



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Evaluación del comportamiento eléctrico y mecánico del
hormigón con adición de residuos de café como sustituto
parcial del agregado fino.**

AUTORES:

**Ponce Vélez, Luis Gonzalo
Navia Arteaga, Ricardo Paul**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Yépez Roca, Luis Octavio, M.Sc.

Guayaquil, Ecuador

08 de septiembre del 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Ponce Vélez, Luis Gonzalo y Navia Arteaga, Ricardo Paul**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. 

Ing. Yépez Roca, Luis Octavio, M.Cs.

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. 

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, Ph.D.

Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Ponce Vélez, Luis Gonzalo y Navia Arteaga, Ricardo Paul**

DECLARAMOS QUE:

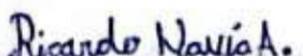
El Trabajo de Titulación, **Evaluación del comportamiento eléctrico y mecánico del hormigón con adición de residuos de café como sustituto parcial del agregado fino**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025

AUTOR:

f. 
Ponce Vélez, Luis Gonzalo

f. 
Navia Arteaga, Ricardo Paul



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

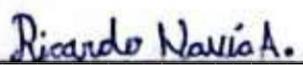
Nosotros, **Ponce Vélez, Luis Gonzalo y Navia Arteaga, Ricardo Paul**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Evaluación del comportamiento eléctrico y mecánico del hormigón con adición de residuos de café como sustituto parcial del agregado fino**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025

AUTOR:

f. 
Ponce Vélez, Luis Gonzalo

f. 
Navia Arteaga, Ricardo Paul

REPORTE COMPILATIO



CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TRABAJO DE TITULO DE PONCE Y NAVIA .

8%
Textos sospechosos

1% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
2% Idiomas no reconocidos
5% Textos potencialmente generados por IA

Nombre del documento: TRABAJO DE TITULO DE PONCE Y NAVIA ...docx
ID del documento: f7dafd9fa830977203c92d80bfbce84e48b13971
Tamaño del documento original: 5,45 MB

Depositante: Clara Catalina Glas Cevallos
Fecha de depósito: 28/8/2025
Tipo de carga: interface
Fecha de fin de análisis: 28/8/2025

Número de palabras: 12.582
Número de caracteres: 84.183

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	localhost Comportamiento de paredes de mampostería, reforzadas con fibra n... http://localhost:8080/xen/lu/bitstream/331714538/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-354.pdf.txt 17 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (409 palabras)
2	Nathaly Freire Juan Vega,P73.docx Nathaly Freire Juan Vega,P73 #45093 Viene de de mi grupo 15 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (395 palabras)
3	localhost Determinación de propiedades mecánicas de tirillas de fibra de caña g... http://localhost:8080/xen/lu/bitstream/331713825/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-303.pdf.txt 14 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (357 palabras)
4	localhost Cenizas de bagazo de caña de azúcar para mejorar resistencia y perm... http://localhost:8080/xen/lu/bitstream/331713844/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-322.pdf.txt 14 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (347 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #11614 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
2	repositorio.ucsg.edu.ec Impacto de la automatización de los procesos contable... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/331720611/1/T-UCSG-PRE-ECO-CICA-540.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
3	repositorio.ucsg.edu.ec Gestión del proceso de selección e inducción del perso... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/331724136/1/UCSG-468-23685.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
4	Documento de otro usuario #44011 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (25 palabras)
5	repositorio.ucsg.edu.ec Estudio de la comunicación estratégica como proceso ... http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/33171929/1/T-UCSG-POS-MCO-3.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (22 palabras)

Fuente ignorada Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	TRABAJO DE TITULO PONCE Y NAVIA.pdf TRABAJO DE TITULO PONCE ... #54414 Viene de de biblioteca	83%		Palabras idénticas: 83% (10.771 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/99/Logo_UCSG.svg/2000px-Logo_UCSG.svg.png
- https://www.researchgate.net/publication/336067602_Utilizacion_de_Residuos_de_Cafe_Tostado_y_Molido_como_Bioadsorbente_para_la_Remocion_de_Arsenico_Ven_Agua
- <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84900584323&origin=inward>
- <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/1/1018>
- <https://www.science-direct.com/science/article/abs/pii/S0169131711000962>

f.

Ing. Yépez Roca, Luis Octavio, M.Cs

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por apoyarme en cada decisión y por darme la fortaleza necesaria para alcanzar mis metas. Este logro no sería posible sin el esfuerzo y sacrificio que ellos realizaron para que yo pudiera cumplir mi sueño.

Mis hermanos, Yordito y Michelle, quienes siempre creyeron en mí y me brindaron su apoyo en todo momento.

Por último, agradecer mis amigos que conocí en la universidad “Hostias”, sin ellos este logro no hubiera significado lo mismo. Gracias por todos los momentos compartidos, ustedes son mi segunda familia.

-Luis Gonzalo Ponce Vélez

DEDICATORIA

Mis padres, mi ejemplo a seguir y los cuales han hecho que nunca me falte nada.

Mi hermano Carlos Veloz, tu pérdida fue muy dolorosa, pero tu recuerdo siempre me acompaña. Estoy seguro de que hubieras estado muy orgulloso de lo que he logrado.

-Luis Gonzalo Ponce Vélez

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, porque sin Él nada de esto hubiera sido posible. A mi padre, quien ha sido el pilar fundamental en todo este proceso; su presencia, sus consejos y sus ganas de verme alcanzar esta meta fueron una fuente de inspiración diaria. A mi madre, por darme la fuerza y el amor necesarios para seguir adelante en cada etapa de este camino.

También agradezco profundamente a mi hermana, por brindarme siempre su apoyo incondicional; a mis abuelitos, quienes me acompañaron permanentemente con su cariño; y de manera muy especial, a mi abuelito Fortunato, quien nunca dudó de mis capacidades y me dio siempre su apoyo incondicional. Asimismo, quiero agradecer a mi tía Elsa, por estar presente en cada momento con su apoyo y cariño.

También quiero reconocer a mis compañeros de clase, pues sin su colaboración este logro hubiera sido mucho más difícil. Y de manera especial, a mi grupo de amigos “Hostias”, quienes siempre estuvieron ahí para darme la mano cuando más lo necesité.

-Ricardo Paul Navia Arteaga

DEDICATORIA

A las mujeres de mi vida, mi mamá y hermana, por ser mi fuerza y mi motivación para seguir adelante cada día.

A mi padre Ricardo Navia, aunque la vida no me permitió tenerte a mi lado todo el camino, tu esencia vive en mí. Este triunfo también es tuyo, porque sigo caminando con la fuerza que me heredaste.

A mi abuelito Fortunato, mi segundo padre, quien me enseñó que la verdadera fortaleza está en nunca rendirse.

-Ricardo Paul Navia Arteaga



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

Ing. Yépez Roca, Luis Octavio, M.Cs.
TUTOR



Ing. Federico von Buchwald de Janon, Ph.D.
DECANO DE LA CARRERA

f. 

Ing. Clara Glas Cevallos, M.Sc.
DOCENTE DE LA CARRERA

f. 

Ing. Alcívar Bastidas, Stefany Esther, Ph.D.
OPONENTE

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	2
i.	ANTECEDENTES
.....	4
ii.OBJETIVO	GENERAL
.....	6
iii.OBJETIVOS	ESPECÍFICOS
.....	6
iv.	ALCANCE
.....	7
1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	8
1.1.....	Hormigón
.....	8
1.1.1 Composición del hormigón	8
1.2 Función de los componentes.....	9
1.2.1 Cemento Portland	9
1.2.2 Agregados	9
1.2.3 Agua.....	9
1.3 Propiedades del hormigón.....	9
1.3.1 Resistencia.....	10
1.4 Explotación de agregados en el sector de la construcción	10
1.5 Adiciones de residuos orgánicos en el hormigón.....	11
1.5.1 Residuo orgánico	11
1.5.2 Antecedentes del uso de residuos orgánicos	11

1.6 El café	12
1.6.1 El café y sus residuos.....	12
1.6.2 Impacto del bagazo de café.....	13
1.6.3 El bagazo de café.....	14
1.6.4 Composición química del bagazo de café	14
1.6.5 Generación y disponibilidad del residuo de café	15
1.7 Estudios previos sobre el uso de residuos de café	15
1.8 Resistividad Eléctrica	17
1.8.1 La resistividad eléctrica en el hormigón	18
1.8.2 Método superficial	19
1.8.3 Fórmulas	21
2. CAPÍTULO II: DESARROLLO	23
2.1 Tipo de investigación.....	23
2.2 Proceso	24
2.2.1 Recolección y tratamiento del residuo de café.....	24
2.2.2 Secado del residuo de café	25
2.2.3 Pruebas para la obtención del biocarbón del residuo de café	28
2.2.4 Preparación de probetas cilíndricas.....	29
2.2.5 Dosificación de mezclas	30
2.2.6 Ensayos de agregados	32
2.2.6.1 Granulometría	32
2.2.6.2 Agregado grueso	33
2.2.6.2 Agregado fino	33

2.2.7 Elaboración de mezclas y probetas cilíndricas	34
2.3 Ensayos realizados	35
2.3.1 Ensayo de Resistividad Eléctrica (AASHTO T 358-21).....	35
3. CAPITULO III: RESULTADOS.....	38
3.1 Curva Granulométrica	38
3.2 Peso Unitario.....	39
3.2 Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 25 días.....	41
3.2.1 Resultados de resistencia a la compresión a los 25 días.....	47
3.2.2 Resistencia a compresión vs Resistividad eléctrica, a los 25 días	49
3.3.3 Resultados de ensayos de resistividad eléctrica, a los 42 días.....	50
3.3.4 Resultados de ensayos a compresión a los 42 días	54
3.3.5 Resistencia a compresión vs Resistividad eléctrica, a los 42 días	57
3.3.6 Comparación de resultados.....	58
Conclusiones	60
Recomendaciones.....	61
REFERENCIAS	62
ANEXOS	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Medida superficial de la resistividad. Fuente: (Perdrix, 2023)	19
Ilustración 2: Ubicación de la sonda de Wenner. Fuente: (AASHTO, 2021)	20
Ilustración 3: Correo enviado a Sweet and Coffee para la obtención del residuo de café. Fuente: Ilustración propia.	24
Ilustración 4: Respuesta de parte de Sweet and Coffee. Fuente: Ilustración propia.	25
Ilustración 5: Distribución del residuo de café en bandejas para secado en horno. Fuente: Ilustración propia.	26
Ilustración 6: Bandejas con residuo de café, listas para su secado en horno. Fuente: Ilustración propia.	26
Ilustración 7: Resultado final de residuo previamente secado en horno. Fuente: Ilustración propia.	27
Ilustración 8: Resultado final del secado del residuo de café. Fuente: Ilustración propia.	27
Ilustración 9: Moldes pequeño y grande sometidos a prueba para la obtención del biocarbón. Fuente: Ilustración propia.	28
Ilustración 10: Tamices especificados para agregado grueso. Fuente: (ASTM, C136 / C136M-14, 2015)	33
Ilustración 11: Tamices especificados para agregado fino. Fuente: (ASTM, C136 / C136M-14, 2015)	33
Ilustración 12: Elaboración de probetas cilíndricas de hormigón. Fuente: Ilustración propia.	34

Ilustración 13: Probetas cilíndricas sumergidas. Fuente: Ilustración propia.	
34	
Ilustración 14: Molde confeccionado para ensayo de resistividad eléctrica.	
Fuente: Ilustración propia.	35
Ilustración 15: Equipos utilizados para la medir la resistividad eléctrica.	
Fuente: Ilustración propia.	36
Ilustración 16: Ensayos de resistencia a compresión en las denominadas probetas cilíndricas. Fuente: Ilustración propia.	37
Ilustración 17: Curva Granulométrica de Agregado Gueso. Fuente: Ilustración propia.	38
Ilustración 18: Curva Granulométrica de Agregado Fino. Fuente: Ilustración propia.	39
Ilustración 19: Peso Unitario de agregado grueso. Fuente: Ilustración propia	
39	
Ilustración 20: Peso Unitario de agregado fino. Fuente: Ilustración propia.	40
Ilustración 21: Resistividad eléctrica a los 25 días, de los distintos tipos de mezcla. Fuente: Ilustración propia.	46
Ilustración 22: Resistencia a la compresión a los 25 días, de distintos tipos de mezcla presentes. Fuente: Ilustración propia.	49
Ilustración 23: Resistencia a compresión vs Resistividad eléctrica, a los 25 días. Fuente: Ilustración propia.	49
Ilustración 24: Resistividad eléctrica a los 42 días, de los distintos tipos de mezcla a los 42 días. Fuente: Ilustración propia.	54
Ilustración 25: Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas ensayadas a los 42 días. Fuente: Ilustración propia.	56
Ilustración 26: Resistencia a compresión vs Resistividad eléctrica, a los 42 días. Fuente: Ilustración propia.	57

Ilustración 27: Edad vs Resistividad eléctrica de las muestras a los 25 y 42 días. Fuente: Ilustración propia.....	58
Ilustración 28: Edad vs Resistencia a compresión de las muestras a los 25 y 42 días. Fuente: Ilustración propia.....	58
Ilustración 29: Resistividad eléctrica vs Resistencia a la compresión de las muestras a los 25 y 42 días. Fuente: Ilustración propia.	59
Ilustración 30: Distribución de residuo de café para su secado en horno. Fuente: Ilustración propia.	65
Ilustración 31: Adición de biocarbón de café a la mezcladora de hormigón. Fuente: elaboración propia.	65
Ilustración 32: Muestras NP desmoldadas. Fuente: Elaboración propia. ...	66
Ilustración 33: Ensayo de Granulometría del agregado grueso. Fuente: Ilustración propia.	66
Ilustración 34: Ensayo de Peso Unitario de agregado grueso. Fuente: Ilustración propia.	66
Ilustración 35: Ensayo de Granulometría del agregado fino. Fuente: Ilustración propia.	66
Ilustración 36: Ensayo de Peso Unitario de agregado fino. Fuente: Ilustración propia.	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos y resultados de prueba para obtener el biocarbón. Fuente: Elaboración propia.....	29
Tabla 2: Dosificación de mezcla de hormigón convencional. Fuente: Elaboración propia.....	30
Tabla 3: Dosificación de mezcla reemplazando el 5% el agregado fino. Fuente: Elaboración propia.....	30
Tabla 3: Dosificación de mezcla reemplazando 5% el agregado fino. Fuente: Elaboración propia.....	31
Tabla 4: Dosificación de mezcla reemplazando el 10% el agregado fino. Fuente: Elaboración propia.....	31
Tabla 5: Dosificación de mezcla reemplazando el 10% el agregado fino. Fuente: Elaboración propia.....	31
Tabla 5: Dosificación de mezcla reemplazando el 10% el agregado fino. Fuente: Elaboración propia.....	32
Tabla 6: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 25 días, medición en posición angular 0°. Fuente: Elaboración propia.....	41
Tabla 7: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 25 días, medición en posición angular 0°. Fuente: Elaboración propia.....	42
Tabla 8: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 25 días, medición en posición angular 180°. Fuente: Elaboración propia.....	43
Tabla 9: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 25 días, medición en posición angular 270°. Fuente: Elaboración propia.....	44
Tabla 10: Resistividad promedio de las mediciones en distintas posiciones angulares. Fuente: Elaboración propia.	45

Tabla 11: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla convencional de hormigón. Fuente: Elaboración propia.	47
Tabla 12: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con remplazo del 5% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.	47
Tabla 13: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con remplazo del 10% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.	48
Tabla 14: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con remplazo del 15% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.	48
Tabla 15: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 42 días, medición en posición angular 0°. Fuente: Elaboración propia.....	50
Tabla 16: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 42 días, medición en posición angular 90°. Fuente: Elaboración propia.....	51
Tabla 17: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 42 días, medición en posición angular 180°. Fuente: Elaboración propia.....	52
Tabla 18: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 42 días, medición en posición angular 270°. Fuente: Elaboración propia.....	53
Tabla 19: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con remplazo del 10% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.	54
Tabla 20: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con remplazo del 5% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.	55
Tabla 21: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con remplazo del 10% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.	55
Tabla 22: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con remplazo del 15% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.	56

RESUMEN

En el presente trabajo de titulación se evaluó el comportamiento eléctrico y mecánico del hormigón con la incorporación de biocarbón de café como sustituto parcial del agregado fino, utilizando dos normativas, una propuesta por AASHTO T 358-21 conocida como método de Wenner para medir la resistividad eléctrica y la otra propuesta por ASTM C39 para medir la resistencia a compresión.

Para la obtención del biocarbón de café se realizaron pruebas a diferentes temperaturas, y con la ayuda de estudios previos se concluyó que la temperatura óptima para la obtención del biocarbón debe ser mayor a los 300 grados centígrados.

Para ver como incide el remplazo parcial del agregado fino por el biocarbón de café se desarrollaron 4 tipos de mezclas, una de hormigón convencional y las restantes con diferentes porcentajes de sustitución (5, 10 y 15%). Las muestras fueron ensayadas en dos fechas diferentes permitiendo observar variaciones en las propiedades del hormigón con el tiempo.

Palabras Claves: Hormigón, bagazo de café, biocarbón, resistividad eléctrica, resistencia a compresión, agregado fino

ASBTRACT

In this thesis project, the electrical and mechanical behavior of concrete incorporating coffee biochar as a partial replacement for fine aggregate was evaluated. Two standards were applied: AASHTO T 358-21, known as the Wenner method, to measure electrical resistivity, and ASTM C39 to determine compressive strength.

To obtain the coffee biochar, tests were conducted at different temperatures, and based on previous studies, it was concluded that the optimal temperature for its production should be above 300 °C.

In order to analyze the effect of the partial replacement of fine aggregate with coffee biochar, four types of mixes were prepared: one conventional concrete mix and three mixes with different replacement levels (5%, 10%, and 15%). The samples were tested at two different ages, which allowed the observation of variations in concrete properties over time.

Keywords: Concrete, coffee grounds, biochar, electrical resistivity, compressive strength, fine aggregate.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día el sector de la construcción atraviesa un escenario en el que resulta indispensable aprovechar mejor los recursos y reducir al máximo el impacto ambiental. Esto se debe a que la actividad constructiva consume enormes volúmenes de agua, cemento, áridos y otros insumos naturales cuya extracción y procesamiento ejercen cada vez mayor presión sobre los ecosistemas. Dentro de estos materiales, el hormigón ocupa un lugar central por su resistencia y versatilidad sin embargo su producción implica un fuerte costo ambiental, debido tanto al uso intensivo de áridos como al elevado consumo de energía.

Esta situación ha generado la búsqueda de alternativas para desarrollar tecnologías constructivas más sustentables, en miras de una economía circular. En ese sentido, el uso de residuos orgánicos de otras industrias se ha planteado como una alternativa con potencial. Una de las principales fuentes de generación de residuos en países agrícolas como Ecuador es la industria cafetera. En su proceso productivo y de consumo se generan miles de toneladas de subproductos como cáscaras, pulpas, borra y bagazo de café, que son botados sin ningún tratamiento, contaminando el agua y el suelo por su alta carga contaminante.

Sin embargo, estos desechos no deben verse únicamente como un problema ambiental sino también como una oportunidad para la ingeniería civil. Diversos estudios recientes muestran que, bajo condiciones controladas es posible incorporar residuos orgánicos como los provenientes del café en la elaboración del hormigón. Lejos de perjudicar su desempeño esta práctica puede incluso mejorar ciertas propiedades como la porosidad la trabajabilidad o la resistencia eléctrica. Al mismo tiempo contribuye a disminuir la presión sobre los recursos naturales al reducir la demanda de agregados vírgenes y a la vez ayuda a minimizar la cantidad de desechos que terminan en el entorno.

En este contexto se desarrolla el siguiente trabajo de titulación, "Evaluación del comportamiento eléctrico y mecánico del hormigón con la

sustitución parcial del agregado fino por residuos de café", como parte de esta perspectiva sostenible e innovadora. Lo que se busca es estudiar cómo cambian las características del hormigón al sustituir parcialmente el árido fino por bagazo de café tratado térmicamente, en términos de comportamiento mecánico (resistencia a compresión) y eléctrico (resistividad).

Para ello, se prepararán diferentes mezclas: una de control y otras enriquecidas con el residuo en diferentes porcentajes; todo ello bajo un diseño experimental estricto. Con este estudio se espera contribuir a la generación de soluciones constructivas sostenibles adaptadas a las condiciones locales, fomentando el uso de materiales alternativos de bajo impacto ambiental y ofreciendo una posible vía para el aprovechamiento de residuos orgánicos de alta disponibilidad. Así, se busca promover prácticas más responsables y conscientes dentro del ámbito de la ingeniería civil ecuatoriana, alineadas con los objetivos de desarrollo sostenible y la innovación tecnológica.

i. ANTECEDENTES

La industria de la construcción es reconocida como una de las actividades humanas con mayor impacto ambiental debido a su alto consumo de recursos naturales, producción intensiva de materiales y generación de residuos sólidos. A nivel global, se estima que este sector consume aproximadamente el 40 % de la energía, el 16 % del agua potable, el 25 % de la madera virgen y el 40 % de los materiales extraídos como arena y grava contribuyendo así a la degeneración de lo que llamamos medio ambiente (Roodman, Lenssen, & Peterson, 1995)

La arena es omnipresente en la construcción y la producción industrial porque es barata, versátil y fácil de obtener. Sin embargo, todas las señales indican que nos estamos acercando a un futuro en el que el acceso a este recurso será una barrera crítica para la sostenibilidad, y que los costos totales de la extracción descontrolada de arena llegarán a ser insostenibles. Las tasas de extracción están superando las tasas naturales de reposición de arena. No es posible producir arena suficiente en nuestros entornos terrestres, fluviales y marinos para satisfacer la creciente demanda de un mundo que se prepara para tener 10 mil millones de habitantes, sin políticas efectivas, planificación, regulación, gestión y gobernanza funcional. Un paradigma de recursos infinitos de arena domina el pensamiento actual y este debe ser cuestionado mediante un diálogo constructivo y la búsqueda de soluciones (Programme, 2019).

Debido al crecimiento de la población, la urbanización y el desarrollo económico, se espera que la demanda mundial de áridos para hormigón aumente a 60 000 millones de toneladas al año para 2030, lo que genera inquietudes sobre el posible agotamiento de las materias primas. (Bertoldo, 2024).

El aprovechamiento de residuos agrícolas como mazorcas de maíz, cáscaras de arroz, paja o cenizas de madera ha despertado un creciente interés como alternativa parcial en la fabricación de hormigón. Algunas

investigaciones señalan por ejemplo que incorporar un 10 % de ceniza de paja de trigo puede incrementar la resistencia del material. De igual forma Gursel y colaboradores (2022) evidenciaron que reemplazar parte del cemento Portland por cenizas de cáscara de arroz y cenizas volantes reduce de manera significativa el potencial de calentamiento global. Tenemos que esta ventaja ambiental viene acompañada de una ligera disminución en la resistencia mecánica del hormigón (Bertoldo, 2024).

En 2010 Ecuador exportó 24 137 190.35 toneladas métricas de café, de las cuales 15 562 tm fueron de café soluble o extractos de café, entre enero y noviembre. De acuerdo a la información, solo el 9.50% del peso del fruto seco se aprovecha en la industrialización del café y el 90.50% se convierte en desecho. De estos residuos, el 10% son restos de café tostado y molido. Por lo cual en el Ecuador se produjeron toneladas métricas con un valor aproximado de 16381,05 de residuos de café tostado y molido en el año 2010 (Acosta, 2011).

Ante estos problemas ambientales y la creciente cantidad de residuos orgánicos que genera la industria cafetera en Ecuador, es necesario encontrar alternativas innovadoras para desarrollar una construcción sostenible. En ese sentido, en el presente trabajo se busca analizar el comportamiento eléctrico y mecánico del hormigón al sustituir parcialmente el agregado fino por restos de café tostado y molido. Esta alternativa pretende disminuir la explotación descontrolada de áridos naturales y aprovechar un residuo abundante que hoy en día no se aprovecha. De este modo, se propone una solución tecnológica enmarcada en la economía circular que podría ayudar a reducir los impactos ambientales del sector construcción y de la gestión de residuos orgánicos en el país.

ii. OBJETIVO GENERAL

Comparar la resistividad eléctrica y la resistencia a la compresión de hormigones fabricados con la incorporación de residuos de café frente a los hormigones convencionales.

iii. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proponer y elaborar mezclas de hormigón que incorporen diferentes porcentajes de residuos de café como sustituto del agregado fino.
- Ejecutar ensayos de resistividad eléctrica y de resistencia a la compresión siguiendo los lineamientos establecidos en las normativas técnicas.
- Examinar los resultados obtenidos con el fin de identificar cómo influye la incorporación del residuo en las propiedades del hormigón.

iv. ALCANCE

El alcance de este estudio se centra en ensayos de laboratorio para estudiar la influencia de los residuos de café en mezclas de hormigón. Se elaborarán cuatro mezclas: una mezcla convencional de hormigón y tres mezclas con adición de residuos de café como reemplazo parcial del agregado fino, incrementando el porcentaje de café en cada una. Las probetas serán curadas durante dos tiempos diferentes con el fin de evaluar la evolución de sus propiedades. Las propiedades que se estudiarán serán la resistividad eléctrica y la resistencia a la compresión. El estudio no contempla el análisis de otras propiedades mecánicas ni aspectos de durabilidad frente a agentes agresivos, ni condiciones de exposición ambiental extremas.

1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Hormigón

La Real Academia Española (RAE) define “hormigón”, en una primera acepción, como “resultado de la mezcla de grava, arena, agua y cal o cemento y que al fraguar adquiere más resistencia”. Es un material con elevadas resistencias mecánicas a compresión, aunque es sabido que sus resistencias a tracción son bajas, pero se pueden aumentar reforzándolo con acero y dando lugar al hormigón armado y pretensado. (Puertas Maroto, 2024)

1.1.1 Composición del hormigón

El hormigón es una mezcla homogénea de los siguientes componentes:

- **Cemento:** Es el ligante hidráulico del concreto. Cuando se mezcla con agua, se crea una pasta que envuelve los áridos y se endurece con el tiempo. El cemento más utilizado en la construcción es el Portland, el cual está hecho de silicatos y aluminatos de calcio (Mehta & Monteiro, 2014).
- **Agua:** Es el elemento que inicia la hidratación del cemento. La relación agua/cemento (a/c) afecta la resistencia, durabilidad y trabajabilidad de la mezcla. Para que el concreto funcione adecuadamente, el agua debe estar limpia y libre de impurezas (Neville, 2013).
- **Aditivos:** Constituyen del 70 al 80% del volumen total del concreto. Se clasifican en finos (arena) y gruesos (grava o piedra triturada) y son los que le dan masa, estabilidad dimensional y resistencia mecánica a la mezcla (Domínguez et al., 2019).
- **Aditivos y suplementos:** Son materiales que se agregan en pequeñas cantidades para alterar algunas de las características del concreto. Pueden mejorar la trabajabilidad, acelerar o retardar el fraguado, disminuir la permeabilidad o darle propiedades especiales como autocompatibilidad o resistencia química. Las adiciones minerales (cenizas volantes o humo de sílice, por ejemplo) también pueden

sustituir parcialmente al cemento, mejorando el comportamiento y disminuyendo el impacto ambiental (Mehta & Monteiro, 2014).

1.2 Función de los componentes

1.2.1 Cemento Portland

El cemento Portland es el más utilizado en la construcción. En contacto con el agua se hidrata y se transforma en un material rígido. Se tipifica en varios tipos, de acuerdo a su composición y uso (ASTM C150, 2023); el más común es el tipo GU (de uso general), empleado en obras de edificación e infraestructura.

1.2.2 Agregados

Los agregados proporcionan volumen, resistencia a la abrasión, reducen la contracción del concreto y economizan cemento. Su forma, tamaño, textura y granulometría afectan la trabajabilidad y la resistencia final del concreto (Domínguez et al., 2019).

1.2.3 Agua

Además de activar la hidratación, el agua contribuye a la trabajabilidad del concreto fresco. Un exceso puede generar porosidad y disminuir la resistencia; una cantidad insuficiente, por otro lado, puede afectar la manejabilidad y la hidratación completa (Neville, 2013).

1.3 Propiedades del hormigón

El concreto tiene dos estados bien definidos: fresco y endurecido.

- El concreto fresco se refiere básicamente al estado en que la mezcla tiene manejabilidad; es decir, al grado de facilidad para que pueda ser manejada, y transportada; colocándola y consolidándola por medios adecuados sin demasiados esfuerzos, y conservando la homogeneidad (segregue o exude)

- El concreto endurecido se refiere a una roca artificial elaborada por el hombre cuyas propiedades de resistencia, durabilidad, densidad, apariencia y demás características, son aprovechadas en la construcción.

1.3.1 Resistencia

La resistencia es la capacidad del hormigón para soportar esfuerzos mecánicos de diferentes magnitudes. Su mayor fortaleza es frente a esfuerzos de compresión, característica que se considera como el principal parámetro para evaluar su calidad. Sin embargo, su resistencia a tracción y corte es limitada, por lo que se recurre al uso de acero como refuerzo, dando lugar al hormigón armado, ampliamente empleado en la ingeniería estructural por su buen desempeño ante distintos tipos de solicitaciones (Matallana Rodriguez, 2019)

1.4 Explotación de agregados en el sector de la construcción

La industria del hormigón es responsable del 5% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) y consume más materias primas que cualquier otra industria. Dada la actual emergencia climática y la limitación de los recursos naturales, reducir el impacto ambiental del hormigón es un asunto urgente (Bertoldo N. , 2023).

La arena y la grava son recursos fundamentales en el sector de la construcción, especialmente para la elaboración de hormigón utilizado en edificaciones, carreteras y otras infraestructuras. Además, estos áridos se emplean en actividades como la recuperación de tierras, el desarrollo costero y la formación de terraplenes. Su extracción se ha agravado a gran nivel al punto de representar el mayor volumen de materiales sólidos extraídos en el mundo. Después del agua, se estima que constituyen el 70–80 % de los aproximadamente 50.000 millones de toneladas de materiales extraídos anualmente. Dado que estos recursos se forman a partir de procesos geológicos que requieren miles de años, su explotación actual supera con creces la capacidad natural de regeneración, lo que plantea serios desafíos para la sostenibilidad ambiental (PNUMA, 2014)

En el Ecuador la extracción de arena se ha venido realizando desde algunos años atrás ya que es considerado un recurso que genera economía y fuente de trabajo para muchas personas sin tenerse en cuenta que al realizarlo de manera desmedida se está afectando directamente a la comunidad donde se lo hace y al medio ambiente.

1.5 Adiciones de residuos orgánicos en el hormigón

1.5.1 Residuo orgánico

Los residuos orgánicos son aquellos que se descomponen naturalmente. Presentan la característica de poder degradarse o transformarse rápidamente en otro tipo de materia orgánica, lo cual los convierte en una fuente potencial de reutilización en diversas industrias, incluida la construcción (UNA, 2022)

1.5.2 Antecedentes del uso de residuos orgánicos

Estudios anteriores han verificado que la industria del hormigón puede ampliar la utilización de subproductos industriales y materiales de desecho (plásticos, vidrios, cenizas, caucho, desechos orgánicos, etc.). Esta línea de investigación no solo contribuye a reducir la extracción de recursos naturales para la producción de hormigón, sino que también abre la posibilidad de mejorar algunas de sus propiedades, como la durabilidad y la resistencia. Al integrar materiales alternativos, se promueve un uso más responsable y eficiente de los recursos en la construcción, lo que impulsa el desarrollo de infraestructuras más sólidas y de mayor vida útil. Con ello, el sector avanza hacia un modelo constructivo más sostenible y alineado con los principios de la economía circular (Rajeev Roychand, 2023).

Según Bertoldo et al. (2023) en mezclas de hormigón con ceniza de bagazo, ceniza de aserrín y conchas de ostra, la resistencia mínima se alcanzó con un reemplazo óptimo del 20%, pero al aumentar dicho porcentaje, la resistencia disminuyó. Sin embargo, la resistencia máxima a compresión se logró con 5% de cáscara de maní y 7.5% de caña gigante (tanto ceniza como fibra). El corcho y la ceniza de cascarilla de arroz también mostraron buena

resistencia en morteros y hormigón autocompactante como reemplazo de agregado fino.

Así mismo, Bertoldo et al. (2023) afirma que el hormigón con ceniza de aserrín alcanzó la máxima resistencia a tracción hasta con un 15% de reemplazo, en comparación con la ceniza de bagazo y conchas de ostra. El análisis de regresión del hormigón con bagazo arrojó una buena predicción de la resistencia a tracción a partir de la resistencia a compresión. El hormigón con ceniza de caña gigante mostró su máxima resistencia a flexión con un 7.5% de reemplazo.

1.6 El café

El café es una de las bebidas más consumidas en el mundo y su preparación parte de los frutos conocidos como “cerezas de café”. Estos granos, antes de convertirse en la infusión que llega a la taza, atraviesan un proceso de tostado y posterior molienda.

1.6.1 El café y sus residuos

En la agroindustria del café se produce una gran cantidad de residuos o subproductos, que pueden representar entre el 30 % y el 50 % del total procesado. En los países de mayor producción esta cifra se traduce en volúmenes significativos de desechos que, al contener compuestos como cafeína, alcaloides, taninos y polifenoles, generan un impacto considerable en la contaminación y en los problemas ambientales (R. H. Setyobudi et al., 2019).

En cuanto a los procesos, se distinguen dos métodos principales.

- **Método seco:** en la fase que abarca desde el cultivo hasta el secado se generan residuos como la cáscara del café que incluye la piel externa del grano, la pulpa y el pergamino además de los granos que no cumplen con los estándares de tamaño o maduración requeridos.
- **Método húmedo:** al no incluir la etapa de secado, los desechos corresponden principalmente a la pulpa del café con piel externa y pulpa del grano, granos defectuosos, agua de lavado, mucílago y pergamino (Nutti, 2017).

- En la etapa de tostado que corresponde a la fase final del procesamiento del café, se generan algunos de los principales residuos de esta agroindustria es la borra de café y la piel plateada (S. I. Mussatto, 2011). Estos subproductos al igual que los mencionados en etapas previas resultan altamente contaminantes por su elevado contenido de cafeína, alcaloides, taninos y polifenoles, compuestos que tienen un fuerte impacto negativo sobre el medio ambiente (R. H. Setyobudi et al., 2019).
- En la etapa del consumo se le conoce como bagazo de café al residuo sólido que queda después de extraer el café soluble o de preparar la bebida en métodos como la prensa francesa o la cafetera de filtro.

1.6.2 Impacto del bagazo de café

Si bien el café es una de las bebidas más consumidas en el mundo y ha generado un impacto industrial y económico considerable por los altos volúmenes que se producen cada año, su cadena de producción trae consigo serios problemas ambientales. Uno de los más relevantes es el manejo deficiente de aguas residuales y la acumulación de desechos como la cáscara, la pulpa, la piel y el bagazo (Nitthikan, 2018).

De todos estos subproductos, el bagazo destaca por su peso ambiental. Se calcula que equivale aproximadamente al 45 % de los residuos generados durante la preparación de bebidas a base de café, lo que lo convierte en un factor significativo de contaminación que afecta sobre todo a las comunidades cercanas (Chacón-Figueroa, 2022). Aunque solo representa alrededor del 10 % del peso seco del grano, su generación masiva en industrias, cafeterías y hogares lo convierte en una amenaza ambiental de gran magnitud (Torres-Valenzuela, 2020).

1.6.3 El bagazo de café

El bagazo de café es un residuo orgánico que proviene del grano molido, tostado y procesado para la obtención de la bebida. Cuando no recibe un tratamiento oportuno, este desecho comienza a liberar olores desagradables debido a la descomposición de sus compuestos, los cuales generan sustancias aromáticas indeseadas y lo convierten en un medio propicio para la proliferación de microorganismos y plagas (Hidalgo Segovia, 2018).

Conocido también como “borra de café”, este subproducto representa cerca del 30 % de la producción mundial destinada al café soluble (Campos-Vega, 2015). Se caracteriza por tener un tamaño de partícula fino y un elevado contenido de humedad, que puede oscilar entre el 80 % y el 85 %.

En la actualidad, las grandes cantidades de bagazo generadas requieren de un manejo adecuado para evitar su impacto negativo sobre suelos y aguas de riego, pues de lo contrario se convierten en un riesgo ambiental y social. Una gestión responsable de este residuo no solo reduce la contaminación, sino que también aporta beneficios económicos. Hasta el momento, los mayores avances se han orientado hacia su aprovechamiento en sectores distintos al alimentario, como la producción de energía, la adsorción de contaminantes, la fabricación de productos industriales o la obtención de etanol (Sagredo Acitores, 2020).

1.6.4 Composición química del bagazo de café

Al igual que el grano de café tenemos el bagazo que contiene una alta concentración de compuestos con actividad antioxidante entre los que se incluyen el ácido clorogénico, cafeico, elágico y la trigonelina entre otros (Puertas-I. et al., 2013). Estos compuestos bioactivos han demostrado un amplio potencial de aplicación pueden incorporarse en la elaboración de bebidas envasadas, productos de consumo masivo como lácteos y jugos, panadería donde actúan como antioxidantes y colorantes además de tener usos en la industria farmacéutica, cosmética y agrícola. En el ámbito de la cosmética destacan por su efecto protector en formulaciones antienvjecimiento y antiarrugas (Bondam-A. F. et al., 2022).

El interés por aprovechar los subproductos del café ha crecido tanto en la investigación científica como en la industria, impulsado por el aumento constante en la producción mundial de este cultivo y, en consecuencia, por el incremento en los residuos sólidos que genera. En la actualidad se busca cada vez más identificar su funcionalidad biológica y explorar aplicaciones tecnológicas que permitan transformar estos desechos en recursos de valor. En particular la industria alimentaria y farmacéutica ha mostrado gran interés en este campo, apoyada por el desarrollo de nuevas tecnologías que facilitan la extracción y recuperación eficiente de dichos compuestos (De-Melo. M. et al., 2017).

1.6.5 Generación y disponibilidad del residuo de café

En Ecuador el café se consume de distintas maneras. Una de las más comunes es el café soluble, que se disuelve por completo en agua caliente. También está el café pasado, preparado al verter agua hirviendo sobre un filtro con café tostado y molido. A esto se suma el consumo en cafeterías reconocidas como Juan Valdez o Sweet & Coffee. Solo una de estas cadenas puede generar alrededor de 520 kg de residuos de café cada semana los cuales terminan en bolsas de basura que luego son retiradas por el servicio municipal (Acosta, 2011).

1.7 Estudios previos sobre el uso de residuos de café en el hormigón

Los residuos de café molido (SCG) han sido investigados por su posible aplicación en la construcción especialmente como sustituto parcial del agregado fino en mezclas de hormigón. No obstante, varios estudios coinciden en que, en su forma natural, los granos de café usados (SCG) no resultan apropiados como sustitutos en materiales de construcción pues afectan de manera negativa tanto la resistencia mecánica como la trabajabilidad.

Mohamed y Djamila (2018) por ejemplo evaluaron su incorporación en proporciones del 5, 10, 15 y 20 % como reemplazo del agregado fino en hormigón elaborado con arena de dunas. Sus resultados fueron claros: con un 20 % de sustitución, la resistencia a compresión se redujo en un 44 % y la

resistencia a flexión en un 68 %, mientras que la trabajabilidad disminuyó cerca del 77 %. Eliche-Quesada et al. (2011) y Sena da Fonseca et al. (2014) observaron efectos similares en materiales cerámicos, incluyendo mayor absorción de agua, menor resistencia mecánica y reducida conductividad térmica.

A pesar de estos primeros resultados negativos en la actualidad se sabe que alterando los SCG por ejemplo mediante tratamientos de pirólisis o activación física se mejoran sus prestaciones en mezclas cementicias. En un estudio reciente, los granos de café usados (SCG) fueron sometidos a pirólisis a distintas temperaturas con el fin de obtener biocarbón con propiedades fisicoquímicas y mecánicas diferenciadas. Este proceso térmico descompone la materia orgánica y da lugar a un material rico en carbono y altamente poroso. Se observó que a medida que aumenta la temperatura de pirólisis, la porosidad del biocarbón también se incrementa. Sin embargo, se comprobó que los SCG sin tratamiento liberan compuestos orgánicos que interfieren con la hidratación del cemento y reducen de manera significativa la resistencia a la compresión.

Particularmente la pirólisis a 350 °C mostró resultados prometedores: al reemplazar hasta un 15 % del árido fino por este biocarbón (350CBC), la resistencia a la compresión aumentó en un 29,3 % respecto al hormigón de referencia. Este efecto positivo se explicó por tres factores principales: (i) la adecuada adherencia entre el 350CBC y la matriz cementicia, (ii) la penetración de la pasta de cemento en los poros del biocarbón, lo que refuerza su estructura y (iii) el curado interno favorecido por el agua retenida en su microestructura porosa. En contraste, el biocarbón tratado a 500 °C (500CBC) presentó micro fisuras internas derivadas de su mayor fragilidad lo que redujo la resistencia mecánica, aunque mantuvo una buena adherencia con la matriz de cemento.

De manera complementaria Na et al. (2021) evaluaron SCG activados físicamente para transformarlos en carbón activado granulado. En este caso la adición de hasta un 1,5 % en peso de cemento incrementó progresivamente la resistencia a la compresión de los morteros. Sin embargo, cuando la proporción superó el 5 %, los resultados se invirtieron observándose una disminución considerable en la resistencia.

En línea con estas investigaciones, la aplicación de biocarbón derivado de residuos orgánicos en el hormigón ha ganado notable interés por su capacidad de secuestrar carbono y mejorar propiedades mecánicas. (Gupta, 2017)

En vista de estos resultados, se recomienda continuar las investigaciones con ensayos mecánicos y de durabilidad a largo plazo sobre biocarbón como sustituto de agregado fino en hormigón, especialmente a temperaturas de pirólisis óptimas como 350 °C.

1.8 Resistividad Eléctrica

De acuerdo con la Ley de Ohm, la resistividad es una propiedad volumétrica que expresa la resistencia eléctrica propia de un material. En términos prácticos, describe la oposición que presenta al paso de la corriente eléctrica por unidad de volumen, considerando una muestra ideal de 1 m² de sección transversal y 1 m de espesor. Esta magnitud se relaciona directamente con la conductividad eléctrica, de la cual es su inversa (Perdrix, 2023).

1.8.1 La resistividad eléctrica en el hormigón

La resistividad eléctrica del hormigón, según lo señalado por Andrade et al. (2000) y Andrade y D'Andrea (2008), permite evaluar distintos aspectos del material entre ellos:

- ❖ el proceso de endurecimiento en estado fresco
- ❖ el grado de curado
- ❖ la resistencia frente a la penetración de cloruros y a la carbonatación
- ❖ la velocidad de corrosión de la armadura

En este sentido, la resistividad eléctrica (ρ) ofrece información valiosa tanto para fabricantes como para usuarios, ya que refleja la microestructura del hormigón, su nivel de porosidad y su contenido de agua. Gracias a ello, es posible tener un control integral de las distintas fases por las que atraviesa el material. Además, al tratarse de un ensayo no destructivo que puede repetirse varias veces sin alterar la muestra, resulta especialmente útil para el autocontrol en la producción y para los procesos de control de calidad.

En cuanto a su interpretación, cuanto mayor es la resistividad, menor es la porosidad del hormigón y mayor su resistencia mecánica, dado que existe un mayor volumen de fase sólida. Por el contrario, el valor mínimo de resistividad se alcanza cuando el hormigón está completamente saturado de agua, mientras que al secarse la resistividad aumenta de manera exponencial. Este comportamiento se explica porque la mayoría de los áridos no conducen electricidad; en consecuencia, la resistividad del hormigón depende principalmente de la conducción electrolítica a través de los poros de la pasta de cemento (Perdrix, 2023).

1.8.2 Método superficial

En el método superficial se colocan los cuatro electrodos en la superficie de la probeta como indica la Ilustración 1: los dos exteriores aplican la corriente y los dos interiores miden el cambio de potencial producido entre antes de aplicar la corriente y después. La distancia entre electrodos más idónea es la de 3,5 cm como máximo para probeta cilíndrica de 15 x 30 cm o cúbica de 15 cm de lado con el fin de no acercarse al borde de la probeta.

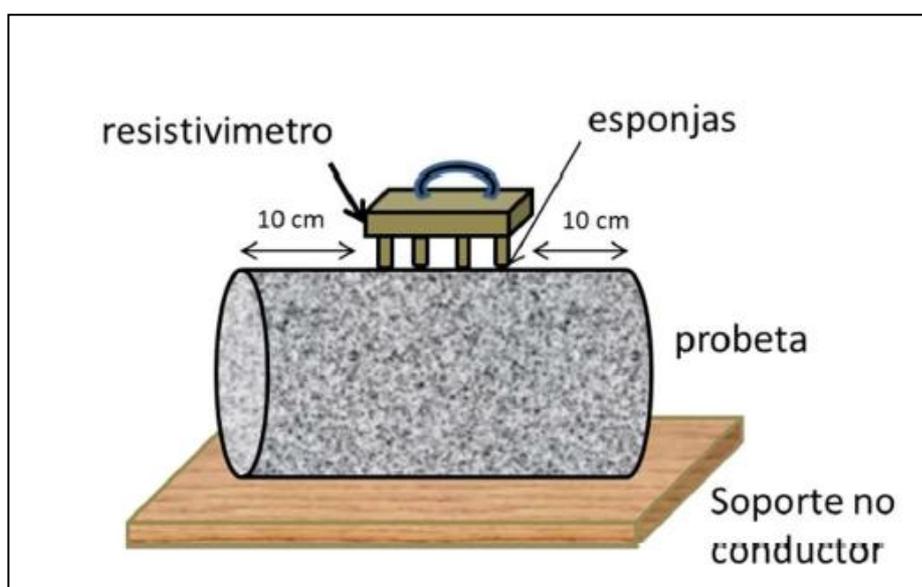


Ilustración 1: Medida superficial de la resistividad. Fuente: (Perdrix, 2023)

Los cuatro electrodos se ubicarán alineados sobre una generatriz de la probeta, centrados con respecto a sus caras laterales (Ilustración 1). Es importante que la separación entre los electrodos sea menor que la distancia existente entre estos y el borde de la probeta.

Pasos de método superficial:

1. Tras desmoldar, marcar cuatro puntos indelebles en la cara superior terminada, a 0° , 90° , 180° y 270° de la circunferencia. Asignar aleatoriamente un punto como 0° (Ilustración 2), y los siguientes en sentido antihorario. Extender estas marcas a los lados longitudinales del espécimen, y marcar también el centro longitudinal como referencia visual para el ensayo. (AASHTO, 2021)

2. Se coloca la sonda Wenner en el costado de la muestra, asegurando que el centro longitudinal esté equidistante entre las dos puntas internas.
3. Se registra la medición una vez que se estabilice.
4. Girar la muestra a 90° , 180° y 270° y repetir los pasos anteriores.

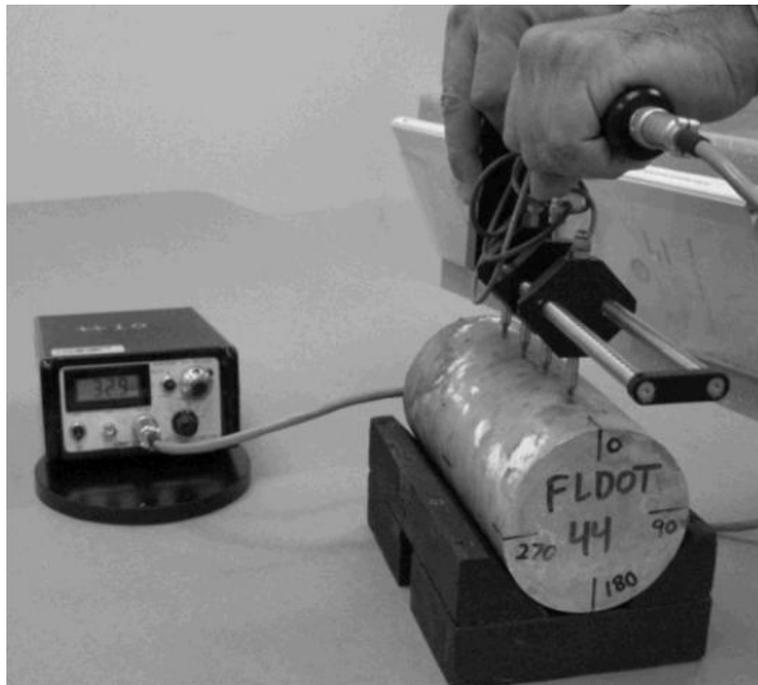


Ilustración 2: Ubicación de la sonda de Wenner. Fuente: (AASHTO, 2021)

1.8.3 Fórmulas

Resistencia eléctrica (Re)

Se define como la relación entre la diferencia de potencial (V) aplicada entre dos electrodos y la intensidad de corriente (I) que atraviesa el interior de la probeta o testigo.

$$Re = \frac{V}{I}$$

Donde:

- V: es la diferencia de potencial entre los electrodos en V.
- I: es la Intensidad eléctrica que circula por el circuito en A.

Resistividad eléctrica (ρ)

Corresponde a la resistencia eléctrica de una unidad de volumen del material. Su valor se determina a partir de la relación entre la diferencia de potencial aplicada y la intensidad de corriente medida, considerando una geometría previamente normalizada.

$$Re = \frac{V}{I} = \rho * \frac{L}{A}$$

Donde:

- Re es la resistencia eléctrica del hormigón en Ω .
- ρ es resistividad en ohm-cm u ohm-m.
- L es la distancia entre los electrodos de potencial
- A el área transversal de paso de la corriente.

Factores geométricos (Fg)

El factor geométrico se define como la relación entre la resistividad y la resistencia eléctrica del material. En el caso del método superficial, el factor geométrico (Fgs) aplicado a un medio infinito se expresa de la siguiente manera:

$$Fgs = 2 * \pi * a$$

Donde:

- a: es la distancia entre los electrodos, siempre que estén todos igualmente espaciados.

Resistividad superficial-medio infinito (ps, inf)

Se formula como:

$$\rho_{s, inf} = Re * Fgs = Re * 2 * \pi * a$$

2. CAPÍTULO II: DESARROLLO

En el presente capítulo se describe el tipo de investigación realizada y la metodología aplicada para la elaboración y evaluación de cuatro tipos de mezclas de hormigón: una mezcla convencional sin sustitución y tres mezclas con diferentes porcentajes de reemplazo del agregado fino por bagazo de café. Se detallan los procedimientos para la preparación de los materiales, diseño de las mezclas, la fabricación de especímenes, los ensayos realizados y el análisis de resultados, con el fin de determinar el comportamiento mecánico y físico de las mezclas modificadas en comparación con la mezcla convencional.

2.1 Tipo de investigación

La presente investigación se enmarca en el enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recolección y análisis de los datos numéricos que se han recopilado a través de ensayos de laboratorio, específicamente la resistencia a compresión del hormigón y su resistividad eléctrica, lo que permite establecer relaciones y comparaciones entre las diferentes mezclas elaboradas.

Asimismo, se trata de una investigación experimental aplicada, debido a que se busca comprobar el comportamiento del hormigón al reemplazar parcialmente el agregado fino tradicional (arena) por la ceniza del bagazo de café.

El carácter experimental de esta investigación se sustenta en la manipulación intencionada de una variable independiente el porcentaje de bagazo de café incorporado para evaluar su influencia sobre una variable dependiente: la resistencia a compresión del hormigón. Los ensayos se llevan a cabo en condiciones controladas y de acuerdo con normas técnicas establecidas, lo que garantiza la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos.

2.2 Proceso

2.2.1 Recolección y tratamiento del residuo de café

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación, el primer paso fundamental fue la recolección del residuo de café, comúnmente conocido como bagazo de café, el cual se empleó como sustituto parcial del agregado fino en tres de las cuatro mezclas de hormigón elaboradas.

Dado que se requería una cantidad considerable de residuo para realizar todos los ensayos planteados, se procedió a identificar las principales cadenas de cafeterías en la ciudad de Guayaquil, seleccionando aquellas con un alto volumen de producción diaria.

Entre las opciones evaluadas, se logró establecer contacto con la cadena Sweet & Coffee, la cual accedió a colaborar con la entrega del residuo. En la Ilustración 1 se muestra el mensaje enviado como parte de esta gestión. Y en la Ilustración 2 se muestra la respuesta de parte de ellos.

Estimados representantes de Sweet & Coffee,

Reciban un cordial saludo. Mi nombre es Luis Gonzalo Ponce Vélez, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Actualmente me encuentro desarrollando mi trabajo de titulación de grado, el cual consiste en una investigación sobre la incorporación de residuos de café como sustituto parcial del agregado fino en mezclas de hormigón.

Con el objetivo de llevar a cabo los ensayos experimentales y obtener resultados representativos, me permito solicitar, de manera formal, la posibilidad de acceder al residuo de café generado diariamente en sus establecimientos, específicamente el subproducto resultante tras la preparación de bebidas. Este material será utilizado exclusivamente con fines académicos y de investigación científica.

Estoy en capacidad de coordinar la recolección del residuo de manera periódica y en los horarios y puntos que ustedes consideren más convenientes, procurando no interferir con sus operaciones. Considero que su apoyo a este tipo de iniciativas representa una valiosa contribución a la sostenibilidad y a la innovación en el sector de la construcción.

Agradezco de antemano su atención y quedo atento(a) a su respuesta.

Atentamente,

Luis Gonzalo Ponce Vélez
Estudiante de Ingeniería Civil
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
Correo electrónico: luis.ponce02@cu.ucsg.edu.ec

Ilustración 3: Correo enviado a Sweet and Coffee para la obtención del residuo de café. Fuente: Ilustración propia.

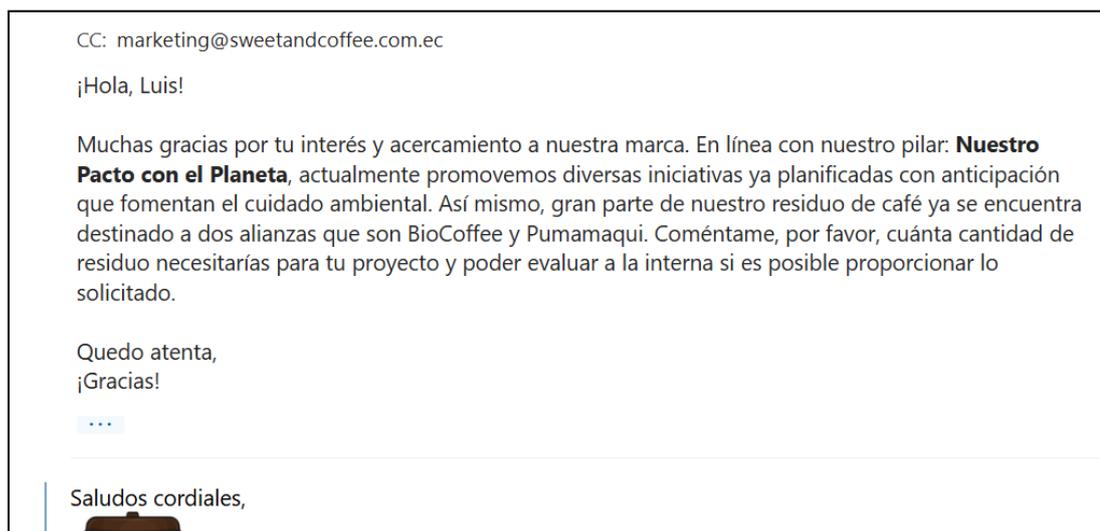


Ilustración 4: Respuesta de parte de Sweet and Coffee. Fuente: Ilustración propia.

La cantidad acordada de residuo de café fue de 115 kilogramos, los cuales se dividieron en dos entregas. Este material fue retirado en las oficinas de Sweet & Coffee, ubicadas en la Av. Carlos Julio Arosemena, kilómetro 1, entre el MAGAP y el Colegio Juan Montalvo.

2.2.2 Secado del residuo de café

Una vez obtenido el residuo de café, se procedió a su secado en el horno del laboratorio de suelos y los hornos del laboratorio de aguas de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG). Este proceso consistió en someter el material durante 24 h a una temperatura constante de 110 °C; el secado fue una etapa esencial en la preparación del residuo, ya que eliminó por completo la humedad que se encuentra en el bagazo de café.

La eliminación de la humedad se hizo necesaria por varias razones. En primer lugar, impidió que crecieran microorganismos (hongos o bacterias) que pudieran descomponer el material en el tiempo que estuviera almacenado. En segundo lugar, un residuo seco permite una manipulación más limpia y eficiente en las etapas posteriores del proceso. También el secado es necesario antes de la calcinación, ya que el agua interferiría en una buena obtención de ceniza e incluso podría provocar condensación o rajaduras al someterse a altas temperaturas. Finalmente, al disminuir el contenido de humedad, se asegura mayor exactitud en la dosificación del material para las

mezclas de concreto. En las Ilustraciones 3, 4 y 5 se puede observar el desarrollo del proceso de secado.



Ilustración 5: Distribución del residuo de café en bandejas para secado en horno.

Fuente: Ilustración propia.



Ilustración 6: Bandejas con residuo de café, listas para su secado en horno.

Fuente: Ilustración propia.



Ilustración 7: Resultado final de residuo previamente secado en horno.

Fuente: Ilustración propia.

Al inicio se recolectaron cerca de 115 kilogramos de residuo de café. Después de someterlo a un proceso de secado durante 24 horas a 110 °C, con el objetivo de eliminar la humedad y evitar la aparición de moho, el peso se redujo a aproximadamente 65 kilogramos. Esta pérdida considerable responde al alto contenido de agua presente en el bagazo fresco, la cual se evaporó durante el tratamiento térmico. En la Ilustración 6 se observan los cuatro sacos de café seco obtenidos, cada uno con un peso cercano a los 16 kilogramos.



Ilustración 8: Resultado final del secado del residuo de café. Fuente: Ilustración propia.

2.2.3 Pruebas para la obtención del biocarbón del residuo de café

Antes de proceder a la obtención del biocarbón de café, se realizó una prueba preliminar en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Esta prueba tuvo como objetivo determinar el porcentaje de pérdida de masa que se generaría al someter el residuo de café seco a un proceso térmico. Para ello se utilizó un horno en el cual se colocaron muestras del residuo, expuestas a una temperatura constante de 500 °C durante dos intervalos de tiempo distintos: 1 hora y 1 hora con 30 minutos. Esta etapa fue fundamental para estimar la eficiencia del proceso de carbonización y prever la cantidad de biocarbón que podría obtenerse a partir del total del residuo recolectado.

En la ilustración 7 se aprecia los moldes sometidos a esta prueba, el molde pequeño fue sometido a 1 hora mientras que el grande a 1 hora con 30 minutos.



Ilustración 9: Moldes pequeño y grande sometidos a prueba para la obtención del biocarbón.

Fuente: Ilustración propia.

Los datos y resultados de esta prueba se presentan en la Tabla 1 a continuación:

MOLDE	CAFÉ SECO INICIAL (g)	Residuo (g)	Pérdida (g)	% de pérdida
Pequeño	15,06	2,02	13,04	86,59%
Grande	46,5	5,13	41,37	88,97%

Tabla 1: Datos y resultados de prueba para obtener el biocarbón.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la prueba preliminar mostraron que, al someter el residuo de café seco a 500 °C durante una hora, se produjo una pérdida de masa muy elevada, que osciló entre el 86 % y el 89 % del material original. Esta reducción tan marcada puso en evidencia que temperaturas demasiado altas provocan una descomposición excesiva del residuo, lo que disminuye de forma notable el rendimiento del material carbonizado.

Es importante señalar que, tal como se expuso en el marco teórico, investigaciones recientes han identificado que la temperatura óptima para obtener biocarbón a partir de residuos de café se sitúa en torno a los 350 °C. A este nivel, se logra un balance adecuado entre la conservación de la estructura porosa y una pérdida de masa moderada, lo que se traduce en un mejor desempeño mecánico cuando el biocarbón se incorpora al hormigón.

Con base en estas evidencias, se optó por realizar el proceso de obtención de biocarbón de café a una temperatura de 350 °C.

2.2.4 Preparación de probetas cilíndricas

Para las probetas cilíndricas se siguió la norma ASTM: C192, que nos indica que, para las pruebas de aceptación de la resistencia especificada a la compresión, se deben usar cilindros de 6 x 12 pulg (150 x 300 mm) o 4 x 8 pulg (100 x 200 mm).

2.2.5 Dosificación de mezclas

Con el biocarbón obtenido, se procedió a realizar la dosificación para los cuatro tipos de mezclas (Tabla 2) para realizar 24 probetas cilíndricas, 6 para cada tipo de mezcla. En el presente trabajo de titulación se realizó una mezcla convencional de hormigón como base, y posteriormente se reemplazó el 5 %, 10 % y 15 % del agregado fino por biocarbón de café.

Las codificaciones de las mezclas son las siguientes:

- **NP** = Mezcla convencional de hormigón
- **C5** = Mezcla con reemplazo del 5% del agregado fino con biocarbón de café
- **C10** = Mezcla con reemplazo del 10% del agregado fino con biocarbón de café
- **C15** = Mezcla con reemplazo del 15% del agregado fino con biocarbón de café

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL		 Facultad de Ingeniería
<i>DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DE HORMIGÓN CONVENCIONAL</i>		
FECHA:	3-jul-25	
ENSAYADO POR:	LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA	
CÓDIGO DE MEZCLA:	NP	
NÚMERO CILINDROS:	6	
Materiales	Unidad	Cantidad
Agua	Litros	3
Cemento	Kilogramos	6
Agregado grueso	Kilogramos	15
Agregado fino	Kilogramos	9
Biocarbón de Café	Gramos	-

Tabla 2: Dosificación de mezcla de hormigón convencional.

Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL		
<i>DOSIFICACIÓN DE MEZCLA REMPLAZANDO EL 5% EL AGREGAGO FINO</i>		
FECHA:	3-jul-25	
ENSAYADO POR:	LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA	
CÓDIGO DE MEZCLA:	C5	
NÚMERO CILINDROS:	6	
Materiales	Unidad	Cantidad
Agua	Litros	3
Cemento	Kilogramos	6
Agregado grueso	Kilogramos	15
Agregado fino	Kilogramos	8,55
Biocarbón de Café	Gramos	450

Tabla 3: Dosificación de mezcla reemplazando 5% el agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL		
<i>DOSIFICACIÓN DE MEZCLA REMPLAZANDO EL 10% EL AGREGAGO FINO</i>		
FECHA:	3-jul-25	
ENSAYADO POR:	LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA	
CÓDIGO DE MEZCLA:	C10	
NÚMERO CILINDROS:	6	
Materiales	Unidad	Cantidad
Agua	Litros	3
Cemento	Kilogramos	6
Agregado grueso	Kilogramos	15
Agregado fino	Kilogramos	8,1
Biocarbón de Café	Gramos	900

Tabla 4: Dosificación de mezcla reemplazando el 10% el agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

DOSIFICACIÓN DE MEZCLA REMPLAZANDO EL 10% EL AGREGAGO FINO

FECHA:	3-jul-25	
ENSAYADO POR:	LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA	
CÓDIGO DE MEZCLA:	C15	
NÚMERO CILINDROS:	6	
Materiales	Unidad	Cantidad
Agua	Litros	3,365
Cemento	Kilogramos	6
Agregado grueso	Kilogramos	15
Agregado fino	Kilogramos	7,65
Biocarbón de Café	Gramos	1350

Tabla 5: Dosificación de mezcla reemplazando el 10% el agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

2.2.6 Ensayos de agregados

Los ensayos que se realizaron en los agregados fueron granulometría, peso volumétrica y porcentaje de absorción.

2.2.6.1 Granulometría

Este método de prueba se usa principalmente para determinar la clasificación de los materiales propuestos para su uso como agregados. Los resultados se utilizan para dar a conocer el cumplimiento de la distribución del tamaño de partícula con los requisitos de especificación aplicable. (ASTM, C136 / C136M-14, 2015)

El método de granulometría consiste en colocar una muestra en una serie de tamices con diferentes aberturas, lo que hará que las partículas de

diferentes tamaños de la muestra se separen según su tamaño lo cual nos servirá para saber la distribución del tamaño de las partículas.

2.2.6.2 Agregado grueso

Los tamices que se usaron para el agregado grueso se sacaron de la norma ASTM C136, los cuales son los siguientes:

Tamiz	Apertura (mm)
2"	50,00
1 1/2"	37,50
1"	25,00
3/4"	19,00
1/2"	12,50
3/8"	9,50
N 4	4,75
N 8	2,36
N 200	0,075

Ilustración 10: Tamices especificados para agregado grueso. Fuente: (ASTM, C136 / C136M-14, 2015)

2.2.6.2 Agregado fino

Los tamices que se usaron para el agregado fino se sacaron de la norma ASTM C136, los cuales son los siguientes:

Tamiz	Apertura (mm)
1/2"	12,50
3/8"	9,50
N 4	4,75
N 8	2,36
N 16	1,18
N 30	0,600
N 50	0,300
N 100	0,150
N 200	0,075

Ilustración 11: Tamices especificados para agregado fino. Fuente: (ASTM, C136 / C136M-14, 2015)

2.2.7 Elaboración de mezclas y probetas cilíndricas

Una vez determinada la dosificación y los ensayos de los agregados, se elaboraron los cuatro tipos de mezclas para la fabricación de las probetas cilíndricas, como se muestra en la Ilustración 8. Todo el proceso se llevó a cabo en un entorno experimental y comparativo dentro del laboratorio, siguiendo la normativa vigente a fin de mantener condiciones controladas.



Ilustración 12: Elaboración de probetas cilíndricas de hormigón.

Fuente: Ilustración propia.

Se elaboraron en total 24 probetas cilíndricas de hormigón las cuales fueron desencofradas de sus moldes y posteriormente colocadas en un tanque de agua para su respectivo proceso de curado.



Ilustración 13: Probetas cilíndricas sumergidas. Fuente: Ilustración propia.

2.3 Ensayos realizados

2.3.1 Ensayo de Resistividad Eléctrica (AASHTO T 358-21)

Después de permanecer en un tanque de agua durante el proceso de curado, las probetas cilíndricas fueron ensayadas a los 25 y 42 días. Se evaluaron un total de 24 probetas cilíndricas, 12 probetas en dos distintas fechas, distribuidas de la siguiente manera:

- 3 correspondientes a la mezcla convencional. (NP)
- 3 con un 5% de sustitución de agregado fino por residuos de café (C5)
- 3 con un 10% de sustitución. (C10)
- 3 con un 15% de sustitución. (C15)

Dado que el ensayo de resistividad eléctrica es un ensayo no destructivo, a diferencia del de resistencia a compresión, se procedió a realizar primero la medición de resistividad eléctrica. Posteriormente, se utilizó la misma probeta cilíndrica para efectuar el ensayo de resistencia a compresión.

Para la medición de la resistividad eléctrica, se confeccionó un molde utilizando un material no conductor, específicamente espuma fon (Ilustración 12). Este molde permitió sostener el cilindro durante la medición y facilitó su rotación, de manera que se pudieran registrar las medidas en distintas posiciones angulares.



Ilustración 14: Molde confeccionado para ensayo de resistividad eléctrica. Fuente: Ilustración propia.

En cada cilindro se marcó las distintas posiciones angulares ya que se deben tomar las medidas en 4 posiciones en una misma probeta cilíndrica.

Para empezar el ensayo de resistividad eléctrica se ubicaron cuatro electrodos metálicos con una separación cada uno de 3,81 cm en línea sobre la superficie del cilindro, reservando los dos electrodos externos para la inyección de corriente y los dos internos para la medición de la diferencia de potencial mediante un voltímetro.

La fuente de corriente se conectó a los electrodos externos, garantizando un flujo constante y controlado, mientras que el voltímetro se conectó a los electrodos internos para registrar los valores de voltaje generados.

Se verificó que todos los electrodos tuvieran un buen contacto con la superficie de la probeta y se procedió a activar la fuente de corriente para realizar las mediciones, rotando la probeta gradualmente para obtener datos en diferentes posiciones angulares. (Ilustración 13)



Ilustración 15: Equipos utilizados para la medir la resistividad eléctrica. Fuente: Ilustración propia.

2.3.2 Ensayo de resistencia a compresión (ASTM C39)

Una vez concluidos los ensayos de resistividad eléctrica se llevaron a cabo las pruebas de resistencia a la compresión de acuerdo con la norma ASTM C39. Previo al ensayo se midió el diámetro de cada cilindro en dos direcciones perpendiculares y se obtuvo el valor promedio, con el fin de contar con una medida precisa para el cálculo de la resistencia. Posteriormente, cada probeta fue colocada en la máquina de compresión, verificando su correcta alineación y se aplicó la carga de manera gradual hasta producirse la falla. Finalmente se registró la carga máxima soportada por el cilindro para determinar su resistencia a la compresión.



Ilustración 16: Ensayos de resistencia a compresión en las denominadas probetas cilíndricas. Fuente: Ilustración propia.

3. CAPITULO III: RESULTADOS

3.1 Curva Granulométrica

Agregado Grueso:

En la Ilustración 17 se aprecia la curva granulométrica del agregado grueso (piedra chispa), se observa una caída entre los tamices 3/8" y N° 4, y prácticamente sin material que pase por el tamiz N° 200, lo cual nos indica que es un agregado grueso sin presencia de finos.

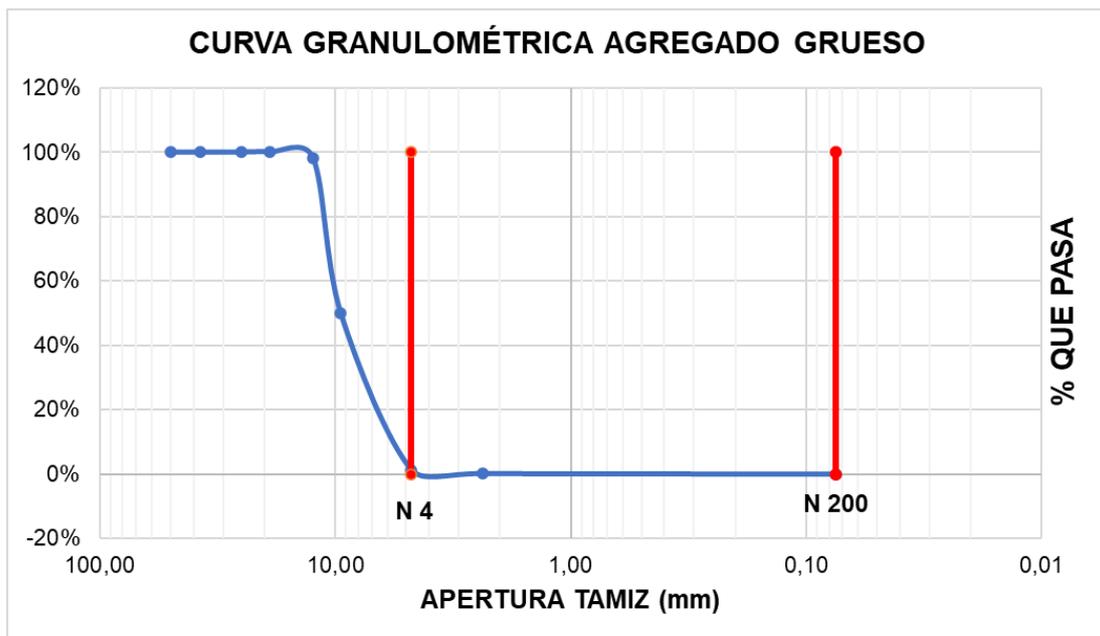


Ilustración 17: Curva Granulométrica de Agregado Grueso. Fuente: Ilustración propia.

Agregado fino:

En la Ilustración 18 se aprecia la curva granulométrica del agregado fino, la cual se aprecia que el 100% del material pasa por el tamiz N° 4 y descende gradualmente hasta el tamiz N° 200, mostrando una distribución continua que corresponde a una arena bien graduada. Su módulo de finura fue de 2,95 cumpliendo así la normativa la cual nos dice que no debe ser menor que 2,3 ni mayor que 3.1

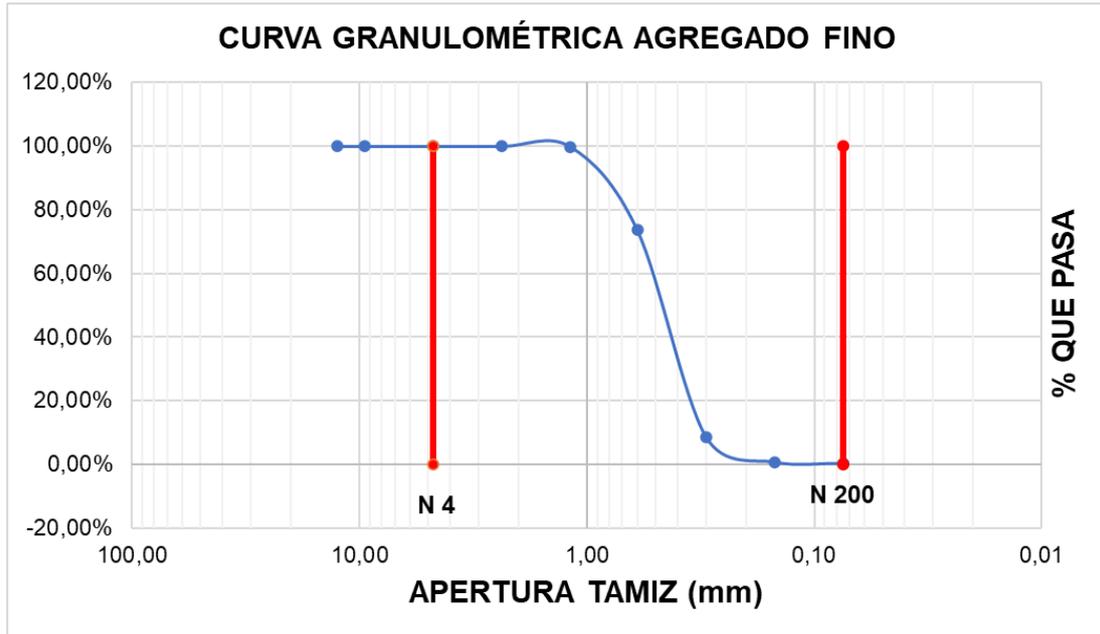


Ilustración 18: Curva Granulométrica de Agregado Fino. Fuente: Ilustración propia.

3.2 Peso Unitario

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE INGENIERÍA, INGENIERÍA CIVIL		UCSG Facultad de Ingeniería
<i>PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO</i>		
ENSAYADO POR:	LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA	
NORMA:	ASTM C-29	
MASA RECIPIENTE kg	MASA AGREGADO + RECIPIENTE kg	VOLUMEN DE RECIPIENTE m ³
3,439	7,451	0,0028
PESO UNITARIO kg/m ³		
1454,59		

Ilustración 19: Peso Unitario de agregado grueso. Fuente: Ilustración propia

PESO UNITARIO DE AGREGADO FINO

ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ
RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA

NORMA: ASTM C-29

MASA RECIPIENTE kg	MASA AGREGADO + RECIPIENTE kg	VOLUMEN DE RECIPIENTE m3
3,439	7,383	0,0028
PESO UNITARIO kg/m3		
1429,93		

Ilustración 20: Peso Unitario de agregado fino. Fuente: Ilustración propia.

3.2 Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 25 días

En la sección anterior se explicó la metodología y su respectiva norma aplicada a este ensayo, en este apartado se presentará los resultados del ensayo de resistividad eléctrica a realizados a las 12 probetas cilíndricas tras 25 días de elaboración.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYADO POR:		LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA		FECHA: 28/7/2025
NORMA:		AASHTO T 358-21		
RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA A LOS 25 DIAS			MEDICIÓN EN POSICIÓN ANGULAR	
			0°	
Nombre de la muestra	Descripción	Voltaje V	Corriente mA	Resistividad $\Omega \cdot \text{cm}$
NP - 1	Mezcla convencional	0,360	1,085	7942,9
NP - 2		0,306	1,021	7174,6
NP - 3		0,340	1,060	7678,5
C5 - 1	Reemplazo 5% de café en agregado fino	0,318	1,113	6839,7
C5 - 2		0,308	1,054	6995,4
C5 - 3		0,315	1,112	6781,3
C10 - 1	Reemplazo 10% de café en agregado fino	0,338	1,052	7691,4
C10 - 2		0,349	1,091	7657,8
C10 - 3		0,339	1,037	7825,7
C15 - 1	Reemplazo 15% de café en agregado fino	0,350	1,054	7949,4
C15 - 2		0,399	1,119	8535,9
C15 - 3		0,364	1,092	7979,6

Tabla 6: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 25 días, medición en posición angular 0°. Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ		FECHA: 28/7/2025		
RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA				
NORMA: AASHTO T 358-21				
RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA A LOS 25 DÍAS		MEDICIÓN EN POSICIÓN ANGULAR		
		90°		
Nombre de la muestra	Descripción	Voltaje V	Corriente mA	Resistividad $\Omega \cdot \text{cm}$
NP - 1	Mezcla convencional	0,270	0,886	7295,2
NP - 2		0,350	1,103	7596,2
NP - 3		0,340	1,079	7543,3
C5 - 1	Reemplazo 5% de café en agregado fino	0,320	1,114	6876,5
C5 - 2		0,321	1,075	7148,3
C5 - 3		0,324	1,141	6797,7
C10 - 1	Reemplazo 10% de café en agregado fino	0,333	0,997	7995,7
C10 - 2		0,301	0,999	7212,8
C10 - 3		0,315	1,011	7458,7
C15 - 1	Reemplazo 15% de café en agregado fino	0,322	0,984	7833,7
C15 - 2		0,335	1,028	7801,1
C15 - 3		0,336	1,011	7956,0

Tabla 7: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 25 días, medición en posición angular 0°. Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL				 Facultad de Ingeniería
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ		FECHA: 28/7/2025		
RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA				
NORMA: AASHTO T 358-21				
RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA A LOS 25 DIAS		MEDICIÓN EN POSICIÓN ANGULAR		
		180°		
Nombre de la muestra	Descripción	Voltaje V	Corriente mA	Resistividad $\Omega \cdot \text{cm}$
NP - 1	Mezcla convencional	0,288	0,868	7942,9
NP - 2		0,365	1,115	7836,5
NP - 3		0,361	1,074	8046,5
C5 - 1	Reemplazo 5% de café en agregado fino	0,376	1,162	7746,2
C5 - 2		0,326	1,094	7133,5
C5 - 3		0,318	1,104	6895,5
C10 - 1	Reemplazo 10% de café en agregado fino	0,317	1,017	7461,8
C10 - 2		0,309	0,980	7548,1
C10 - 3		0,298	0,970	7354,4
C15 - 1	Reemplazo 15% de café en agregado fino	0,294	0,948	7424,1
C15 - 2		0,375	1,092	8220,8
C15 - 3		0,324	0,962	8062,6

Tabla 8: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 25 días, medición en posición angular 180°. Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ		FECHA: 28/7/2025		
RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA				
NORMA: AASHTO T 358-21				
RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA A LOS 25 DIAS		MEDICIÓN EN POSICIÓN ANGULAR		
		270°		
Nombre de la muestra	Descripción	Voltaje V	Corriente mA	Resistividad $\Omega \cdot \text{cm}$
NP - 1	Mezcla convencional	0,275	0,879	7489,4
NP - 2		0,346	1,104	7502,6
NP - 3		0,339	1,099	7384,3
C5 - 1	Reemplazo 5% de café en agregado fino	0,311	1,096	6792,9
C5 - 2		0,295	1,054	6700,2
C5 - 3		0,315	1,105	6824,2
C10 - 1	Reemplazo 10% de café en agregado fino	0,313	0,998	7507,9
C10 - 2		0,295	0,968	7295,4
C10 - 3		0,309	0,960	7705,3
C15 - 1	Reemplazo 15% de café en agregado fino	0,335	1,033	7763,4
C15 - 2		0,331	0,987	8028,2
C15 - 3		0,315	1,000	7540,8

Tabla 9: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 25 días, medición en posición angular 270°. Fuente: Elaboración propia.

ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ		FECHA: 28/7/2025	
RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA			
NORMA: AASHTO T 358-21			
<i>RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA A LOS 25 DIAS</i>		<i>RESISTIVIDAD PROMEDIO</i>	
Nombre de la muestra	Descripción	Resistividad prom. $\Omega \cdot \text{cm}$	Resistividad prom. $\Omega \cdot \text{cm}$
NP - 1	Mezcla convencional	7667,6	7619,4
NP - 2		7527,5	
NP - 3		7663,2	
C5 - 1	Reemplazo 5% de café en agregado fino	7063,8	6960,9
C5 - 2		6994,4	
C5 - 3		6824,7	
C10 - 1	Reemplazo 10% de café en agregado fino	7664,2	7559,6
C10 - 2		7428,5	
C10 - 3		7586,1	
C15 - 1	Reemplazo 15% de café en agregado fino	7742,6	7924,6
C15 - 2		8146,5	
C15 - 3		7884,7	

Tabla 10: Resistividad promedio de las mediciones en distintas posiciones angulares. Fuente: Elaboración propia.

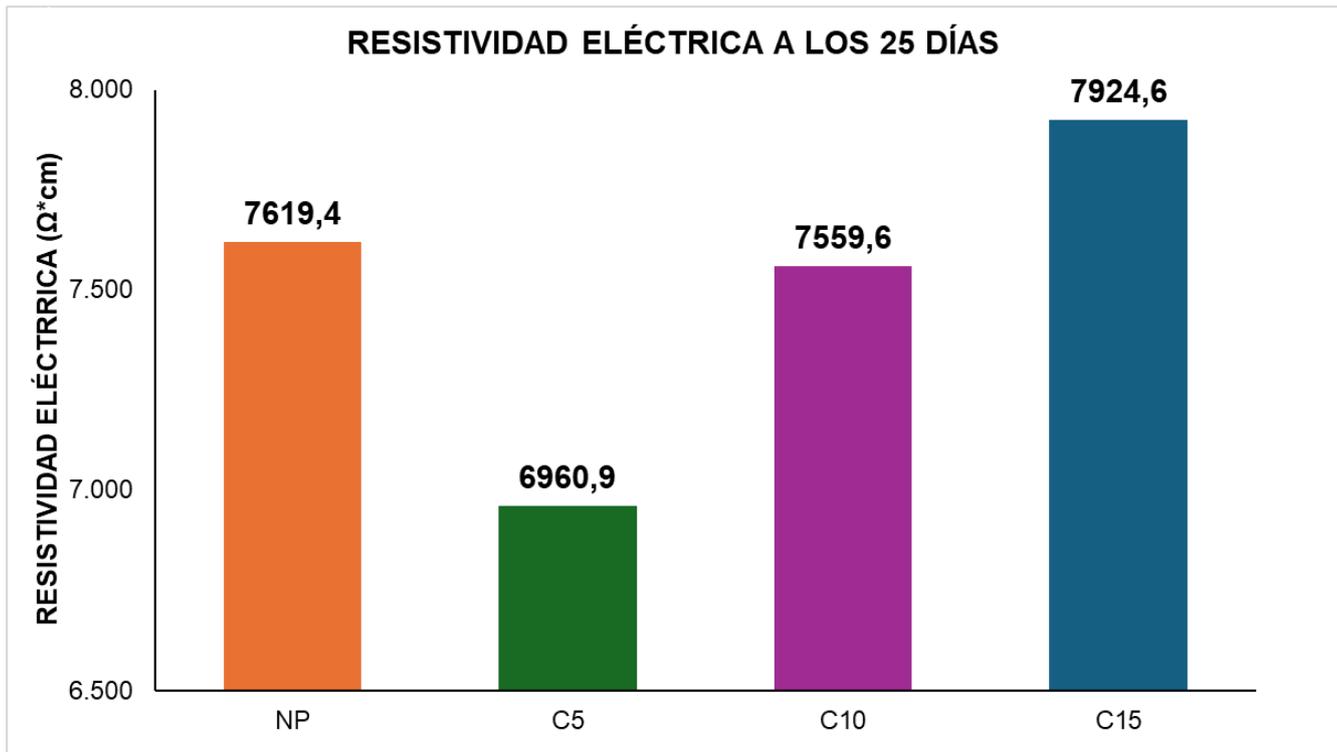


Ilustración 21: Resistividad eléctrica a los 25 días, de los distintos tipos de mezcla. Fuente: Ilustración propia.

3.2.1 Resultados de resistencia a la compresión a los 25 días

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL						 Facultad de Ingeniería	
FACULTAD DE INGENIERÍA, INGENIERÍA CIVIL							
RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN A LOS 25 DÍAS							
ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA				FECHA: 28-jul-25			
NORMA: ASTM C39							
Nombre de la muestra	Descripción	Diámetro cm	Área cm ²	Carga KN	Carga kg	Esf. Comp. kg/cm ²	Esf. Comp. Prom. kg/cm ²
NP - 1	Mezcla convencional	10,6	87,4	136	13867,9	158,6	157,50
NP - 2		10,5	85,8	134,7	13735,4	160,1	
NP - 3		10,5	85,8	129,3	13184,7	153,7	

Tabla 11: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla convencional de hormigón.

Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL						 Facultad de Ingeniería	
FACULTAD DE INGENIERÍA, INGENIERÍA CIVIL							
RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN A LOS 25 DÍAS							
ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA				FECHA: 28-jul-25			
NORMA: ASTM C39							
Nombre de la muestra	Descripción	Diámetro cm	Área cm ²	Carga KN	Carga kg	Esf. Comp. kg/cm ²	Esf. Comp. Prom. kg/cm ²
C5 - 1	Reemplazo 5% de café en agregado fino	10,5	85,8	102,7	10472,3	122,1	148,26
C5 - 2		10,5	85,8	134,1	13674,2	159,4	
C5 - 3		10,5	86,8	138,9	14163,6	163,3	

Tabla 12: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con reemplazo del 5% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL							
FACULTAD DE INGENIERÍA, INGENIERÍA CIVL							
RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN A LOS 25 DÍAS							
ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ				FECHA: 28-jul-25			
RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA							
NORMA: ASTM C39							
Nombre de la muestra	Descripción	Diámetro cm	Área cm ²	Carga KN	Carga kg	Esf. Comp. kg/cm ²	Esf. Comp. Prom. kg/cm ²
C10 - 1	Reemplazo 10% de café en agregado fino	10,5	85,9	122,1	12450,5	144,9	149,47
C10 - 2		10,6	87,7	126,4	12889,0	146,9	
C10 - 3		10,5	85,9	132	13460,0	156,6	

Tabla 13: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con reemplazo del 10% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL							
FACULTAD DE INGENIERÍA, INGENIERÍA CIVL							
RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN A LOS 25 DÍAS							
ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ				FECHA: 28-jul-25			
RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA							
NORMA: ASTM C39							
Nombre de la muestra	Descripción	Diámetro cm	Área cm ²	Carga KN	Carga kg	Esf. Comp. kg/cm ²	Esf. Comp. Prom. kg/cm ²
C15 - 1	Reemplazo 15% de café en agregado fino	10,4	85,6	90,3	9207,9	107,6	102,89
C15 - 2		10,4	85,1	85,5	8718,4	102,4	
C15 - 3		10,4	84,9	82,2	8381,9	98,7	

Tabla 14: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con reemplazo del 15% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

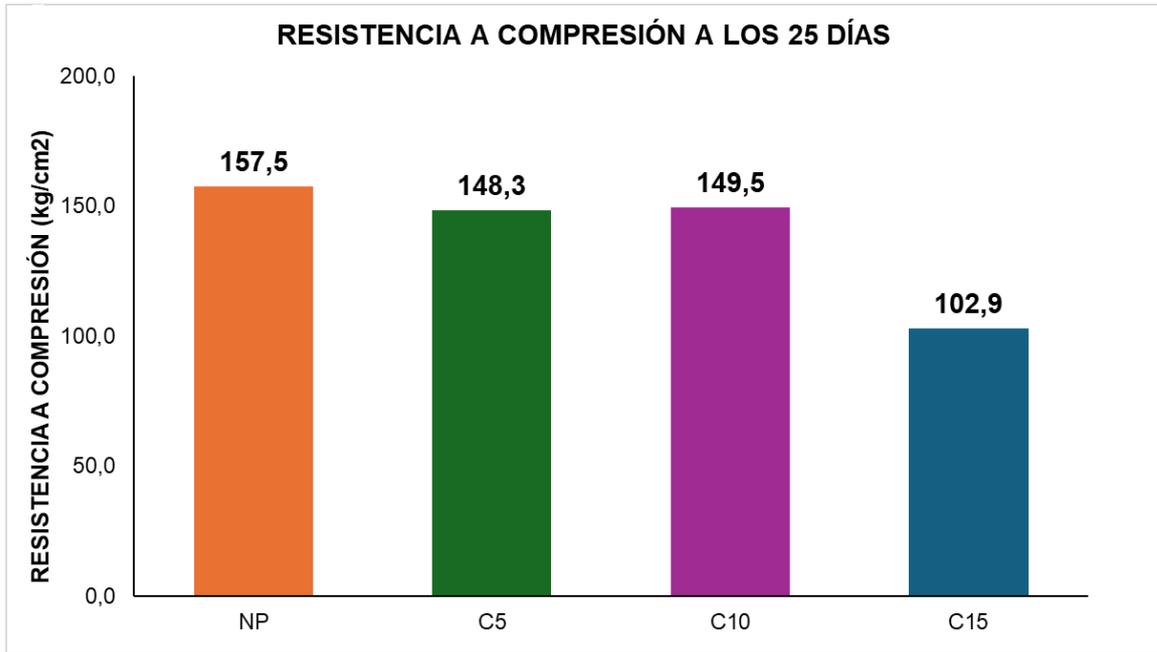


Ilustración 22: Resistencia a la compresión a los 25 días, de distintos tipos de mezcla presentes.

Fuente: Ilustración propia.

3.2.2 Resistencia a compresión vs Resistividad eléctrica, a los 25 días

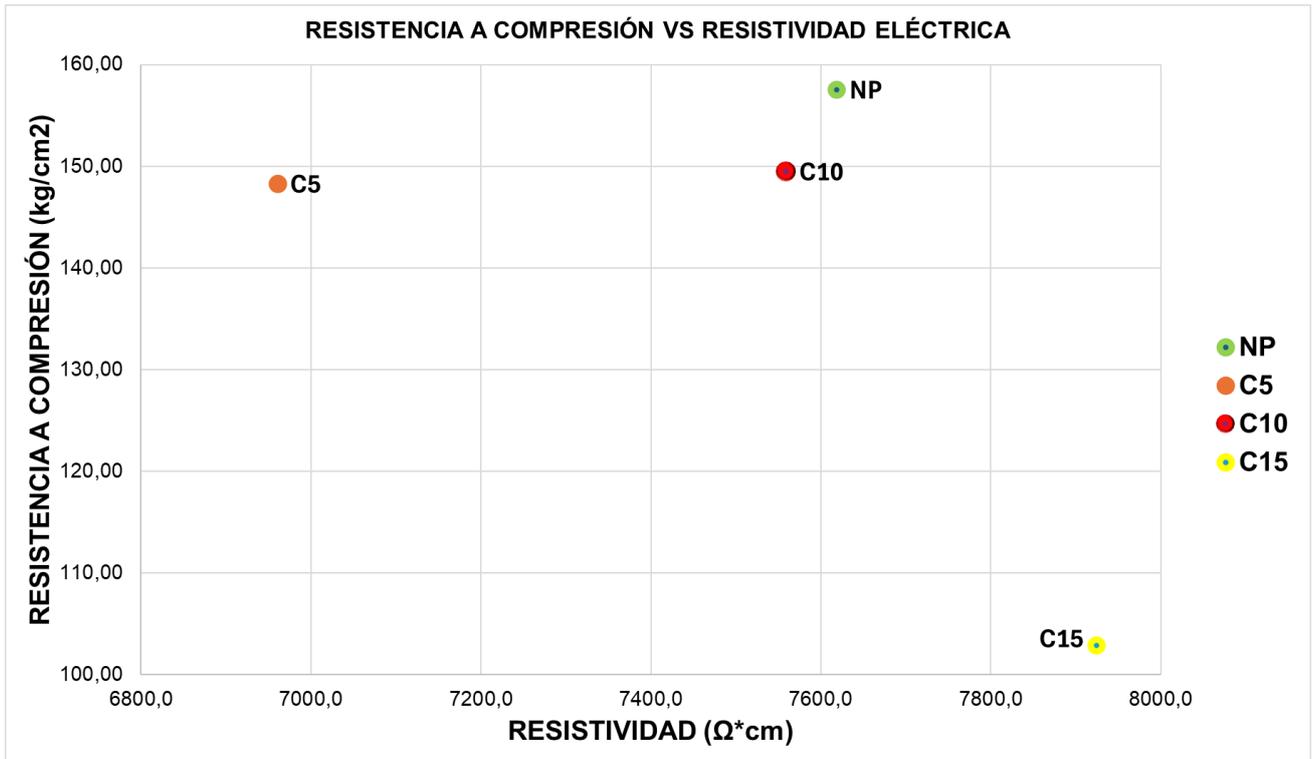


Ilustración 23: Resistencia a compresión vs Resistividad eléctrica, a los 25 días. Fuente:

Ilustración propia

3.3.3 Resultados de ensayos de resistividad eléctrica, a los 42 días

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA			FECHA: 14-ago-25	
NORMA: AASHTO T 358-21				
<i>RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA A LOS 42 DÍAS</i>			<i>MEDICIÓN EN POSICIÓN ANGULAR</i>	
0°				
Nombre de la muestra	Descripción	Voltaje V	Corriente mA	Resistividad $\Omega \cdot \text{cm}$
NP - 1	Mezcla convencional	0,161	0,410	9400,4
NP - 2		0,205	0,558	8794,8
NP - 3		0,260	0,644	9664,8
C5 - 1	Reemplazo 5% de café en agregado fino	0,247	0,728	8122,1
C5 - 2		0,306	0,808	9066,0
C5 - 3		0,287	0,784	8763,4
C10 - 1	Reemplazo 10% de café en agregado fino	0,330	0,804	9825,7
C10 - 2		0,305	0,797	9161,1
C10 - 3		0,303	0,779	9311,3
C15 - 1	Reemplazo 15% de café en agregado fino	0,314	0,799	9407,8
C15 - 2		0,299	0,759	9430,5
C15 - 3		0,320	0,822	9319,3

Tabla 15: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 42 días, medición en posición angular 0°. Fuente: Elaboración propia.

ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA		FECHA: 14-ago-25		
NORMA: AASHTO T 358-21				
<i>RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA A LOS 42 DÍAS</i>		<i>MEDICIÓN EN POSICIÓN ANGULAR</i>		
		90°		
Nombre de la muestra	Descripción	Voltaje V	Corriente mA	Resistividad $\Omega \cdot \text{cm}$
NP - 1	Mezcla convencional	0,169	0,395	10242,2
NP - 2		0,262	0,609	10298,9
NP - 3		0,259	0,639	9702,9
C5 - 1	Reemplazo 5% de café en agregado fino	0,223	0,665	8027,6
C5 - 2		0,208	0,598	8326,6
C5 - 3		0,219	0,662	7919,4
C10 - 1	Reemplazo 10% de café en agregado fino	0,286	0,776	8822,9
C10 - 2		0,227	0,627	8666,9
C10 - 3		0,292	0,740	9446,2
C15 - 1	Reemplazo 15% de café en agregado fino	0,249	0,698	8539,8
C15 - 2		0,294	0,781	9011,6
C15 - 3		0,257	0,733	8393,3

Tabla 16: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 42 días, medición en posición angular 90°. Fuente: Elaboración propia.

ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA		FECHA: 14-ago-25		
NORMA: AASHTO T 358-21				
<i>RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA A LOS 42 DÍAS</i>		<i>MEDICIÓN EN POSICIÓN ANGULAR</i>		
		180°		
Nombre de la muestra	Descripción	Voltaje V	Corriente mA	Resistividad $\Omega \cdot \text{cm}$
NP - 1	Mezcla convencional	0,157	0,379	9916,7
NP - 2		0,284	0,721	9429,5
NP - 3		0,267	0,683	9358,3
C5 - 1	Reemplazo 5% de café en agregado fino	0,256	0,704	8705,1
C5 - 2		0,241	0,660	8741,3
C5 - 3		0,271	0,775	8370,9
C10 - 1	Reemplazo 10% de café en agregado fino	0,302	0,731	9890,0
C10 - 2		0,240	0,648	8866,3
C10 - 3		0,242	0,654	8858,1
C15 - 1	Reemplazo 15% de café en agregado fino	0,221	0,629	8411,0
C15 - 2		0,317	0,782	9704,1
C15 - 3		0,295	0,731	9660,7

Tabla 17: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 42 días, medición en posición angular 180°. Fuente: Elaboración propia.

ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA		FECHA: 14-ago-25		
NORMA: AASHTO T 358-21				
RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA A LOS 42 DÍAS		MEDICIÓN EN POSICIÓN ANGULAR		
		270°		
Nombre de la muestra	Descripción	Voltaje V	Corriente mA	Resistividad $\Omega \cdot \text{cm}$
NP - 1	Mezcla convencional	0,163	0,417	9357,4
NP - 2		0,237	0,624	9092,2
NP - 3		0,201	0,559	8607,7
C5 - 1	Reemplazo 5% de café en agregado fino	0,206	0,577	8546,7
C5 - 2		0,248	0,699	8493,4
C5 - 3		0,288	0,772	8930,6
C10 - 1	Reemplazo 10% de café en agregado fino	0,315	0,754	10001,0
C10 - 2		0,219	0,537	9762,8
C10 - 3		0,231	0,581	9517,9
C15 - 1	Reemplazo 15% de café en agregado fino	0,297	0,789	9011,2
C15 - 2		0,299	0,731	9791,7
C15 - 3		0,278	0,730	9116,5

Tabla 18: Resultados de ensayos de resistividad eléctrica a los 42 días, medición en posición angular 270°. Fuente: Elaboración propia.

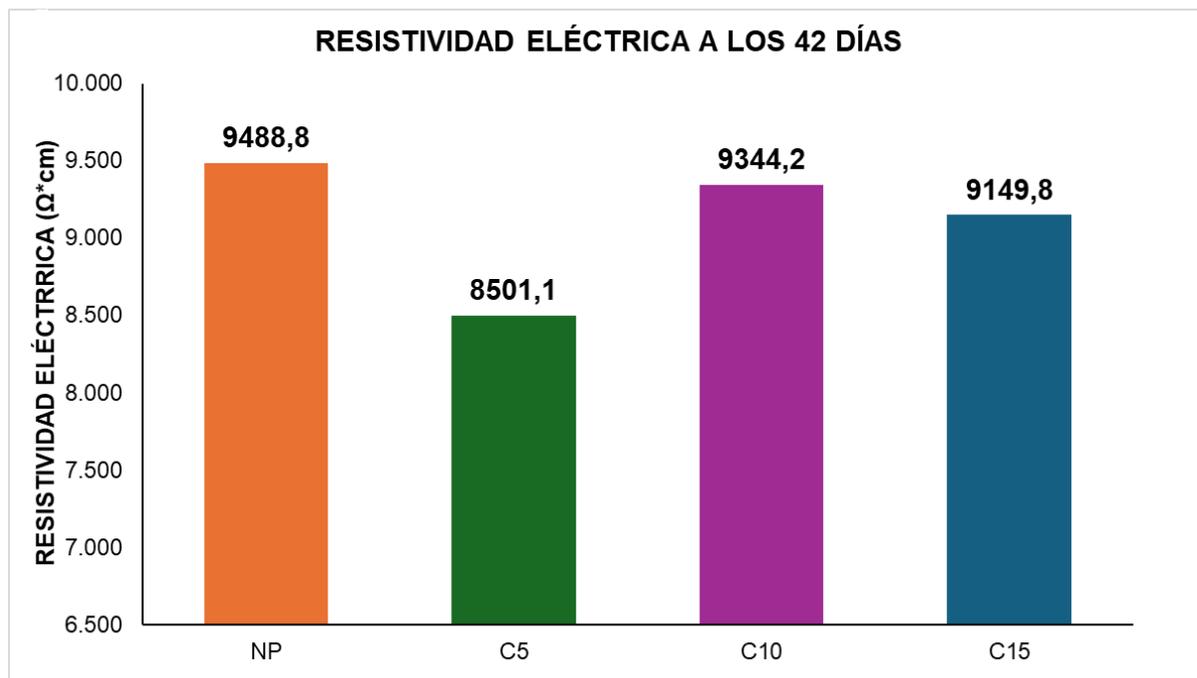


Ilustración 24: Resistividad eléctrica a los 42 días, de los distintos tipos de mezcla a los 42 días.

Fuente: Ilustración propia.

3.3.4 Resultados de ensayos a compresión a los 42 días

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL				FACULTAD DE INGENIERÍA, INGENIERÍA CIVIL			
							
RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN A LOS 42 DÍAS							
ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA				FECHA: 14-ago-25			
NORMA: ASTM C39							
Nombre de la muestra	Descripción	Diámetro cm	Área cm ²	Carga KN	Carga kg	Esf. Comp. kg/cm ²	Esf. Comp. Prom. kg/cm ²
NP - 1	Mezcla convencional	10,5	86,0	161,5	16468,2	191,5	182,11
NP - 2		10,6	88,2	145,9	14877,4	168,6	
NP - 3		10,4	84,9	155,2	15825,7	186,3	

Tabla 19: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con remplazo del 10% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL							
FACULTAD DE INGENIERÍA, INGENIERÍA CIVIL							
RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN A LOS 42 DÍAS							
ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA				FECHA: 14-ago-25			
NORMA: ASTM C39							
Nombre de la muestra	Descripción	Diámetro cm	Área cm ²	Carga KN	Carga kg	Esf. Comp. kg/cm ²	Esf. Comp. Prom. kg/cm ²
C5 - 1	Reemplazo 5% de café en agregado fino	10,2	81,6	153,3	15632,0	191,7	184,85
C5 - 2		10,5	86,2	156,4	15948,1	185,1	
C5 - 3		10,5	87,0	151,7	15468,8	177,8	

Tabla 20: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con reemplazo del 5% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL							
FACULTAD DE INGENIERÍA, INGENIERÍA CIVIL							
RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN A LOS 42 DÍAS							
ENSAYADO POR: LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA				FECHA: 14-ago-25			
NORMA: ASTM C39							
Nombre de la muestra	Descripción	Diámetro cm	Área cm ²	Carga KN	Carga kg	Esf. Comp. kg/cm ²	Esf. Comp. Prom. kg/cm ²
C10 - 1	Reemplazo 10% de café en agregado fino	10,5	86,5	140,3	14306,4	165,4	174,87
C10 - 2		10,5	85,9	153,3	15632,0	181,9	
C10 - 3		10,5	86,8	151	15397,5	177,3	

Tabla 21: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con reemplazo del 10% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN A LOS 42 DÍAS

ENSAYADO POR:		LUIS GONZALO PONCE VÉLEZ RICARDO PAUL NAVIA ARTEAGA		FECHA:		14-ago-25	
NORMA:		ASTM C39					
Nombre de la muestra	Descripción	Diámetro cm	Área cm ²	Carga KN	Carga kg	Esf. Comp. kg/cm ²	Esf. Comp. Prom. kg/cm ²
C15 - 1	Reemplazo 15% de café en agregado fino	10,3	83,2	103,8	10584,5	127,3	127,75
C15 - 2		10,5	87,0	102,1	10411,1	119,7	
C15 - 3		10,4	85,4	114,2	11645,0	136,3	

Tabla 22: Resultados de ensayos a compresión a los 25 días de mezcla con reemplazo del 15% en agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

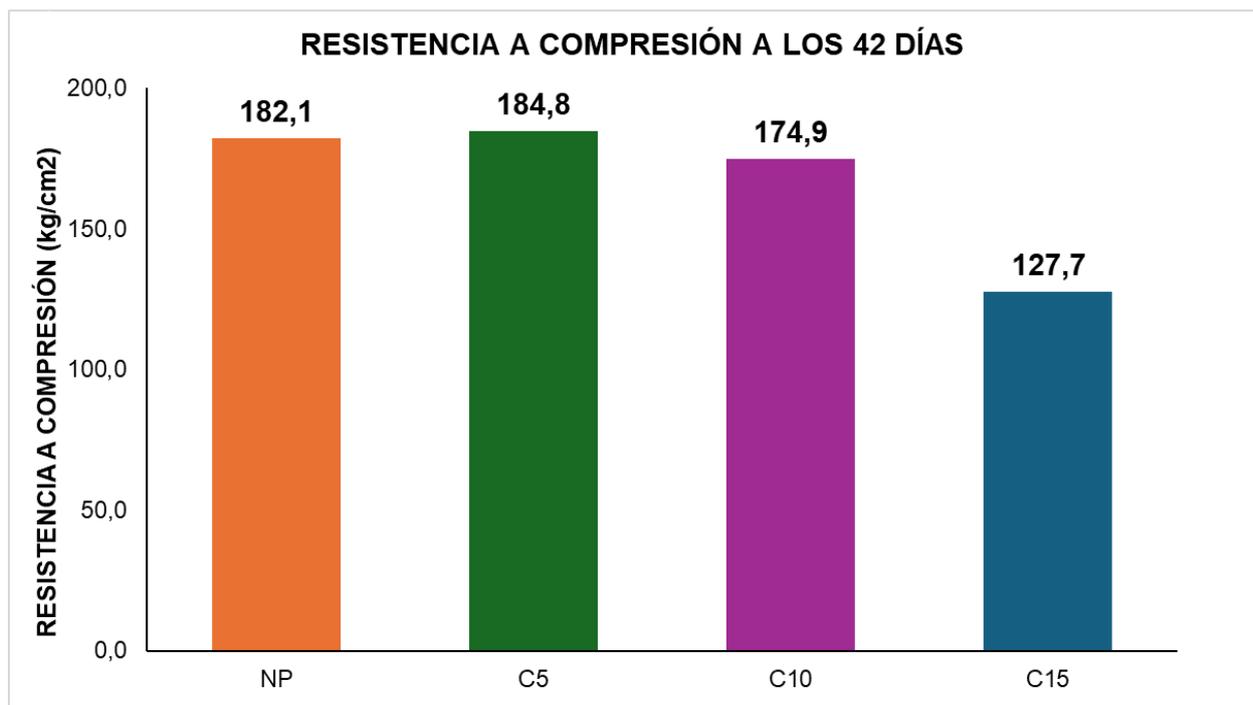


Ilustración 25: Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas ensayadas a los 42 días. Fuente: Ilustración propia

3.3.5 Resistencia a compresión vs Resistividad eléctrica, a los 42 días

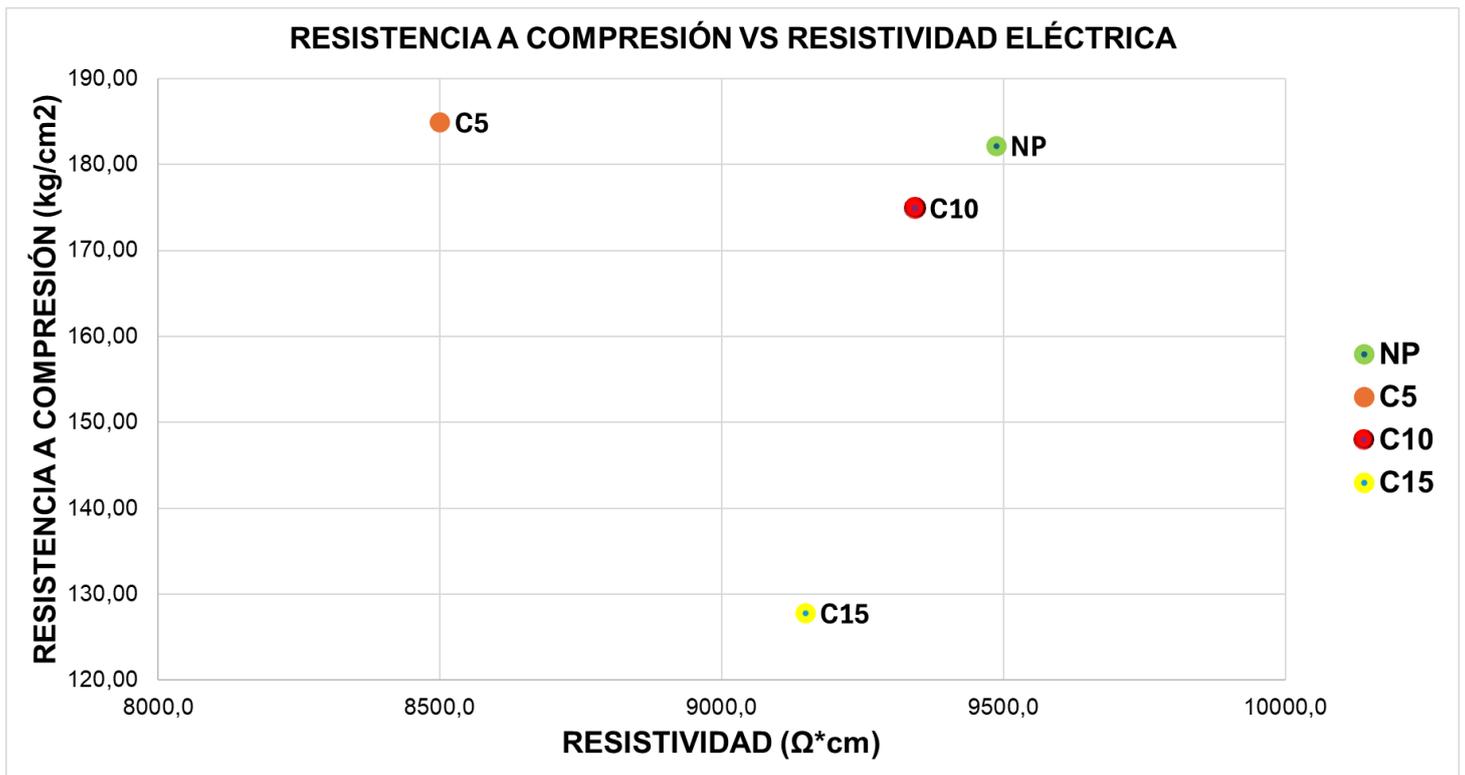


Ilustración 26: Resistencia a compresión vs Resistividad eléctrica, a los 42 días. Fuente: Ilustración propia

3.3.6 Comparación de resultados

A continuación, en la Ilustración 27 se aprecian la resistencia a compresión de cada tipo de mezcla, los paréntesis (25) y (42) son los días respectivos que tienen las muestras al momento de que fueron ensayadas.

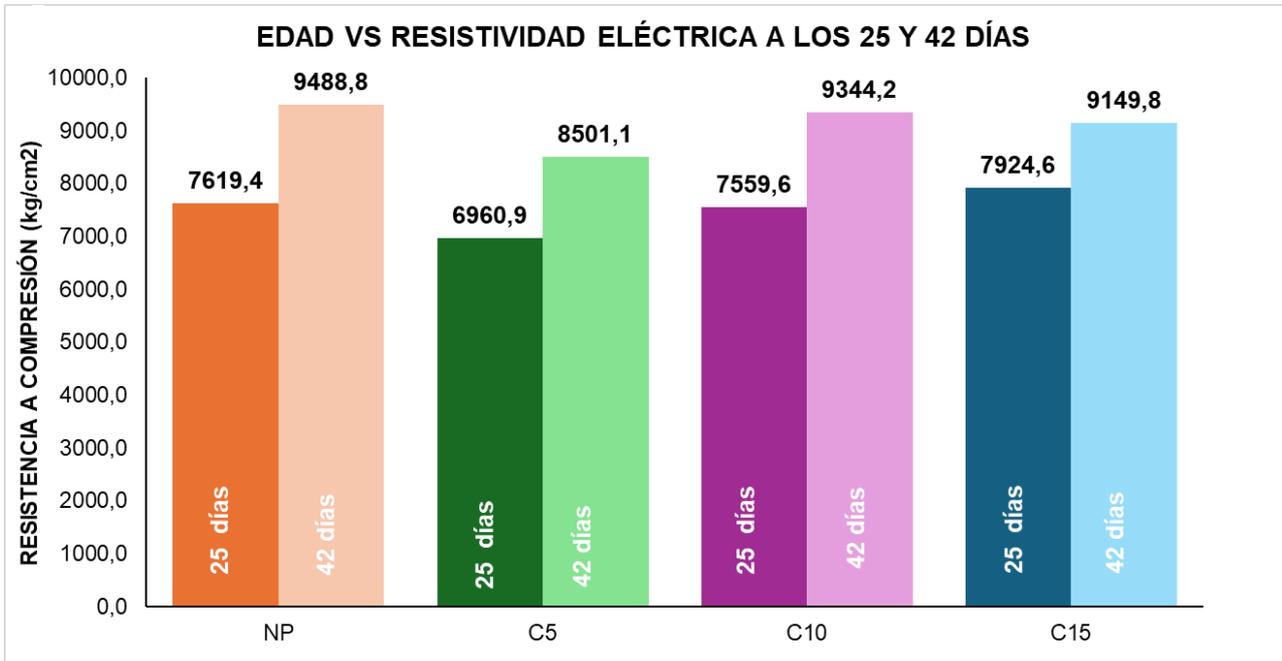


Ilustración 27: Edad vs Resistividad eléctrica de las muestras a los 25 y 42 días. Fuente: Ilustración propia.

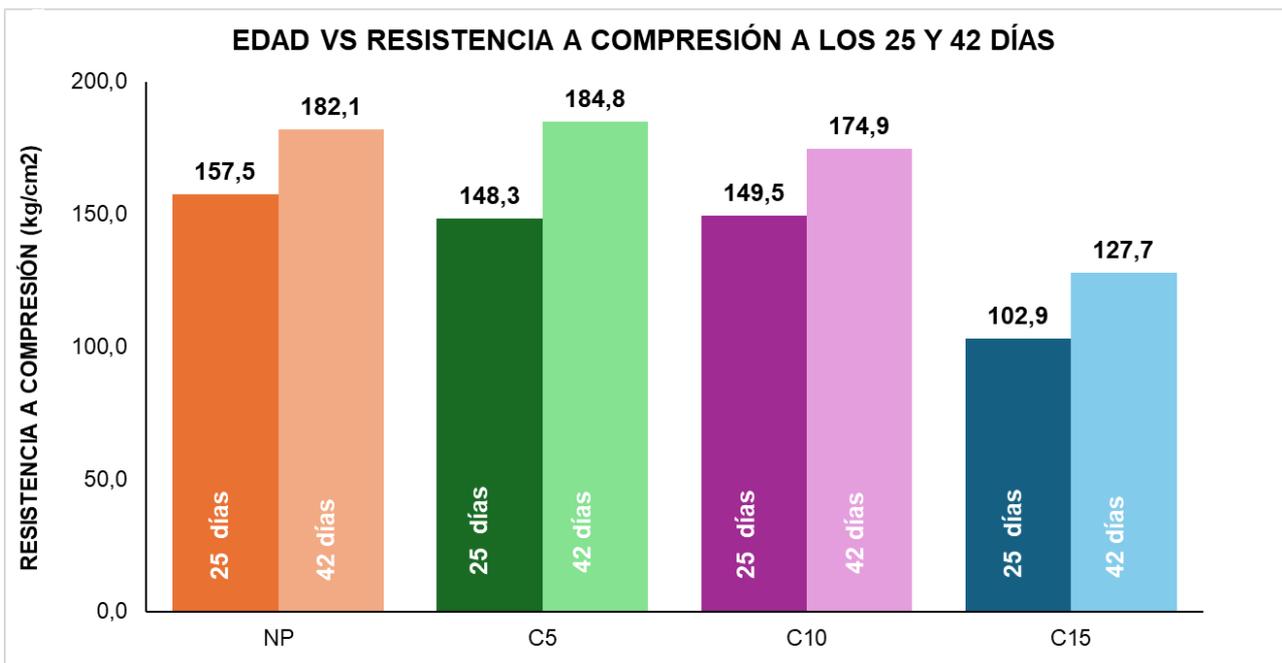


Ilustración 28: Edad vs Resistencia a compresión de las muestras a los 25 y 42 días. Fuente: Ilustración propia.

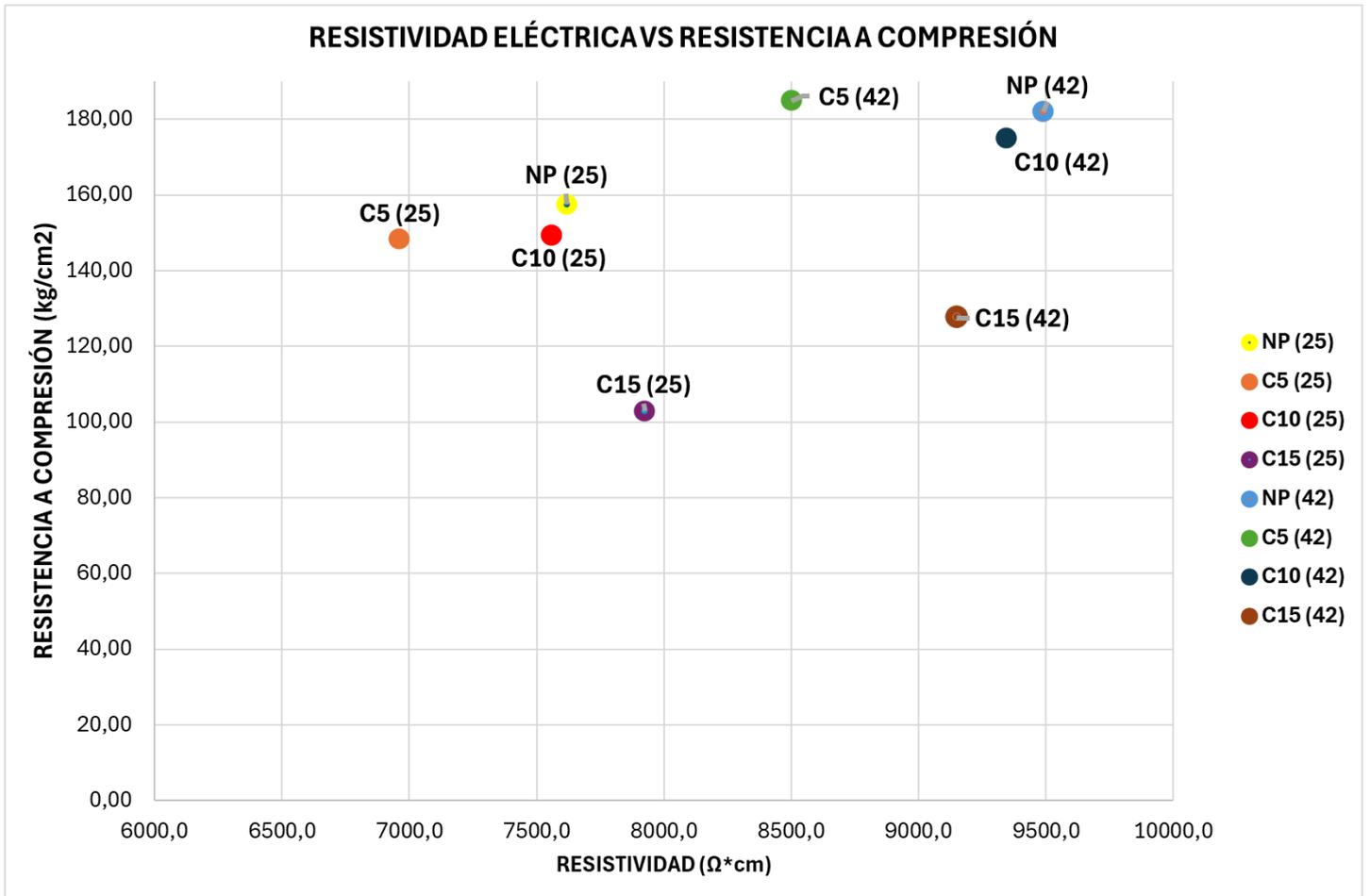


Ilustración 29: Resistividad eléctrica vs Resistencia a la compresión de las muestras a los 25 y 42 días. Fuente: Ilustración propia.

Conclusiones

Se concluye que con un reemplazo del 5% del agregado fino por biocarbón de café permite obtener una resistencia a compresión similar a la de un hormigón convencional, lo que demuestra que esta proporción no compromete significativamente su desempeño mecánico. Sin embargo, se observa una disminución en la resistividad eléctrica.

Con un reemplazo del 10%, tanto la resistencia a compresión como la resistividad eléctrica se aproximan a los valores de un hormigón convencional, mostrando un comportamiento más equilibrado entre las propiedades mecánicas y eléctricas. Esto sugiere que esta dosificación podría representar un punto óptimo de sustitución parcial, combinando sostenibilidad en el uso de residuos con un desempeño estructural aceptable.

La temperatura óptima para producir biocarbón de café mediante un proceso de pirolisis se encuentra entre 300 y 350 °C, rango en el que se obtiene un material con características fisicoquímicas adecuadas, como una porosidad moderada y una mayor estabilidad estructural.

Recomendaciones

Se recomienda usar un 10% de remplazo de agregado fino por biocarbón de café, ya que su resistencia a compresión y resistividad eléctrica son las más aproximadas a las de un hormigón convencional, es posible usar un 5% de remplazo, pero la resistividad eléctrica se vería afectada.

El uso de un 15% de remplazo afectaría considerablemente la resistencia a compresión, por lo cual no se recomienda.

Las muestras deben ser elaboradas bajo condiciones controladas de laboratorio, se debe lograr un curado adecuado para cada edad de ensayo.

Se sugiere que para la obtención del biocarbón de café no usar temperaturas mayores a 500 grados centígrados ya que al someter al material a una temperatura muy elevada presentará micro fisuras internas y se produce un porcentaje de pérdida considerable.

REFERENCIAS

- AASHTO. (2021). Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. *AASHTO T 358-21*, 3-6.
- Acosta, E. T. (Noviembre de 2011). *ResearchGate*. Obtenido de Utilización de Residuos de Café Tostado y Molido como: https://www.researchgate.net/publication/336067602_Utilizacion_de_Residuos_de_Cafe_Tostado_y_Molido_como_Bioadsorbente_para_la_Remocion_de_Arsenico_V_en_Agua
- ASTM. (2008). ASTM: C31. En ASTM, *Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de concreto* (pág. 3). astm.
- B., S. d. (Abril de 2014). *Scopus*. Obtenido de Reusing coffee waste in manufacture of ceramics for construction: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84900584323&origin=inward>
- Bertoldo, N. (21 de Diciembre de 2023). *MDPI*. Obtenido de Concrete with Organic Waste Materials as Aggregate Replacement: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/1/108>
- Bertoldo, N. Q. (2024). Hormigón con residuos orgánicos como sustituto de áridos. . *Ciencias aplicadas*, 14.
- Campos-Vega, R. L.-P.-C. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Food Science , Technology*, 45.
- Chacón-Figueroa, I. H.-R.-V.-M.-M.-T.-S.-M. (2022). Use of Coffee Bean Bagasse Extracts in the Brewing of Craft Beers: Optimization and Antioxidant Capacity. . 27.
- D. Eliche-Quesada, e. a. (Mayo de 2011). *ScienceDirect*. Obtenido de The use of different forms of waste in the manufacture of ceramic bricks: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169131711000962>

- Djamila, G. M. (14 de Febrero de 2018). *MATEC Web Conf*. Obtenido de Properties of dune sand concrete containing coffee waste: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/abs/2018/08/matecconf_cmss2018_01039/matecconf_cmss2018_01039.html
- Fermín, C. (06 de 06 de 2013). *Ecoportal.net*. Recuperado el 10 de 2018, de https://www.ecoportal.net/temas-especiales/desarrollo-sustentable/el_impacto_de_la_destruccion_ambiental_en_latinoamerica/
- Gupta, S. K. (2017). Factors determining the potential of biochar as a carbon capturing and sequestering construction material. *Critical Review*, 29.
- Hidalgo Segovia, C. S. (2018). Obtención de Carbón Activado a partir del Bagazo del Café como una propuesta de utilización del residuo de una Industria Cafetera. *Bachelor's thesis*, 79.
- Matallana Rodriguez, R. (2019). *El concreto fundamentos y nuevas tecnologías*. Constructora Concocreto.
- Na, S. (8 de Abril de 2021). *MDPI*. Obtenido de Experiment on Activated Carbon Manufactured from Waste Coffee Grounds on the Compressive Strength of Cement Mortars: <https://www.mdpi.com/2073-8994/13/4/619>
- Nitthikan, N. e. (2018). *Improvement of Stability and Transdermal Delivery of Bioactive Compounds in Green*. Nanotechnol.
- Nuti, M. C. (2017). Valorisation of the Residues of Coffee Agro-industry: Perspectives and Limitations,. 13-22.
- Perdrix, C. A. (2023). Recomendación Técnica sobre la medida de medida de la resistividad eléctrica en probetas. *ALCONPAT Internacional*, 1.
- PNUMA. (2014). *GreenFacts*. Obtenido de Extracción de arena, un recurso no renovable: <https://www.greenfacts.org/es/extraccion-arena/extraccion-arena-greenfacts.pdf>

- Programme, U. N. (2019). Sand an sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources. En UNEP, *Sand an sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources* (pág. 56). Switzerland: UNEP.
- Puertas Maroto, F. (2024). *Cementos y hormigones*. Madrid: CSIC.
- R. H. Setyobudi et al. (2019). Prospect of Fe non-heme on coffee flour made from solid coffee waste: Mini review. *IOP Conf. Ser. Earth Environ*, 43.
- Rajeev Roychand, S. K.-L. (2023). Transforming spent coffee grounds into a valuable resource for the enhancement of concrete strength. *Cleaner Production*, 15. Obtenido de ELSEVIER.
- Roodman, D. M., Lenssen, N. K., & Peterson, J. A. (1995). *A building revolution : how ecology and health concerns are transforming construction*. Washington DC: Washington, DC : Worldwatch Institute.
- S. I. Mussatto, E. M. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food Bioprocess Technol*, 661-672.
- Sagredo Acitores, M. (2020). Recuperación de compuestos con propiedades antioxidantes a partir de residuos de la industria del café.
- Torres-Valenzuela, L. S.-G. (2020). Supramolecular solvent extraction of bioactives from coffee cherry pulp. *Food Engineering*, 35.
- UNA. (Noviembre de 2022). Obtenido de Guía práctica para el manejo de residuos orgánicos:
<https://documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/Manual%20Composteras.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
<https://documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/Manual%20Composteras.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS



Ilustración 30: Distribución de residuo de café para su secado en horno.

Fuente: Ilustración propia.



Ilustración 31: Adición de biocarbón de café a la mezcladora de hormigón. Fuente: elaboración propia.



Ilustración 32: Muestras NP desmoldadas. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 33: Ensayo de Granulometría del agregado grueso. Fuente: Ilustración propia.



Ilustración 35: Ensayo de Granulometría del agregado fino. Fuente: Ilustración propia.



Ilustración 34: Ensayo de Peso Unitario de agregado grueso. Fuente: Ilustración propia.



Ilustración 36: Ensayo de Peso Unitario de agregado fino.
Fuente: Ilustración propia.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Ponce Vélez Luis Gonzalo** con C.C: # 1315539104 y **Navia Arteaga Ricardo Paul** C.C: # 1314466119 autores del trabajo de titulación: **Evaluación del comportamiento eléctrico y mecánico del hormigón con adición de residuos de café como sustituto parcial del agregado fino** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, a los 8 días del mes de septiembre del año 2025

f.

Ponce Vélez, Luis Gonzalo

C.C: 1315539104

f.

Navia Arteaga, Ricardo Paul

C.C: 1314466119



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Evaluación del comportamiento eléctrico y mecánico del hormigón con adición de residuos de café como sustituto parcial del agregado fino		
AUTOR(ES)	Ponce Vélez, Luis Gonzalo y Navia Arteaga, Ricardo Paul		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Yépez Roca, Luis Octavio M.Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	08 de septiembre del 2025	No. PÁGINAS:	DE 67
ÁREAS TEMÁTICAS:	Resistencia de materiales, Tecnología del hormigón, Materiales de Construcción		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Hormigón, bagazo de café, biocarbon, resistividad eléctrica, resistencia a compresión, agregado fino		
<p>RESUMEN: En el presente trabajo de titulación se evaluó el comportamiento eléctrico y mecánico del hormigón con la incorporación de biocarbón de café como sustituto parcial del agregado fino, utilizando dos normativas, una propuesta por AASHTO T 358-21 conocida como método de Wenner para medir la resistividad eléctrica y la otra propuesta por ASTM C39 para medir la resistencia a compresión.</p> <p>Para la obtención del biocarbón de café se realizaron pruebas a diferentes temperaturas, y con la ayuda de estudios previos se concluyó que la temperatura óptima para la obtención del biocarbón debe ser mayor a los 300 grados centígrados.</p> <p>Para ver como incide el remplazo parcial del agregado fino por el biocarbón de café se desarrollaron 4 tipos de mezclas, una de hormigón convencional y las restantes con diferentes porcentajes de sustitución (5, 10 y 15%). Las muestras fueron ensayadas en dos fechas diferentes permitiendo observar variaciones en las propiedades del hormigón con el tiempo.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 996937166 +593 982277033	E-mail: ponce516@gmail.com ricardo.navia@outlook.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Catalina Glas Cevallos		
	Teléfono: +593 984616792		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			