>	<p style="text-align: center;">Ensayo esclerómetro horizontal</p>	<p style="text-align: center;">Ensayo resistencia a compresión</p>
		

**Alicia Daniela Gavilanes Pinos** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302799275**. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Correlación de la resistencia del concreto entre ensayos destructivos (resistencia a la compresión) y no destructivos (martillo de schmidt)”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, **18 de mayo de 2023**

F: 

**Alicia Daniela Gavilanes Pinos**

**C.I. 0302799275**