



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

COMPARACIÓN DEL ENSAYO A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN SIMPLE Y
HORMIGÓN CON FIBRAS PLÁSTICAS ECOLÓGICAS

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Civil

AUTORES: ALEXANDER MAURICIO CAICEDO TILLAGUANGO

CARLOS VINICIO SERPA DUY

TUTOR: ING. NELSON EDUARDO AVILÉS DÍAZ, MSc.

Cuenca - Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Alexander Mauricio Caicedo Tillaguango con documento de identificación N° 0151211802 y Carlos Vinicio Serpa Duy con documento de identificación N° 0302743240; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 17 de julio del 2023

Atentamente,



Alexander Mauricio Caicedo Tillaguango
0151211802



Carlos Vinicio Serpa Duy
0302743240

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Alexander Mauricio Caicedo Tillaguango con documento de identificación N° 0151211802 y Carlos Vinicio Serpa Duy con documento de identificación N° 0302743240, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto de investigación: “Comparación del ensayo a compresión entre el hormigón simple y hormigón con fibras plásticas ecológicas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de julio del 2023

Atentamente,

Alexander Mauricio Caicedo Tillaguango
0151211802

Carlos Vinicio Serpa Duy
0302743240

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Nelson Eduardo Avilés Díaz con documento de identificación N° 0102007028, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: COMPARACIÓN DEL ENSAYO A COMPRESIÓN ENTRE EL HORMIGÓN SIMPLE Y HORMIGÓN CON FIBRAS PLÁSTICAS ECOLÓGICAS, realizado por Alexander Mauricio Caicedo Tillaguango con documento de identificación N° 0151211802 y por Carlos Vinicio Serpa Duy con documento de identificación N° 0302743240, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto de investigación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. Nelson Eduardo Avilés Díaz, MSc.

0102007028

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Autor: Alexander Mauricio Caicedo Tillaguango

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de graduación a toda mi familia, en particular a mis progenitores, Fausto Caicedo y Blanca Tillaguango quienes, con su cariño, comprensión y asistencia me han permitido cumplir otro anhelo y me enseñaron a tener un espíritu lleno de coraje.

Gracias a toda mi familia por sus consejos, oraciones y palabras de aliento por creer en mi y estar conmigo de una forma u otra para lograr todos mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTO

Doy agradecimientos a Dios, por dirigirme a lo largo de mi existencia, por ser mi sustento y firmeza en los instantes más difíciles.

Agradezco a mis progenitores por ser los principales promotores de mis objetivos, por tener fe en mis ambiciones, por sus recomendaciones, ética y creencias que me han transmitido a lo largo de mi existencia.

Mis sinceros agradecimientos, a los docentes de la carrera de ingeniería civil de la Universidad Politécnica Salesiana, en especial al Ing. Nelson Avilés, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión.

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Autor: Carlos Vinicio Serpa Duy

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de titulación a todos aquellos que de una u otra manera me han ayudado a llegar hasta este momento. A aquellos que me supieron brindar su apoyo desinteresado y que estuvieron en los momentos más difíciles de mi vida. A los que ya no están presentes y que desde el cielo siguen guiando mi camino para llegar a cumplir mis sueños.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana por darme la oportunidad de formar parte de esta gran institución. Agradecido con los docentes que con un afecto fraternal me han sabido compartir sus conocimientos a lo largo de este camino universitario que he recorrido. A los compañeros y amigos que se convirtieron en familia y todos aquellos que con sus palabras y actos me han impulsado a cumplir una de mis metas. A todos ellos solo me queda decir un sincero gracias.

Resumen

El presente trabajo de titulación es un estudio investigativo de la resistencia a compresión de un hormigón con sustitución parcial del árido fino por polietileno triturado, comparada con la de un hormigón simple; esta investigación busca un nuevo destino a los desechos de productos plásticos como el polietileno, evaluando su comportamiento y aporte. El reciclaje de dicho material evita que termine en lugares donde pueda ocasionar contaminación ambiental o afectar sistemas de evacuación de aguas lluvias y aguas residuales. Este material se agregó al hormigón sustituyendo parcialmente el árido fino en tres porcentajes 15%, 30% y 45%.

La mezcla se diseñó mediante el método ACI; mientras que los ensayos de laboratorio que determinan las características necesarias para el diseño del hormigón, fueron elaborados mediante los lineamientos de normativa ecuatoriana NTE INEN, la cual está basada en la norma americana denominada ASTM (American Society for Testing and Materials).

Los resultados obtenidos indican reducciones en la capacidad resistente a compresión del hormigón cuando se sustituye el árido fino con polietileno: 17% de reducción para una sustitución del 15%; 17.4% para una sustitución del 30%; 20.1% para una sustitución del 45%; con relación a la mezcla de hormigón convencional. Sin embargo, los tres casos estudiados constituyen hormigones más ligeros que el hormigón sin polietileno: 1.54 %, 4.23% y 4.73%, respectivamente.

Mediante la investigación realizada se recomienda experimentar este tipo de fibras de polietileno triturado adicionando refuerzo de acero en elementos estructurales y evaluar su comportamiento. También, hay que tener en cuenta que actualmente no contamos con datos de la desviación estándar por lo que se sugiere que se aumente en el diseño de mezcla alrededor de 8 MPa a la compresión necesaria, para que el diseño sea adecuado a los materiales de la zona. Finalmente, se debe verificar si no existen efectos negativos si este polietileno se combina con aditivos.

En este trabajo de titulación presentamos el procedimiento que se realizó para diseñar estos hormigones y los resultados obtenidos mediante el ensayo de cilindros tanto del hormigón simple, como del hormigón ecológico con fibras trituradas de polietileno. Finalmente, se evalúa el peso y la capacidad de soporte a compresión de los diferentes porcentajes de polietileno añadido y comparar estos datos con los del hormigón simple.

Palabras clave: Polietileno, hormigón, árido, ensayos, comparar.

Abstract

The present degree project is an investigative study of the compressive strength of concrete with partial substitution of fine aggregate with crushed polyethylene, compared to that of plain concrete; this research seeks a new destination for plastic waste products such as polyethylene, evaluating their behavior and contribution. The recycling of this material prevents it from ending up in places where it can cause environmental pollution or affect stormwater and wastewater evacuation systems. This material was added to the concrete, partially replacing the fine aggregate at three percentages: 15%, 30%, and 45%.

This mixture was designed using the ACI method; the laboratory tests determined the necessary characteristics for concrete design and were conducted following the guidelines of the Ecuadorian standard NTE INEN, which is based on the American standard called ASTM (American Society for Testing and Materials).

The results obtained indicated reductions in the compressive strength capacity of concrete when the fine aggregate was replaced with polyethylene: 17% reduction for a 15% substitution, 17.4% for a 30% substitution, and 20.1% for a 45% substitution, compared to the conventional concrete mix. However, all three studied cases resulted in concrete mix lighter than the traditional concrete without polyethylene: 1.54 %, 4.23% and 4.73%, respectively.

Based on the conducted research, it is recommended to experiment with this type of crushed polyethylene fibers by adding steel reinforcement for all structural elements and evaluating their behavior. Additionally, it should be noted that we currently do not have data on the standard deviation, therefore it is suggested to increase the mix design by around 8 MPa of the required compression strength, to ensure that the design is suitable for the materials in the area. Finally, it must be verified for any negative effects when this polyethylene is combined with additives.

In this degree project, we present the procedure that was carried out to design these concrete mixtures and the results obtained through cylinder testing for both plain concrete and eco-friendly concrete with crushed polyethylene fibers. Finally, the weight and compressive load-bearing capacity of the different percentages of added polyethylene were evaluated and compared with those of plain concrete.

Keywords: Polyethylene, concrete, aggregate, tests, compare.

ÍNDICE GENERAL

Resumen.....	VII
Abstract.....	IX
1. Introducción.....	1
2. Problema.....	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Importancia y alcances.....	4
2.3. Delimitación.....	5
2.3.1. Espacial o geográfica	5
2.3.2. Temporal	5
2.3.3. Sectorial o institucional.....	6
3. Objetivos.....	6
3.1. Objetivo general	6
3.2. Objetivos específicos.....	6
4. Marco teórico	6
4.1. Hormigón	6
4.2. Nuevos tipos de concretos utilizados en la construcción	7
4.2.1. Concreto liviano.....	7
4.2.2. Concreto mezclado con fibras.....	8
4.2.3. Concreto reciclado	8

4.3.	Influencia de las fibras de plástico en el hormigón.....	8
5.	Marco metodológico	9
5.1.	Características del árido grueso.....	9
5.1.1.	Origen del árido grueso.....	9
5.1.2.	Granulometría árido grueso	10
5.1.3.	Densidad, gravedad específica y absorción del árido grueso	12
5.1.3.1.	Cálculo de gravedad específica:.....	13
5.1.3.2.	Cálculo de absorción:.....	13
5.1.3.3.	Cálculo de densidad:	13
5.1.4.	Humedad del árido grueso	14
5.2.	Características del árido fino.....	14
5.2.1.	Origen árido fino.....	14
5.2.2.	Granulometría árido fino.....	15
5.2.3.	Densidad, gravedad específica y absorción del árido fino.....	16
5.2.3.1.	Cálculo de gravedad específica:	16
5.2.3.2.	Cálculo de absorción:	17
5.2.3.3.	Cálculo de densidad:.....	17
5.2.4.	Humedad del árido fino	18
5.3.	Características de cemento.....	18
5.4.	Mezcla de hormigón simple mediante el método ACI 211.1	19

5.4.1.	Asentamiento	20
5.4.2.	Elección del tamaño máximo nominal (TMN)	21
5.4.3.	Contenido de aire	22
5.4.4.	Cantidad de agua.....	22
5.4.5.	Relación a/c.....	23
5.4.6.	Contenido de cemento.....	25
5.4.7.	Contenido de agregado grueso.....	27
5.4.8.	Contenido de agregado fino	27
5.4.9.	Ajuste por humedad y absorción.....	29
5.4.10.	Elaboración de cilindros y ensayo a compresión	29
5.4.11.	Ajuste de mezcla para obtener la compresión deseada.....	30
5.5.	Polietileno.....	31
5.5.1.	Densidad del polietileno	31
5.5.2.	Granulometría del polietileno ecológico triturado	31
5.5.3.	Sustitución parcial de la cantidad de árido fino por polietileno ecológico triturado... ..	32
6.	Resultados obtenidos	32
6.1.	Árido grueso.....	32
6.1.1.	Granulometría del árido grueso	32
6.1.2.	Gravedad específica del árido grueso	35

6.1.3.	Absorción del árido grueso	35
6.1.4.	Densidad del árido grueso.....	35
6.1.5.	Humedad del árido grueso	35
6.2.	Árido fino	36
6.2.1.	Granulometría del árido fino.....	36
6.2.2.	Gravedad específica del árido fino	39
6.2.3.	Absorción del árido fino	39
6.2.4.	Densidad del árido fino.....	40
6.2.5.	Humedad del árido fino	40
6.3.	Mezcla de hormigón simple mediante el método ACI 211.1	40
6.3.1.	Asentamiento	40
6.3.2.	Elección del tamaño máximo nominal (TMN).....	41
6.3.3.	Contenido de aire	41
6.3.4.	Cantidad agua.....	42
6.3.5.	Relación a/c.....	42
6.3.6.	Contenido de cemento.....	43
6.3.7.	Contenido de agregado grueso.....	44
6.3.8.	Contenido de agregado fino	44
6.3.9.	Ajuste por humedad y absorción.....	44
6.3.10.	Ajuste de mezcla por compresión	45

6.3.11. Granulometría del polietileno ecológico triturado	46
6.3.12. Elaboración de cilindros y ensayo a compresión para hormigón simple.....	46
6.3.13. Elaboración de cilindros y ensayo a compresión para hormigón ecológico reemplazando un 15% de la arena por polietileno triturado	48
6.3.14. Elaboración de cilindros y ensayo a compresión para hormigón ecológico reemplazando un 30% de la arena por polietileno triturado	49
6.3.15. Elaboración de cilindros y ensayo a compresión para hormigón ecológico reemplazando un 45% de la arena por polietileno triturado	51
6.4. Comparación de resistencias entre hormigón simple y hormigón ecológico con polietileno triturado	53
7. Conclusiones.....	57
8. Recomendaciones.....	59
9. Referencias bibliográficas	60
10. Anexos.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cantidad mínima de árido grueso para ensayar.....	11
Tabla 2 Serie de tamices a utilizar para el ensayo de granulometría del árido grueso.....	11
Tabla 3 Cantidad mínima de árido grueso para ensayar.....	12
Tabla 4 Secuencia de tamices a utilizar para la prueba de tamaño de partícula del agregado fino (NTE INEN 872)	15
Tabla 5 Características físicas de cemento Atenas tipo GU.....	19
Tabla 6 Asentamiento de muestra de hormigón.....	21
Tabla 7 Contenido de aire para muestra de hormigón.....	22
Tabla 8 Contenido de agua para muestra de hormigón	23
Tabla 9 Aumento en caso de no tener la desviación estándar.....	24
Tabla 10 Relación a/c de la muestra de hormigón	25
Tabla 11 Clasificación de los tipos de cemento.....	26
Tabla 12 Cantidad del árido grueso.....	27
Tabla 13 Granulometría del árido grueso.....	33
Tabla 14 Granulometría del árido grueso, pasante y límites.....	34
Tabla 15 Humedad del árido grueso	36
Tabla 16 Granulometría del árido fino.....	37
Tabla 17 Granulometría del árido fino, pasante y límites.....	38
Tabla 18 Humedad del árido grueso	40
Tabla 19 Resistencia a la compresión del hormigón convencional para una relación a/c de 0.42	43
Tabla 20 Cantidad de cemento con a/c de 0.33.....	44

Tabla 21 Agua que proporcionan o necesitan los áridos.	45
Tabla 22 Resistencia a la compresión del hormigón simple para una relación a/c de 0.335 y 0.32	45
Tabla 23 Granulometría de las fibras de polietileno.....	46
Tabla 24 Cantidad de agregados utilizados para hormigón simple.....	47
Tabla 25 Peso y capacidad de soporte a la compresión para cilindros de hormigón simple	47
Tabla 26 Cantidad de agregados utilizados para hormigón ecológico reemplazando un 15% de la arena por polietileno triturado.	48
Tabla 27 Peso y resistencia a la compresión para cilindros de hormigón ecológico reemplazando un 15% de la arena por polietileno triturado.....	49
Tabla 28 Cantidad de agregados utilizados para hormigón ecológico reemplazando un 30% de la arena por polietileno triturado.....	50
Tabla 29 Peso y capacidad de soporte a la compresión para cilindros de hormigón ecológico reemplazando un 30% de la arena por polietileno triturado	51
Tabla 30 Cantidad de agregados utilizados para hormigón ecológico reemplazando un 45% de la arena por polietileno triturado.....	52
Tabla 31 Peso y resistencia a la compresión para cilindros de hormigón ecológico reemplazando un 45% de la arena por polietileno triturado.....	53
Tabla 32 Resistencia promedio a la compresión a los 28 días para hormigón simple y hormigón ecológico con polietileno triturado.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Vista aérea geográfica de la ciudad de Cuenca.....	5
<i>Figura 2</i> Fibras de polietileno	9
<i>Figura 3</i> Mapa de Cuenca y Santa Isabel.....	10
<i>Figura 4</i> Gráfico de granulometría del árido grueso	34
<i>Figura 5</i> Gráfico de granulometría del árido fino.....	39
<i>Figura 6</i> Asentamiento para hormigón simple.....	41
<i>Figura 7</i> Contenido de aire para hormigón simple.....	42
<i>Figura 8</i> Comparación de resistencias promedios a la compresión del hormigón simple y hormigón ecológico con polietileno triturado a los 28 días.....	55
<i>Figura 9</i> Comparación de resistencias normales a la compresión del hormigón ecológico con polietileno triturado a los 28 días.....	56

1. Introducción

El hormigón es utilizado en la mayoría de las obras constructivas debido a su resistencia y posibilidad de adaptarse a las diferentes formas que se necesitan en obra. Sin embargo, esta práctica genera contaminación y uso de materiales que pueden acabarse en algún momento, si bien existen en abundancia en la actualidad, en un futuro por la sobreexplotación estos podrían escasear, por lo que se busca investigar nuevas técnicas para reducir efectos adversos al medio ambiente y poder tener por más tiempo estos materiales.

El árido fino es uno de los más utilizados en la construcción tanto para morteros como hormigones, así mismo cabe mencionar que este no es un elemento ilimitado, por lo que es necesario tener un manejo sostenible de este material que se extrae de los ríos cercanos a nuestra ciudad. El impacto que tiene la extracción de este material es mayor cuando no existe una remediación ambiental, o se pasan por alto los controles necesarios para que los ríos no se vean afectados por esta práctica.

El plástico es un material que en los últimos años ha venido siendo el protagonista de los procesos de reciclaje, porque al realizar esta actividad estamos evitando la contaminación del ambiente y en las ciudades el taponamiento de los sistemas de alcantarillado, ya que la mayoría de estos desechos terminan siendo arrastrados por las lluvias o depositados directamente en las entradas del sistema de alcantarillado, posteriormente en algunos lugares se inunda y los entes encargados del mantenimiento tienen que invertir recursos para habilitar nuevamente el sistema.

Los procesos de construcción buscan nuevas alternativas para reducir la contaminación que generan, por lo que se propone investigar sobre el diseño de nuevos hormigones que puedan desempeñar su trabajo y reduzcan la afectación que tienen estos al medio ambiente. En el presente

trabajo de titulación presentamos la investigación del comportamiento a compresión de un hormigón al cual se le ha añadido polietileno triturado y compararlo con un hormigón simple, para así analizar los resultados de este ensayo.

2. Problema

Los efectos ambientales del plástico son muy agresivos, debido a su lenta descomposición y estructura química. La contaminación plástica se ha transformado en una de las problemáticas ecológicas más apremiantes de nuestro tiempo debido a los factores ya mencionados. Además, la producción y quema de plástico afecta en gran medida al cambio climático, por consecuencia en el presente trabajo de titulación se pretende encontrar un nuevo destino para estos desechos. Se investigará el comportamiento a compresión entre un hormigón mezclado con fibra plásticas ecológicas de polietileno triturado y hormigón simple, con la finalidad de investigar si se puede reutilizar este material en la mezcla de hormigón.

2.1. Antecedentes

La relación entre las fibras para el hormigón y la construcción en general pueden considerarse tan antiguos como el propio hormigón. Antiguos hallazgos de viviendas que datan del año 2500 a.C. pertenecientes a la civilización mesopotámica, estaban hechos de una mezcla de arcilla con paja utilizada como armadura estructural. Otros métodos que también utilizaban este sistema son la fabricación de ladrillos de arcilla o barro, en donde se añadía la paja como aglutinante, esto se ha practicado desde la época de los antiguos egipcios. No solo esta civilización realizó esta práctica, sino que las civilizaciones Inca y Maya añadieron fibras vegetales a su cerámica para evitar que se agrietara durante la fase de secado. (Pattarini, 2023)

La forma original del hormigón como lo conocemos hoy en día se remonta al "opus caementicium": una técnica de construcción utilizada por los antiguos romanos desde muchos años

atrás, basada en el uso del hidróxido de calcio en la producción de mortero, que luego actúa como viscosa al introducir ceniza volcánica en la mezcla. Desde esta invención, se han añadido al hormigón elementos fibrosos para mejorar su calidad y evitar la formación de grietas y fisuras. Se pueden encontrar ejemplos de hormigón y mampostería con "fibra" añadida en varias obras: las llamadas fibras suelen estar hechas de materiales de desecho como: paja, fibra de madera, pelo de cerdo, vaca o caballo. Sorprendentemente, la adición de pelo animal o fibras vegetales al mortero y al yeso existe desde hace siglos e incluso aún se practicó hasta principios del siglo XX. (Pattarini, 2023)

En las últimas décadas, existe una creciente necesidad de innovación continua en el desarrollo de la construcción sostenible, con el objetivo de crear un nuevo tipo de hormigón que genere mayor resistencia utilizando materiales reciclados como fibras poliméricas, PET que son obtenidas de botellas comunes de líquidos consumibles, polietileno y polipropileno utilizados en asientos de buses, herramientas, entre otros. De esta forma, no solo se trata de ofrecer mejores productos, sino también reducir el impacto de la destrucción ambiental que producen los materiales anteriormente mencionados. (Lugo & Torres, 2019)

Según la investigación realizada por Quispe y Taype en 2022, en donde los resultados más importantes se obtuvieron cuando el hormigón tenía un curado de 28 días y la adición de fibras PET fue del 2%, se dedujo que la cantidad adecuada de fibras PET era la mencionada, se concluye que la dosis añadida de fibras de polipropileno produjo resultados positivos y mejoró el desempeño del concreto. (Quispe & Taype, 2022)

En un estudio llevado a cabo por la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Libre de Colombia, en donde se añadió polietileno de alta densidad en forma de lentejas a la mezcla de hormigón de 28 Mpa, se concluyó que esta mantenía su resistencia hasta tener un 3% de este

material. Sin embargo, al aumentar el porcentaje de polietileno hasta un 10% se llegó a obtener una disminución del 20% de la resistencia y un aligeramiento de un 4%. (Gutiérrez, Jaramillo, & Ocampo, 2019)

2.2. Importancia y alcances

En la investigación realizada por Loayza para las Naciones Unidas, nos menciona que la conciencia ambiental de las personas cada vez es mayor, por lo que se crean nuevas formas de darle un rehusó a lo que muchos consideramos “basura”, es así como el reciclaje se ha convertido en la fuente de sustento de 20.000 personas alrededor de nuestro país. (Loayza, 2021)

Uno de los materiales que más se recicla es el plástico; sin embargo, según la Secretaria Productiva de Desarrollo, solo se recicló el 12,2% de 528.000 toneladas generadas en el año 2019 en nuestro país, por lo cual se busca darles un nuevo uso a estos plásticos y que no acaben contaminando ríos, alcantarillas u otros elementos del medio ambiente. Este material podría reducir la cantidad de arena que se extrae de los ríos, generando que este recurso natural, utilizado en la construcción, pueda expandir su vida útil de explotación y que los estragos de la minería disminuyan. (Secretaría de Desarrollo Productivo, 2021)

El presente proyecto de investigación se basará en la comparación del ensayo a compresión entre el hormigón convencional y hormigón ecológico con polietileno triturado donde, este último tendrá una sustitución de: 15, 30 y 45% de arena por polietileno triturado.

2.3. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

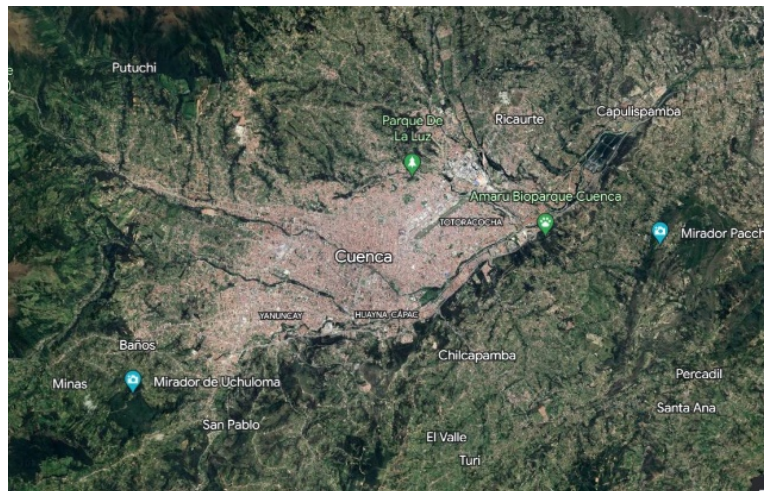
2.3.1. Espacial o geográfica

Este estudio se realizará en Cuenca, cantón perteneciente a la provincia del Azuay.

A continuación, en la siguiente Figura 1 se muestra la vista aérea de la ciudad.

Figura 1

Vista aérea geográfica de la ciudad de Cuenca



Nota. La gráfica muestra en donde se ubica la ciudad en la que desarrolla el estudio del proyecto.

Fuente: (Google Earth, 2023).

2.3.2. Temporal

El presente trabajo se realizará en el periodo 62 que corresponde a los meses marzo a julio del año 2023.

2.3.3. Sectorial o institucional

Para la realización del trabajo de titulación se utilizó los laboratorios pertenecientes al área de Ingeniería Civil de la Universidad Politécnica Salesiana de la sede Cuenca, en el campus El Vecino.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Comparar el ensayo a compresión entre el hormigón simple y hormigón con fibras plásticas ecológicas (Polietileno).

3.2. Objetivos específicos

- Establecer los parámetros iniciales para la mezcla de hormigón simple y hormigón con fibras plásticas ecológicas.
- Fabricar probetas de hormigón mezclado con fibras plásticas ecológicas y hormigón simple para el ensayo a compresión.
- Evaluar los resultados obtenidos del ensayo a compresión de hormigón mezclado con fibras plásticas ecológicas y el hormigón simple.

4. Marco teórico

4.1. Hormigón

El hormigón o concreto es un compuesto, el cual se obtiene mezclando adecuadamente cuatro elementos principales: grava, arena, cemento y agua. (Ferrovial, 2023)

Las propiedades del hormigón o concreto están determinadas principalmente por la calidad y proporciones de los componentes de la mezcla, así como por las condiciones de humedad y temperatura durante los procesos de producción y curado. Para obtener características específicas

del concreto (más facilidad de manejo, mayor resistencia, menor densidad, etc.), se pueden incluir otros elementos, como aditivos químicos, sílice en forma microscópica, fragmentos de hierro, entre otros, o sustituir los elementos principales por agregados ligeros o pesados. El concreto ha alcanzado una excelente capacidad de ser trabajado como material estructural porque, cuando está recién hecho puede ajustarse de manera fácil a un sinnúmero de formas debido a su textura plástica. (Ferrovial, 2023)

De manera similar a ciertas rocas naturales, el hormigón también es un componente que tolera la presión, pero es fuertemente frágil y vulnerable a los esfuerzos de estiramiento. Para hacer valer las ventajas y superar las restricciones, el concreto se usa en estructuras combinadas con varillas de acero que resisten la tensión, esta mezcla se conoce como concreto reforzado. (Ferrovial, 2023)

4.2. Nuevos tipos de concretos utilizados en la construcción

Los hormigones o concretos avanzados están siendo utilizados en esta nueva era de la construcción debido, a que sus características se adecuan a las necesidades del constructor. Su mayor resistencia y durabilidad inherentes los convierten en un material ideal para múltiples usos. Algunos de estos hormigones se describen a continuación:

4.2.1. *Concreto liviano*

La característica principal es su baja densidad, se logra ventilando la matriz de hormigón o reemplazando el árido por materiales livianos como: goma, corcho, entre otros. (Mendieta, 2016)

4.2.2. Concreto mezclado con fibras

El fibrocemento, en cambio, se puede describir como un material formado por cemento de Portland, agregados (rocas y arena), agua y fibras, que son elementos de refuerzo que alteran sus características mecánicas para permitir que, a diferencia del concreto convencional, pueda soportar deformaciones más grandes sin perder su capacidad de carga. Esto resulta en una mayor durabilidad, es decir, una mayor capacidad de resistencia residual, que se puede medir mediante la absorción de energía. (Mendieta, 2016)

4.2.3. Concreto reciclado

Está hecho con agregado grueso reutilizado proveniente de la trituración de desechos de concreto, la cantidad de agregado grueso reciclado está restringida al 20% en peso del agregado grueso total (características correspondientes al concreto convencional). Puede ser utilizado en concreto simple y concreto liviano. No se puede utilizar en concreto prees forzado. (Mendieta, 2016)

4.3. Influencia de las fibras de plástico en el hormigón

Según (Mendoza, Carlos, & Paula, 2011) los principales beneficios de incluir fibras artificiales son mejorar la fuerza y la resistencia al golpe en estado endurecido junto con el manejo de la deformación plástica en estado fresco. Adicionalmente, impide la formación de fisuras a lo largo de la duración efectiva de la construcción y mejora la capacidad de resistir la fatiga. En años recientes, se han llevado a cabo múltiples investigaciones para analizar las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de polipropileno, en las cuales la cantidad de fibras ha oscilado desde el 0,1 hasta el 10% del total de volumen.

Figura 2

Fibras de polietileno



Nota: En la imagen se observa un ejemplo de fibras de polietileno usadas para la fabricación de hormigón. Fuente: (EMARESA, 2018)

5. Marco metodológico

5.1. Características del árido grueso

5.1.1. Origen del árido grueso

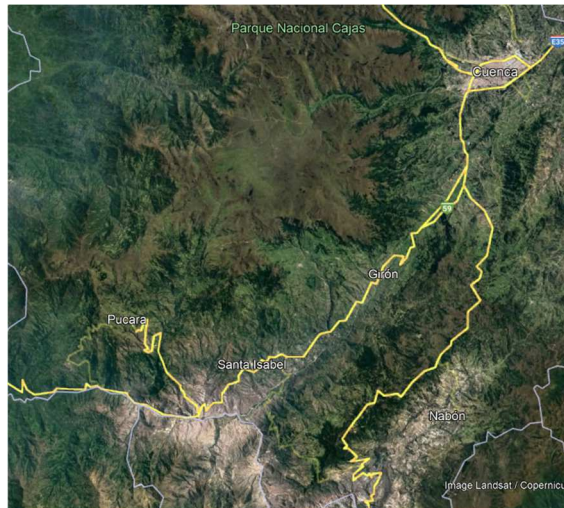
Los áridos son un elemento indispensable para realizar mezclas de hormigón por lo que se debe determinar ciertas características que varían según su origen, cabe mencionar que estos se obtienen en los ríos o canteras capaces de proporcionar cantidades de material, para luego ser transportado a empresas dedicadas a la trituración de estos. No todos los ríos o canteras son aptos para realizar la extracción de rocas que se destinarán para ser áridos, por lo que las principales empresas dedicadas a proporcionar este material de la provincia del Azuay se han asentado los lugares cercanos a Paute y San Isabel.

El árido grueso se adquirió en el depósito de materiales de la ASOCIACIÓN DE VOLQUETEROS UNIDOS DEL AZUAY, ubicada en la Av. De Las Américas (entrada a Quinta Chica Baja). Este lugar almacena y transporta sus áridos desde el cantón Santa Isabel, el cual se encuentra a 1 h 25 min. de la ciudad de Cuenca, este lugar se caracteriza por proporcionar áridos

de buena calidad a las diferentes ferreterías y depósitos de nuestra ciudad. Como dato adicional podemos mencionar que este árido es triturado y mezclado para obtener una buena gradación.

Figura 3

Mapa de Cuenca y Santa Isabel



Nota: La imagen muestra la ubicación geográfica del Cantón Santa Isabel y Cuenca. Fuente: (Google Earth, 2023).

5.1.2. Granulometría árido grueso

La granulometría de un árido es la cantidad de partículas de un cierto tamaño que posee una muestra, estos tamaños se miden mediante cuanto retenido queda en los tamices normados según la NTE INEN 696, por lo cual se realiza este ensayo para determinar estas cantidades y evaluar si es bien gradado o no, igualmente mediante los límites que establece la normativa NTE INEN 872.

Para determinar la granulometría del árido grueso se realiza el ensayo con el documento 696 de la NTE INEN (Instituto de Normalización Ecuatoriana), el cual nos presenta una tabla con la mínima cantidad de muestra por tamaño máximo nominal mostrada a continuación:

Tabla 1*Cantidad mínima de árido grueso para ensayar*

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas).	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

Nota: En la tabla 1, obtenida del NTE INEN 696, se muestran las cantidades mínimas de árido grueso que se necesita ensayar por tamaño máximo nominal. Fuente: (NTE INEN 696, 2011).

Tabla 2*Serie de tamices a utilizar para el ensayo de granulometría del árido grueso*

TAMIZ	
ASTM (in)	INEN (mm)
1"	25.4
3/4"	19.1
1/2"	12.7
3/8"	9.5
4	4.75
8	2.38

Nota: En la tabla 2, se muestran la serie de tamices a utilizar para la granulometría del árido grueso según las normas NTE INEN. Fuente: (NTE INEN 872, 2011).

5.1.3. Densidad, gravedad específica y absorción del árido grueso

Ensayo realizado mediante la norma NTE INEN 857, la cual nos indica el procedimiento para realizar el ensayo y determinar las características del material. La muestra debe estar en estado saturado superficialmente seco (SSS), para obtener este estado la muestra debe permanecer 24 ± 2 h sumergida, de modo que los poros se llenen de agua y la muestra alcance una masa constante, luego sacar esta superficialmente para determinar sus pesos en estado SSS, luego se toma el peso del agregado grueso en agua mediante el ensayo de la canastilla según la normativa NTE INEN 857, finalmente se toma el peso seco del agregado.

Tabla 3

Cantidad mínima de árido grueso para ensayar

Tamaño máximo nominal, mm	Masa mínima de la muestra para ensayo, kg
12,5 o menor	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

Nota: La tabla 3 determina la cantidad mínima de árido grueso a ensayar dependiendo del tamaño máximo nominal en mm Fuente: (NTE INEN 857, 2010).

Para determinar los valores se utilizan las fórmulas proporcionadas por la normativa, la cuales se presentan a continuación:

5.1.3.1. Cálculo de gravedad específica:

$$\text{Densidad Relativa (gravedad específica)} = \frac{A}{(B-C)} \quad (1)$$

Donde:

A= masa en aire de la muestra seca al horno, g

B= masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, g

C= masa aparente en agua de la muestra saturada, g

5.1.3.2. Cálculo de absorción:

$$\text{Absorción \%} = \frac{(B-A)}{A} * 100 \quad (2)$$

5.1.3.3. Cálculo de densidad:

Para determinar las densidades del material, se lo realizó con la norma 858 de la NTE INEN, mediante una olla con un volumen conocido, llenando el recipiente con la muestra en tres capas y cada una con 25 golpes, esto para determinar densidad compacta y sin golpes ni capas para la suelta, luego se obtiene la masa que existe en el recipiente a fin de utilizar la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3)$$

Donde:

ρ = densidad, kg/m³

m= masa de la muestra, kg

v= volumen, m³

5.1.4. Humedad del árido grueso

Los áridos son almacenados en algunos casos a la intemperie dando como resultado un contenido de humedad variable, incluso al ser almacenados en bodegas estos tienden a ir perdiendo agua por lo que, para realizar las correcciones de agua en el diseño de mezcla se debe determinar al momento de la fundición. Para el procedimiento se debe tomar los pesos de la muestra en estado natural, luego secarla hasta tener una masa constante y de igual forma determinar esta masa. Esto se obtiene con la norma 862 de la NTE INEN que detalla, como en anteriores ensayos, las fórmulas respectivas para el cálculo.

$$P = \frac{100(W-D)}{D} \quad (4)$$

Donde:

P= contenido de humedad, %

W= masa de la muestra original, g

D= masa de la muestra seca, g

5.2. Características del árido fino

5.2.1. Origen árido fino

El agregado fino se adquirió en el depósito de materiales de la ASOCIACIÓN DE VOLQUETEROS UNIDOS DEL AZUAY. Este depósito es el mismo que se describió en el apartado del árido grueso, siendo el río Jubones el que proporciona este material que es traído a nuestra ciudad mediante volquetas.

5.2.2. Granulometría árido fino

Para establecer la granulometría del árido fino se siguió la normativa NTE INEN 696, en donde indica que se debe tomar una muestra en estado seco y esta debe tener como mínimo 300 g para luego tamizar mediante vibración durante 3 min. En la tabla 4 se presentan los tamices que establece la norma para este ensayo.

Tabla 4

Secuencia de tamices a utilizar para la prueba de tamaño de partícula del agregado fino (NTE INEN 872)

TAMIZ
NTE INEN
9.5 mm
4.75 mm
2.36 mm
1.18 mm
600 μm
300 μm
150 μm
FONDO

Nota: En la tabla 4, obtenida del NTE INEN se muestran una serie de tamices seleccionado que mediante vibración se determina el retenido de cada tamiz mediante una balanza. Fuente: (NTE INEN 872, 2011).

5.2.3. *Densidad, gravedad específica y absorción del árido fino*

Ensayo llevado a cabo siguiendo la normativa NTE INEN 856, que describe el procedimiento para realizar el ensayo y determinar la densidad y gravedad específica del árido fino. La muestra debe consistir en 500 ± 10 g de árido fino saturado superficialmente seco, que será sometido a ensayo utilizando un picnómetro siguiendo los pasos establecidos en la normativa. Para determinar esta característica, es necesario conocer el peso del picnómetro, el peso del recipiente lleno (picnómetro) hasta la seña de calibración con agua a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ y el peso del picnómetro con la muestra más agua hasta la marca de calibración. Una vez obtenidos estos datos se procede al cálculo de las siguientes características del árido. (INEN, 2011)

Para el cálculo de las características del árido se utilizará el procedimiento gravimétrico como se lo señala en la normativa NTE INEN 856.

5.2.3.1. Cálculo de gravedad específica:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{A}{(B+S-C)} \quad (5)$$

Donde:

A= masa en aire de la muestra seca al horno, g

B= masa en aire de la muestra saturada superiormente seca, g

C= masa aparente en agua de la muestra saturada, g

S = masa de muestra completamente seca (utilizada en el método gravimétrico, para calcular la densidad y la densidad relativa (gravedad específica) o para calcular la absorción).

5.2.3.2.Cálculo de absorción:

$$\text{Absorción \%} = \frac{(S-A)}{(A)} \quad (6)$$

Donde:

A= masa en aire de la muestra seca al horno, g

B= masa en aire de la muestra saturada superiormente seca, g

C= masa aparente en agua de la muestra saturada, g

S = masa de muestra completamente seca (utilizada en el método gravimétrico, para calcular la densidad y la densidad relativa (gravedad específica) o para calcular la absorción), g

5.2.3.3.Cálculo de densidad:

Para determinar las densidades del material, este procedimiento se lo ejecuta acorde la normativa 858 de la NTE INEN, mediante un recipiente con un volumen conocido, se lo llena con la muestra en tres estratos y se debe realizar 25 impactos por estrato en el caso de la densidad compacta y sin impactos ni estratos para la densidad suelta. Luego se determina la masa que existe en los recipientes para utilizar la siguiente fórmula que ha sido simplificada:

$$p = \frac{(m)}{(v)} \quad (7)$$

Donde:

p = densidad, kg/m³

m = masa de la muestra, kg

v = volumen, m³

5.2.4. Humedad del árido fino

Para el procedimiento de humedad del agregado fino se lo ejecuta igual al procedimiento indicado en el literal 5.1.4. (humedad del árido grueso), así como también lo indica la normativa 862 de la NTE INEN, donde utiliza la siguiente formulación para el cálculo de humedad:

$$P = \frac{100(W-D)}{D} \quad (8)$$

Donde:

P= contenido de humedad, %

W= masa de la muestra original, g

D= masa de la muestra seca, g

5.3. Características de cemento

Para la elaboración del presente trabajo se adquirió el cemento Atenas tipo GU en base a la normativa 2380 de la NTE INEN, donde este material de construcción presenta las siguientes propiedades físicas que se detallan en la tabla 5:

Tabla 5*Características físicas de cemento Atenas tipo GU*

Parámetro	Método	Unidad	Resultado%
Finura	NTE 196	cm ² /g	4364.40
Retenido	NTE 957		3.9
Cambio de longitud en autoclave, máx.	NTE 200	%	-0.05
Fraguado inicial, mín.	NTE 158	minutos	251
Fraguado final, máx.	NTE 158		303
Contenido de aire en mortero, máx.	NTE 195	%	7.50
Expansión en barra de mortero, máx.	NTE 2529	%	0.011
Densidad	NTE 156	g/cm ³	2.90

Nota: En la tabla 5 se muestra las diferentes características del cemento Atenas tipo GU según sus componentes. Fuente: (Atenas, 2021).

5.4. Mezcla de hormigón simple mediante el método ACI 211.1

La mezcla de hormigón consiste en varios componentes que se unen para formar una mezcla capaz de adaptarse a las distintas formas en donde es colocada, esta característica ha hecho que tengamos varias construcciones con formas arquitectónicas agradables a la vista y junto con su resistencia a la compresión ha hecho que este material se posicione en el área de la construcción durante muchos años.

Para realizar esta mezcla son necesarios tres principales materiales como son: cemento Portland, agregados y agua, en algunos casos cuando se requiere ciertas características como un

fraguado rápido o una plastificación del hormigón, a la mezcla se le añade un aditivo que va a reaccionar con esta adaptándose a nuestras necesidades.

Para determinar las cantidades de los materiales se deben utilizar metodologías que garanticen que esta mezcla será capaz de soportar la compresión en base al tipo de uso se le va a dar, por lo cual el ACI (American Concrete Institute), nos propone ciertos pasos que se detallan en los siguientes apartados:

5.4.1. Asentamiento

El asentamiento es necesario para verificar la trabajabilidad y así tenga la capacidad de adaptarse de tal manera, que se adecue a las diferentes formas en donde el hormigón debe ingresar sin tener segregación de material o quedar vacíos debido a que la mezcla es poco trabajable para fluir por estos espacios. Esta característica se mide mediante el ensayo del cono de Abrams, el cual nos da una idea del flujo de la mezcla y como será de trabajable en obra, en algunos casos es necesario tener asentamientos muy grandes, lo que se vería como un hormigón fluido facilitando el transporte mediante las tuberías que bombean hacia distintas alturas.

Tabla 6*Asentamiento de muestra de hormigón*

Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes y tamaños máximos nominales del agregado								
Trabajabilidad	Tamaño máximo del árido (mm)							
Cm	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150
Concreto sin aire incluido								
2,5—5	207	199	190	179	166	154	130	113
7,5—10	228	216	205	193	181	169	145	124
15—17,5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cant. De aire en un concreto sin aire	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Concreto con aire incluido								
2,5—5	181	175	168	160	145	140	135	107
7,5—10	202	193	184	175	160	155	150	119
15—17,5	216	205	197	184	174	166	154	-
Cant. De aire total promedio recomendado (%)								
Exposición leve	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5*	1,0*
Exposición moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5*	3,0*
Exposición severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5*	4,0*

Nota: En la tabla 6, se visualiza el asentamiento que debe tener la muestra de hormigón dependiendo de sus características. Fuente: compilada de (ACI 211.1, 2019).

5.4.2. Elección del tamaño máximo nominal (TMN)

El TMN se lo debe determinar con un análisis de la obra que se va a realizar debido a que si existe un espacio muy pequeño el hormigón sufrirá segregación, ya que el árido no podrá pasar derivando en un hormigón de mala calidad, este es el caso del espacio entre varillas de refuerzo o recubrimientos.

El ACI recomienda que el TMN en los agregados no sea mayor que 1/5 del espesor mínimo de la estructura de hormigón que se va a construir con este material, así garantizamos que no exista segregación del material aumentando la probabilidad de falla. También el TMN no tiene que exceder el 3/4 del espacio libre entre barras de refuerzo. Otra consideración, es que el TMN no debe ser mayor que el 1/3 del espesor del elemento losa en caso de estar construyendo una de estas. (ACI 211.1, 2019)

5.4.3. Contenido de aire

El aire es la cifra de vacíos que existe en la mezcla de hormigón, esta característica ayuda a que el hormigón pueda resistir congelación y descongelación debido a la temperatura, se mide en volumen. El ACI recomienda que la cantidad de aire en el concreto esté entre el 1,5 y 6,5% y en condiciones extremas de congelación se utiliza incursores de aire.

Para establecer el porcentaje se procede a seleccionar en la tabla 7 que nos proporciona el ACI en base al TMN del árido grueso.

Tabla 7

Contenido de aire para muestra de hormigón

AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA LOS SIGUIENTES GRADOS DE EXPOSICIÓN		
PULGADAS	mm		SUAVE	MEDIANO	SEVERO
3/8	9,51	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,50	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19,10	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25,40	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38,10	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	5,0
3	76,1	0,3	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

Nota: En la tabla 7, se muestra la cantidad promedio en porcentaje aproximado de aire atrapado para diferentes casos a los que este expuesto la muestra de hormigón. Fuente: copilada de (ACI 211.1, 2019).

5.4.4. Cantidad de agua

El agua sirve para activar una reacción química en el cemento y darle una mejor trabajabilidad. Este componente está relacionado directamente con la resistencia del hormigón,

por ejemplo, los hormigones de alta resistencia tienen una poca trabajabilidad, por eso se utiliza aditivos, y una cantidad muy baja de agua lo que permite tener una capacidad de soporte más alta.

Para determinar la proporción de agua en la mezcla, el ACI proporciona una tabla en base a: la trabajabilidad que proporciona el asentamiento, si tiene aire incluido y el Tamaño Máximo del agregado designa una dotación específica.

Tabla 8

Contenido de agua para muestra de hormigón

Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes y tamaños máximos nominales del agregado									
Trabajabilidad	Tamaño máximo del árido (mm)								
Cm	9,5	12,5	19	25	37,5	50	75	150	
Concreto sin aire incluido									
2,5—5	207	199	190	179	166	154	130	113	
7,5—10	228	216	205	193	181	169	145	124	
15--17,5	243	228	216	202	190	178	160	-	
Cant. De aire en un concreto sin aire	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2	
Concreto con aire incluido									
2,5—5	181	175	168	160	145	140	135	107	
7,5—10	202	193	184	175	160	155	150	119	
15--17,5	216	205	197	184	174	166	154	-	
Cant. De aire total promedio recomendado (%)									
Exposición leve	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5*	1,0*	
Exposición moderada	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,5*	3,0*	
Exposición severa	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,5*	4,0*	

Nota: En la tabla 8, se presentan los requerimientos aproximados de agua de mezcla y porcentaje de aire para distintos tamaños máximos nominales del agregado. Fuente: compilada de (ACI 211.1, 2019).

5.4.5. Relación a/c

El factor a/c es cuanto cemento se tiene con relación a la proporción de agua que se designó en el punto anterior, para luego determinar la cantidad del primer material mencionado en este

apartado. Esta relación influye en la resistencia del hormigón porque al tener un a/c más alto la resistencia disminuye y si tenemos un a/c pequeño la resistencia aumenta, esto se debe a que en el primer caso la cantidad de agua es mayor a la del cemento y viceversa en el segundo caso.

Para determinar este punto es necesario designar una resistencia a la compresión, para que en la tabla 9 se incremente un porcentaje, en caso de que el laboratorio no posea la desviación estándar, para realizar hormigones. Luego en la tabla se asume un valor de resistencia, según los datos anteriormente mencionados, con la suma respectiva de acuerdo a la resistencia deseada.

Tabla 9

Aumento en caso de no tener la desviación estándar

Resistencia a la compresión específica, f'c, MPa.	Resistencia promedio a la compresión requerida, f'c, MPa.
Menos de 20	f'c + 7,0
De 20 a 35	f'c + 8,4
Sobre 35	f'c + 10,0

Nota: En la tabla 9, se observa la resistencia promedio a la compresión requerida de la muestra de hormigón dependiendo de la resistencia especificada que se requiera. Fuente: (ACI 211.1, 2019).

Tabla 10

Relación a/c de la muestra de hormigón

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS		CONCRETO SIN INCLUSOR DE AIRE (RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO)	CONCRETO CON INCLUSOR DE AIRE (RELACIÓN ABSOLUTA POR PESO)
Kg/cm ²	PSI		
175	2500	0,65	0,56
210	3000	0,58	0,50
245	3500	0,52	0,46
280	4000	0,47	0,42
315	4500	0,43	0,38
350	5000	0,40	0,35

Nota: En la tabla 10, se muestra la relación agua/cemento que va a tener nuestro hormigón dependiendo de: la resistencia y el inductor de aire. Cabe recalcar que se la resistencia del hormigón es a los 28 días. Fuente: compilada de (ACI 211.1, 2019).

5.4.6. Contenido de cemento

Este componente es el material más importante de la mezcla porque gracias a este, el hormigón adquiere sus características mecánicas que lo hacen capaz de soportar las diferentes fuerzas a las que está expuesto, formando junto con los agregados y el agua un solo cuerpo que se adapta a las diferentes formas y que en condiciones normales alcanza su máxima resistencia a los 28 días.

El cemento es un material que a lo largo de los años ha ido evolucionado hasta hoy en día que contamos con varios tipos según sea nuestra necesidad. La normativa NTE INEN 2380 nos presenta la siguiente tabla de clasificación:

Tabla 11*Clasificación de los tipos de cemento*

Tipo de cemento	Norma de ensayo aplicable	GU	HE	MS	HS	MH	LH
Finura	INEN 196	A	A	A	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave, % máximo	INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Tiempo de fraguado, método de Vicat ^b	INEN 158						
Inicial, no menos de, minutos		45	45	45	45	45	45
Inicial, no más de, minutos		420	420	420	420	420	420
Contenido de aire del mortero, en volumen, %	INEN 195	C	C	C	C	C	C
Resistencia a la compresión, MPa, mínimo ^d	INEN 488						
1 día		--	12	--	--	--	--
3 días		13	24	11	11	5	--
7 días		20	--	18	18	11	11
28 días		28	--	--	25	--	21
Calor de hidratación	INEN 199						
7 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		--	--	--	--	290 (70)	250 (60)
28 días, kJ/kg (kcal/kg), máximo		--	--	--	--	--	290 (70)
Expansión en barra de mortero	INEN 2 529						
14 días, % máximo		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Expansión por sulfatos (resistencia a sulfatos) ^e	INEN 2 503						
6 meses, % máximo		--	--	0,10	0,05	--	--
1 año, % máximo		--	--	--	0,10	--	--

Nota: En la presente tabla 11, se presentan varios cementos y sus características principales.

Fuente: (NTE INEN 2380, 2011).

Para mezclas normales se utiliza el cemento Tipo GU que es de uso general en las diferentes construcciones. Mediante el método ACI esta se calcula con la cantidad de agua determinada anteriormente y con la siguiente fórmula:

$$c = \frac{a}{a/c} \quad (9)$$

Donde:

a= agua, kg/m³

c= cantidad de cemento, kg/m³

a/c = relación agua/cemento

5.4.7. Contenido de agregado grueso

El árido grueso, casi en su totalidad de casos, es triturado mediante máquinas que modifican su tamaño hasta tener una gradación específica que sea adecuada, para utilizarla en hormigones, este material es de origen natural y se debe determinar sus características físicas mediante ensayos de laboratorio como lo mencionamos en el punto 5.1, para así designar una cantidad de árido en la mezcla de hormigón mediante el módulo granulométrico del árido fino y el Tamaño Máximo Nominal. Si el módulo granulométrico no es exactamente a lo mencionado en la tabla 12 se determina mediante una interpolación lineal.

Tabla 12

Cantidad del árido grueso

MÁXIMO TAMAÑO NOMINAL DE AGREGADOS		VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO SECADO EN EL HORNO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES MÓDULOS DE FINURA DE AGREGADO FINO			
		MÓDULO DE FINURA			
PULGADAS	mm	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8	9,51	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2	12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	19,1	0,66	0,64	0,62	0,60
1	25,4	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	38,1	0,75	0,73	0,71	0,69
2	50,8	0,78	0,76	0,74	0,72
3	76,1	0,82	0,80	0,78	0,76
6	152,4	0,87	0,85	0,83	0,81

Nota: La tabla 12, nos proporciona valores para la cantidad de árido grueso. Fuente: copilada de (ACI 211.1, 2019).

5.4.8. Contenido de agregado fino

El árido fino es el componente que se calcula al último, esto no quiere decir que tenga menor importancia que los demás materiales, sino que mediante la metodología propuesta por el

ACI se la determina en esta posición. La arena es por lo general de origen natural de los ríos o canteras, en nuestro caso para la ciudad de Cuenca la mayoría de áridos provienen del río Jubones en Santa Isabel y del río Paute.

Este material crea un impacto ambiental irreversible, porque al ser un recurso no renovable existe la posibilidad que en un futuro se termine o escasee, por lo que tenemos que buscar alternativas para alargar la vida útil de este material. La ONU (2022) menciona que el consumo de arena en el área de la construcción se ha triplicado en las dos últimas décadas, por lo que produciría erosión, pérdida de especies animales, inundaciones entre otras desgracias, debido a estas consecuencias es importante buscar nuevas formas de construcción. (ONU, 2022)

Para determinar el cálculo de este material se debe tener todas las cantidades anteriores en volumen para un metro cúbico de mezcla, por lo que utilizamos las densidades de los diferentes componentes para adecuarlos. El porcentaje de arena dependerá de la cantidad en volumen que ocupen los demás componentes y se calcula con la siguiente fórmula:

$$V_a = 1 - (V_c + V_a + V_{ae} + V_{ag}) \quad (10)$$

Donde:

V_a = árido fino, volumen

V_c = cemento, volumen

V_a = agua, volumen

V_{ae} =aire, volumen

V_{ag} = árido grueso, volumen

5.4.9. Ajuste por humedad y absorción

La humedad y absorción nos proporciona cuánta agua poseen los áridos, como mencionamos anteriormente tenemos una relación a/c que está relacionada directamente con el agua y a su vez con la resistencia por lo que si existe una cantidad mayor o menor de este líquido podría afectar a la relación dando como resultado una menor capacidad de soporte. Para evitar esta variación tenemos que corregir la cantidad de agua ya sea en déficit o en exceso, para esto debemos determinarla con la fórmula:

$$A = M(H \pm Abs) \quad (11)$$

Donde:

A= agua en exceso o defecto respecto a la condición SSS

M= peso de la muestra seca en kg

H= humedad del agregado en tanto por uno

Abs= absorción del agregado en tanto por uno

5.4.10. Elaboración de cilindros y ensayo a compresión

Según (National Ready Mixed Concrete Association, 2023), la capacidad de soporte a la compresión se evalúa para garantizar que el concreto de un proyecto determinado cumpla con los requerimientos de control y calidad, la NTE INEN 1576 indica que se debe realizar cilindros de hormigón de 10 x 20 cm o 15 x 30 cm. Se recomienda elaborar de 2 a 6 cilindros de hormigón. A continuación, se presenta el procedimiento a practicar para la elaboración de cilindros:

1. Ubicar los cilindros en un terreno nivelado o plano.

2. Se determina el número de capas que se pondrán en el cilindro, para la compactación con varilla, se procede a seleccionar un número de tres o dos capas iguales y para compactación con vibrador dos capas iguales.
3. Se coloca el concreto en el modelo cilíndrico teniendo en cuenta el número de capas, por cada capa se deberá apisonar el hormigón 25 veces con la varilla, tal que estas estén uniformemente distribuidas, en el caso de utilizar el vibrador se lo introducirá en cada capa de hormigón hasta que se empareje la superficie y no aparezcan burbujas de aire.
4. Después del proceso de compactación se procede a golpear los costados del molde cilíndrico de diez a quince veces con un mazo de caucho para cerrar los posibles vacíos dejados por el vibrador o la varilla.
5. Como último paso, se enraza la superficie del hormigón con una espátula, tal que este alineada con el borde del molde cilíndrico, después se cubrirá la superficie de las muestras cilíndricas con una bolsa plástica.

5.4.11. Ajuste de mezcla para obtener la compresión deseada

El diseño de hormigones del ACI es desarrollado en los Estados Unidos, por lo que este método está adaptado a los materiales que se utilizan en este país, debido a esto y que no se cuentan con estudios estadísticos propios para calibrar la mezcla se debe ajustar la cantidad de material, para que la compresión obtenida no esté por debajo de la requerida.

Este ajuste se realiza con pruebas de cilindros variando la relación a/c hasta obtener una base que nos permita asegurar que la compresión requerida se cumpla, modificando la cantidad de cemento que posee la mezcla y así el diseño se adapte a los materiales de la zona utilizados para realizar el hormigón.

5.5. Polietileno

5.5.1. Densidad del polietileno

El polietileno que se utiliza en este ensayo es obtenido a partir del reciclaje, en donde los productos elaborados con este material son recuperados, para que no contaminen el medio ambiente y posteriormente triturado para obtener partículas pequeñas capaces de tener una gradación, por lo que determinamos esta característica mediante el ensayo de granulometría explicado en el siguiente apartado. También es necesario determinar la densidad que tiene este producto por lo que utilizamos la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (12)$$

Donde:

ρ = densidad del polietileno, kg/m³

m= masa de polietileno, kg

v= volumen del recipiente, m³

5.5.2. Granulometría del polietileno ecológico triturado

Para poder sustituir al árido fino buscamos que el triturado sea el más similar, por lo que se busca que las fibras no sean mayores al diámetro del tamiz de 9.5 mm y que el retenido sea a partir del tamiz que tiene de abertura 4.75 mm. Se obtiene la granulometría mediante la misma serie de tamices y metodología que se presenta en la sección 5.2.2.

5.5.3. *Sustitución parcial de la cantidad de árido fino por polietileno ecológico triturado*

Para incorporar estas fibras trituradas se realiza mediante tres porcentajes, en donde se retira una cantidad de volumen del árido fino, para agregar la misma cantidad en volumen de polietileno mediante la siguiente fórmula:

$$Vp = \frac{\% P * Va}{100} \quad (13)$$

Donde:

Vp = Volumen de polietileno

$\% P$ = Porcentaje de polietileno

Va = Volumen de arena

6. Resultados obtenidos

6.1. Árido grueso

6.1.1. *Granulometría del árido grueso*

Par realizar el ensayo de granulometría del árido fino se utiliza, una serie de tamices indicada en la tabla 2 y con las cantidades mínimas de la tabla 1 dando como resultado:

Cantidad ensayada: 5 kg

Resultados de los ensayos en donde constan las cantidades retenidas en cada tamiz juntamente con sus límites.

Tabla 13*Granulometría del árido grueso*

TAMIZ (mm)	RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)
25.4	0	0.00	0.00
19.1	314	6.28	6.28
12.7	3193	63.86	70.14
9.5	1083	21.66	91.80
4.75	389	7.78	99.58
2.38	0	0.00	99.58
FONDO	21	0.42	100.00
TOTAL	5000		

Nota: La tabla 13 se muestra los resultados de la granulometría de árido grueso. Elaborado por:

Los Autores.

Tabla 14

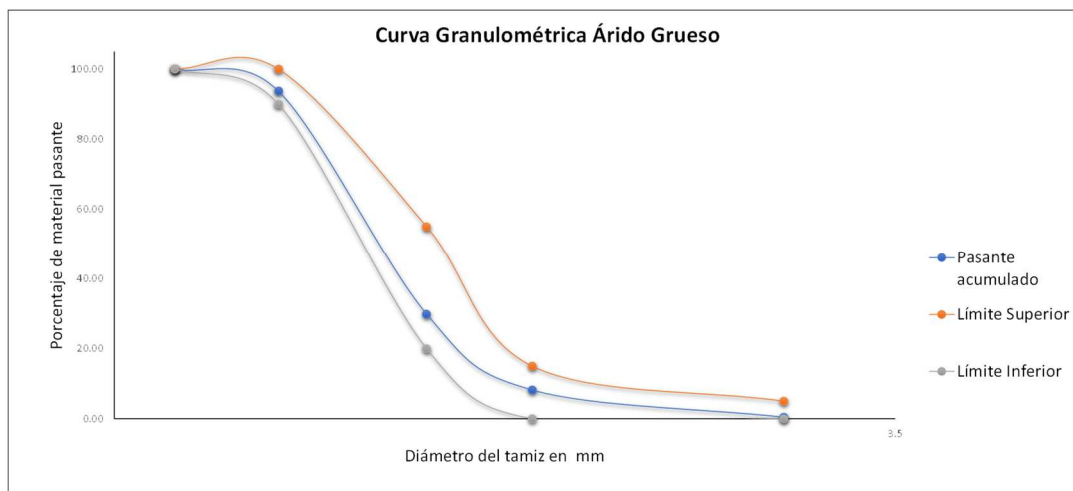
Granulometría del árido grueso, pasante y límites

PASANTE ACUMULADO (%)	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
100.00	100	100
93.72	90	100
29.86	20	55
8.20	0	15
0.42	0	5
0.42	-	-
0.00	-	-

Nota: En la tabla 14 se muestra los pasantes y los límites de cada tamiz del árido grueso. Elaborado por: Los Autores.

Figura 4

Gráfico de granulometría del árido grueso



Nota: La figura 4 representa los pasantes de cada tamiz del árido grueso y sus límites. Elaborado por: Los Autores.

6.1.2. Gravedad específica del árido grueso

Según la fórmula 1 obtenemos:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)} = \frac{3322}{(3427-2052)} = 2.42 \quad (14)$$

6.1.3. Absorción del árido grueso

Según la fórmula 2 obtenemos:

$$\text{Absorción \%} = \frac{(3427-3322)}{3322} * 100 = 3.16\% \quad (15)$$

6.1.4. Densidad del árido grueso

Según la fórmula 3 obtenemos:

$$\rho = \frac{12.794}{0.00961} = 1331.321 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (16)$$

6.1.5. Humedad del árido grueso

La humedad de este material se ha tomado, dependiendo de los días en que se realizaron las muestras en base a la fórmula 4. A continuación, se presentan los datos por fundiciones de probetas:

Tabla 15

Humedad del árido grueso

Fundición	Humedad (%)
1	1.6
2	1.9
3	1.1
4	1.1

Nota: En la tabla 15, se representa las humedades por días de fundición del árido grueso. Elaborado por: Los Autores.

6.2. Árido fino

6.2.1. Granulometría del árido fino

Para realizar el ensayo de granulometría del árido fino se utiliza, una serie de tamices indicada en la tabla 4 y con la cantidad mínima de 300g dando como resultado:

Cantidad ensayada: 559 g

Resultados de los ensayos en donde constan las cantidades retenidas en cada tamiz juntamente con sus límites.

Tabla 16*Granulometría del árido fino*

TAMIZ (mm)	RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)
9.5	0	0.00	0
4.75	28	5.01	5.01
2.36	63	11.27	16.28
1.18	99	17.71	33.99
0.6	133	23.79	57.78
0.3	131	23.43	81.22
0.15	77	13.77	94.99
0.075	25	4.47	99.46
FONDO	3	0.54	100.00
	Módulo de finura		2.89
TOTAL	559		

Nota: La tabla 16 representa, la granulometría de árido fino. Elaborado por: Los Autores.

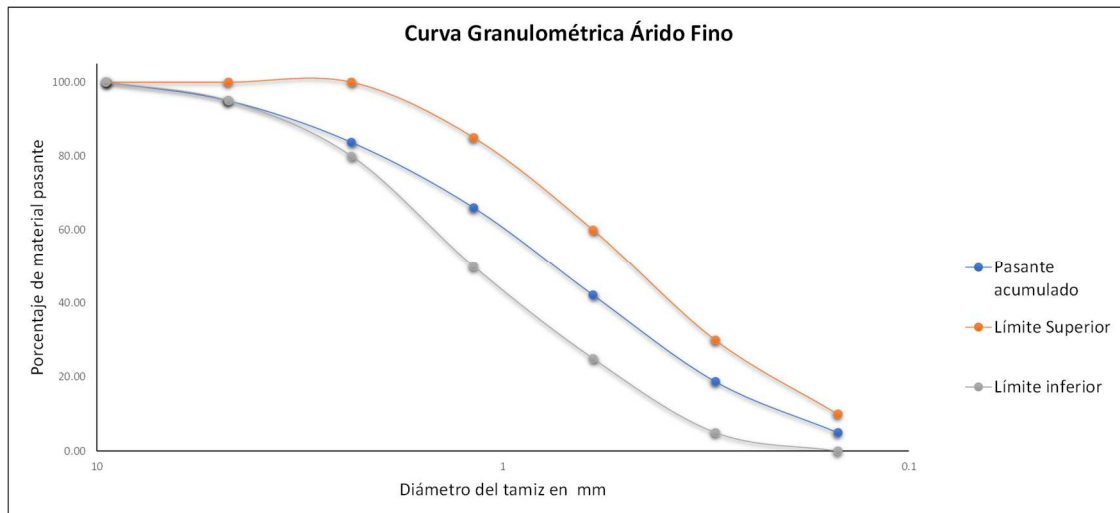
Tabla 17*Granulometría del árido fino, pasante y límites*

PASANTE ACUMULADO (%)	EXTREMO INFERIOR	EXTREMO SUPERIOR
100.00	100	100
95	95	100
83.72	80	55
66.01	50	85
42.22	25	60
18.78	5	30
5.01	0	10
0.54	-	-
0	-	-

Nota: En la tabla 17, se muestra los pasantes y los límites de cada tamiz del árido fino. Elaborado por: Los Autores.

Figura 5

Gráfico de granulometría del árido fino



Nota: La figura 5, se representa los pasantes de cada tamiz del árido fino y sus límites. Elaborado por: Los Autores.

Mediante los límites establecidos se concluye que el árido grueso está bien gradado según la NTE INEN 872.

6.2.2. *Gravedad específica del árido fino*

Según la fórmula 5 obtenemos:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)} = \frac{471}{(701+500-1000)} = 2.34 \quad (17)$$

6.2.3. *Absorción del árido fino*

Según la fórmula 6 obtenemos:

$$\text{Absorción \%} = \frac{(500-471)}{471} * 100 = 6.157\% \quad (18)$$

6.2.4. Densidad del árido fino

Según la fórmula 7 obtenemos:

$$\rho = \frac{5.36}{0.00282} = 1900.71 \frac{kg}{m^3} \quad (19)$$

6.2.5. Humedad del árido fino

En la tabla 18, se muestran los resultados de humedad que contiene el árido fino por cada día de fundición.

Tabla 18

Humedad del árido grueso

Fundición	Humedad (%)
1	9.6
2	8.4
3	10.3
4	10.3

Nota: En la tabla 18 se muestra las humedades por días de fundición. Elaborado por: El Autor

6.3. Mezcla de hormigón simple mediante el método ACI 211.1

6.3.1. Asentamiento

Con el ensayo del cono de Abrams según el documento 1578 de la NTE INEN, se obtuvo un asentamiento de 8 cm para el hormigón simple.

Figura 6

Asentamiento para hormigón simple



Nota: En la presente figura 6, se mide el asentamiento del hormigón simple. Elaborado por: Los Autores.

6.3.2. Elección del tamaño máximo nominal (TMN)

Para elegir el TMN del árido grueso lo seleccionamos mediante la disposición de materiales que poseía el depósito, ya que el objetivo de la investigación no contempla el uso de elementos con refuerzo de acero o losas. Mediante las características granulométricas se determina que el árido grueso tiene un TMN de 19 mm.

6.3.3. Contenido de aire

De acuerdo con la tabla 7, para un tamaño máximo nominal de 19mm le corresponde un porcentaje de aire atrapado de 2%.

Mediante un medidor tipo b de aire, se procedió a determinar el porcentaje de aire atrapado en el concreto simple, el cual se basa en la normativa ASTM C 231-09, donde esta dio como resultado del 1.8%.

Figura 7

Contenido de aire para hormigón simple



Nota: La figura 7, representa el contenido de aire del hormigón simple. Elaborado por: Los Autores.

6.3.4. Cantidad agua

De acuerdo con la tabla 8, determinamos que, al tener un asentamiento de 8 cm, la cantidad de agua es de 193 kg/m^3 correspondiente al 0.193 del volumen de la mezcla de hormigón. Esta cantidad se modificará debido a que los áridos pueden aportar o reducir agua por su humedad y absorción afectando directamente a la cantidad de esta en la mezcla.

6.3.5. Relación a/c

Se procedió a trabajar con una relación a/c de 0.42 según literal 5.4.5. (relación a/c), ya que nuestra resistencia específica es de 240 kg/cm^2 , para lo cual nuestra resistencia promedio requerida sería de 324 kg/cm^2 . Esta relación a/c de 0.42 no fue la adecuada ya que no se pudo llegar a la resistencia específica como se muestra a continuación:

Tabla 19

Resistencia a la compresión del hormigón convencional para una relación a/c de 0.42

Cantidad de Días	Relación a/c	Capacidad de Soporte a la Compresión (MPa)
4	0.42	8
7	0.42	7.9

Nota: La tabla 19, representa la compresión a los 4 y 7 días, por lo que, para deducir la resistencia a los 28 días del concreto, se hizo una extrapolación, lo que resulta en una resistencia de 12 Mpa. En consecuencia, se determinó que la relación a/c de 0.42 no era la adecuada para los agregados que se utilizaron en la mezcla de hormigón simple. Elaborado por: Los Autores.

Para obtener la compresión deseada se procedió a ajustar la mezcla con diferentes relaciones que se presentan el apartado 6.3.10, lo cual nos dio como resultado que una relación a/c de 0.335, estuvo muy cerca de llegar a la resistencia especificada. Debido a que la resistencia obtenida no garantizaba que se llegaría a la mínima planteada, se realizó con una relación a/c de 0.33 para el diseño del hormigón convencional, porque esta relación se ajustaba correctamente a la resistencia mínima específica de 24 MPa.

6.3.6. Contenido de cemento

Se determina una cantidad de cemento para la mezcla mediante la fórmula del apartado 5.4.6 que depende del a/c y la cantidad de agua calculada anteriormente. Mediante la densidad específica del cemento de la marca ATENAS tipo GU de uso general, podemos estimar una cantidad por metro cúbico de hormigón. En la siguiente tabla se muestra los resultados con la relación a/c seleccionada:

Tabla 20*Cantidad de cemento con a/c de 0.33*

Relación a/c	Densidad ($\frac{g}{cm^3}$)	Cantidad de cemento (kg)	Volumen (m^3)
0.33	2.9	583.082	0.20

Nota: En la tabla 20, se presenta la cantidad de cemento para la relación a/c designada. Elaborado por: Los Autores.

6.3.7. Contenido de agregado grueso

Se procedió a trabajar con una relación del 0.34 de volumen de árido grueso, según el proceso explicado en el literal 5.4.7., escogiendo un valor de la tabla 12 de 0.61, que utiliza como datos de entrada el módulo de finura del árido fino y el Tamaño Máximo Nominal.

6.3.8. Contenido de agregado fino

El porcentaje de árido fino se determina con lo indicado en el apartado 5.4.8., en donde se utiliza la siguiente fórmula para dar como resultado la siguiente cantidad de volumen de árido fino:

$$Va = 1 - (0.20 + 0.19 + 0.20 + 0.34) = 0.25 \quad (20)$$

6.3.9. Ajuste por humedad y absorción

Este ajuste depende de la humedad y absorción con relación a la cantidad de agua que poseen los áridos, para que se realice un nuevo ajuste de este componente se presenta en la tabla de este apartado las cantidades a reducir o aumentar dependiendo el caso. Aclaremos que se encuentra con negativo el exceso y positivo el déficit, tenido como dominante el primer caso por lo cual se reduce la cantidad de agua.

Tabla 21

Agua que proporcionan o necesitan los áridos.

Fundición	Agua de la Arena	Agua de la Grava	Deficit o Exceso	Cantidad de agua	Cantidad de cemento
1	-20.26	12.65	-7.61	185.39	560.1
2	-13.21	10.22	-2.99	190.01	574.03
3	-24.37	16.7	-7.67	185.34	559.93
4	-24.37	16.7	-7.67	185.34	559.93

Nota: En esta tabla 21, se presenta los valores de agua corregidos por humedad y absorción de los áridos, en kg. Elaborado por: Los Autores.

Luego de obtener la nueva cantidad de agua se debe recalcular la cantidad de cemento con la relación a/c. Estos datos también están especificados en la tabla de este apartado.

6.3.10. Ajuste de mezcla por compresión

En la siguiente tabla se presenta los ajustes para obtener la compresión mínima de 24 MPa y las relaciones a/c que se utilizaron para adecuar a los áridos empleados para realizar la mezcla de concreto.

Tabla 22

Resistencia a la compresión del hormigón simple para una relación a/c de 0.335 y 0.32

Cantidad de Días	Relación a/c	Capacidad de soporte a la compresión (MPa)
7	0.335	15.22
7	0.32	18.22

Nota: La tabla 22 presenta, la relación a/c de 0.335 y 0.32 a los 7 días con sus respectivas resistencias, por lo que, para determinar la resistencia a los 28 días del concreto, se hizo una

extrapolación, la cual su resultado fue una resistencia de 23.41 MPa para una relación a/c de 0.335 y una resistencia de 28.03MPa para una relación a/c de 0.32. Elaborado por: Los Autores.

6.3.11. Granulometría del polietileno ecológico triturado

En este apartado se muestra el ensayo de granulometría del polietileno mediante las condiciones indicadas en la sección 5.5.1.

Tabla 23

Granulometría de las fibras de polietileno

TAMIZ (mm)	RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE ACUMULADO (%)
9.5	0	0.00	0.00	100.00
4.75	437	43.72	43.72	56.3
2.36	485	48.52	92.25	7.75
1.18	53	5.30	97.55	2.45
0.6	18	1.80	99.35	0.65
0.3	6	0.60	99.95	0.05
0.15	0.5	0.05	100.00	0.00
0.075	0	0.00	100.00	0.00
FONDO	0			

Nota: En la presente tabla, se muestra los resultados del ensayo de granulometría de las fibras ecológicas de polietileno triturado. Elaborado por: Los Autores.

6.3.12. Elaboración de cilindros y ensayo a compresión para hormigón simple

Para la fabricación de los cilindros de hormigón simple, se llevó a cabo el procedimiento explicado en el literal 5.4.10., donde se fabricaron 5 cilindros de un diámetro de 10 cm y un alto de 20 cm, se utilizó la cantidad de agregados que se muestran a continuación:

Tabla 24*Cantidad de agregados utilizados para hormigón simple*

Material	Vol. sin Polietileno	Peso kg
Aire	0.20	0.00
Agua	0.19	3.23
Cemento	0.19	9.76
Árido Grueso (H)	0.33	13.72
Árido Fino (H)	0.27	10.84
Polietileno		0.00

Nota: La tabla 24, representa la cantidad de agregados por unidad de volumen (m³) de concreto, para hormigón simple. Elaborado por: Los Autores.

Para el ensayo de compresión del concreto simple y concreto ecológico con fibras de polietileno triturado se utilizó una relación a/c de 0.33, ya que fue la que ofreció la mejor adaptación a la resistencia requerida del concreto simple. A continuación, se presentan los resultados del ensayo de compresión del concreto simple:

Tabla 25*Peso y capacidad de soporte a la compresión para cilindros de hormigón simple*

N° de cilindro	Peso g.	Número de Días	Resistencia a la compresión MPa.
1	3653	7	20.13
2	3757	14	25.57
3	3969	28	31.34
4	3811	28	31.2
5	3690	28	24.4

Nota: En la tabla 25, se presenta el peso y resistencia a la compresión del hormigón simple.

Elaborado por: El Autor.

6.3.13. Elaboración de cilindros y ensayo a compresión para hormigón ecológico reemplazando un 15% de la arena por polietileno triturado

Estos cilindros de hormigón ecológico se elaboran reemplazando un 15% de la arena por polietileno triturado con relación al volumen calculado, esto se realiza mediante el proceso explicado en el literal 5.4.10. y 5.5.3., para esto se fabricaron 5 cilindros y se utilizó la cantidad de agregados que se muestran a continuación:

Tabla 26

Cantidad de agregados utilizados para hormigón ecológico reemplazando un 15% de la arena por polietileno triturado.

Material	Vol. sin Polietileno	Vol. con Polietileno	Peso kg
Aire	0.20	0.20	0.00
Agua	0.19	0.19	3.23
Cemento	0.19	0.19	9.76
Árido Grueso (H)	0.33	0.33	13.72
Árido Fino (H)	0.27	0.23	9.22
Polietileno		0.040	0.36

Nota: En la tabla 26, se muestra la cantidad de agregados por unidad de volumen (m^3) de concreto, para hormigón ecológico reemplazando un 15% de la arena por polietileno triturado. Elaborado por: Los Autores.

Para el ensayo a compresión del hormigón ecológico reemplazando un 15% de la arena por polietileno triturado, se trabajó con la misma relación a/c del hormigón simple. A continuación, se muestra los resultados del ensayo a compresión para dicho hormigón:

Tabla 27

Peso y resistencia a la compresión para cilindros de hormigón ecológico reemplazando un 15% de la arena por polietileno triturado

N° de cilindro	Peso g.	Número de Días	Resistencia a la compresión MPa.
1	3640	7	19.54
2	3700	14	25.3
3	3779	28	27.2
4	3712	28	25.26
5	3759	28	25.43

Nota: En la tabla 27, se presenta el peso y resistencia a la compresión del hormigón ecológico reemplazando un 15% de la arena por polietileno triturado. Elaborado por: Los Autores.

6.3.14. Elaboración de cilindros y ensayo a compresión para hormigón ecológico reemplazando un 30% de la arena por polietileno triturado

Para la elaboración de los cilindros de hormigón ecológico reemplazando un 30% de la arena por polietileno triturado, se llevó a cabo el proceso explicado en el literal 5.4.10. y 5.3.3., donde se fabricaron 5 cilindros y se utilizó la cantidad de agregados que se muestran a continuación:

Tabla 28

Cantidad de agregados utilizados para hormigón ecológico reemplazando un 30% de la arena por polietileno triturado

Material	Vol. sin Polietileno	Vol. con Polietileno	Peso kg
Aire	0.20	0.20	0.00
Agua	0.19	0.19	3.23
Cemento	0.19	0.19	9.76
Árido Grueso (H)	0.33	0.33	13.72
Árido Fino (H)	0.27	0.19	7.59
Polietileno		0.080	0.71

Nota: En la tabla 28, se muestra la porción de agregados por unidad de volumen (m^3) del hormigón, para hormigón ecológico reemplazando un 30% de la arena por polietileno triturado.

Elaborado por: Los Autores.

Para el ensayo a compresión del hormigón ecológico reemplazando un 30% de la arena por polietileno triturado, se trabajó con la misma relación a/c del hormigón simple, a continuación, se muestra los resultados del ensayo de soporte a la compresión para dicho hormigón:

Tabla 29

Peso y capacidad de soporte a la compresión para cilindros de hormigón ecológico reemplazando un 30% de la arena por polietileno triturado

N° de cilindro	Peso g.	Número de Días	Resistencia a la compresión MPa.
1	3452	7	18.47
2	3742	14	19.52
3	3615	28	25.08
4	3632	28	25.83
5	3640	28	26.56

Nota: En la tabla 30, se presenta el peso y resistencia a la compresión del hormigón ecológico reemplazando un 30% de la arena por polietileno triturado. Elaborado por: Los Autores.

6.3.15. Elaboración de cilindros y ensayo a compresión para hormigón ecológico reemplazando un 45% de la arena por polietileno triturado

Para realizar los cilindros de hormigón ecológico reemplazando un 45%, se procede como en los anteriores literales. Se muestran los resultados a continuación:

Tabla 30

Cantidad de agregados utilizados para hormigón ecológico reemplazando un 45% de la arena por polietileno triturado

Material	Vol. sin Polietileno	Vol. con Polietileno	Peso kg
Aire	0.20	0.20	0.00
Agua	0.19	0.19	3.23
Cemento	0.19	0.19	9.76
Árido Grueso (H)	0.33	0.33	13.72
Árido Fino (H)	0.27	0.15	5.96
Polietileno		0.120	1.07

Nota: En la tabla 30, se muestra la cantidad de agregados por unidad de volumen (m^3) de concreto, para hormigón ecológico reemplazando un 45% de la arena por polietileno triturado. Elaborado por: Los Autores.

Para el ensayo a compresión del hormigón ecológico reemplazando un 45% de la arena por se utiliza los mismos valores de relación a/c de lo anteriores literales. A continuación, se presentan los resultados del ensayo:

Tabla 31

Peso y resistencia a la compresión para cilindros de hormigón ecológico reemplazando un 45% de la arena por polietileno triturado

N° de cilindro	Peso g.	Número de Días	Resistencia a la compresión MPa.
1	3581	7	14.74
2	3607	14	22.08
3	3567	28	26.09
4	3617	28	24.02
5	3614	28	24.89

Nota: En la tabla 31, se presenta el peso y resistencia a la compresión del hormigón ecológico reemplazando un 45% de la arena por polietileno triturado. Elaborado por: Los Autores.

6.4. Comparación de resistencias entre hormigón simple y hormigón ecológico con polietileno triturado

Para la comparación de la resistencia a la compresión del concreto simple y el concreto ecológico con polietileno triturado, se calculó un promedio de resistencia entre las muestras que fueron probadas a los 28 días, como se indica a continuación:

Tabla 32

Resistencia promedio a la compresión a los 28 días para hormigón simple y hormigón ecológico con polietileno triturado

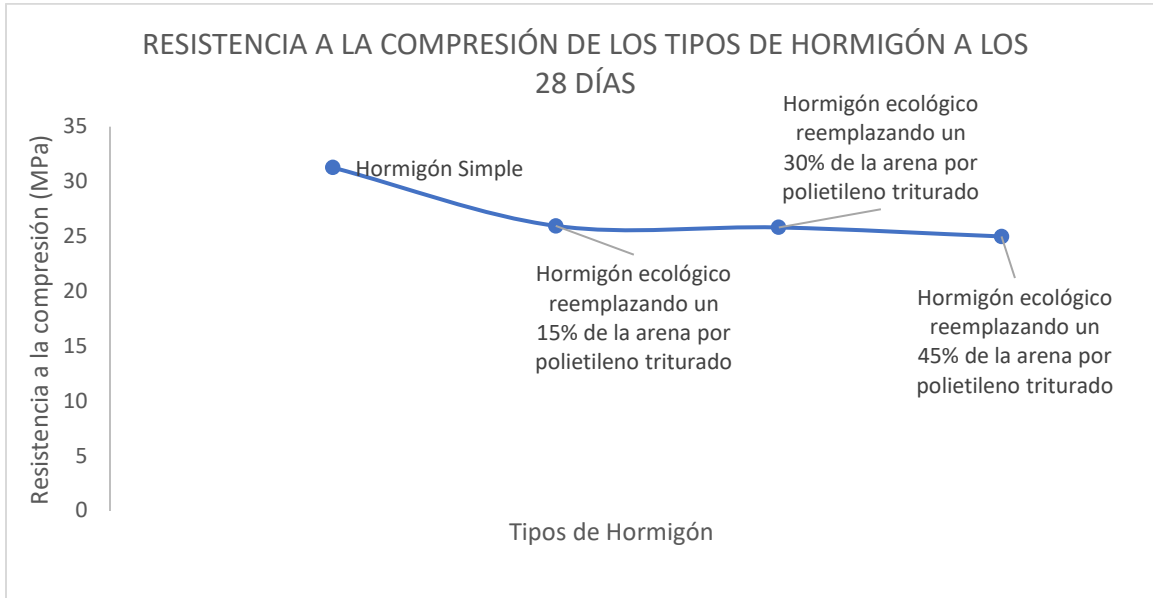
Tipo de Hormigón	Número de días	Resistencia promedio a la compresión MPa
Hormigón Simple	28	31.27
Hormigón ecológico reemplazando un 15% de la arena por polietileno triturado	28	25.96
Hormigón ecológico reemplazando un 30% de la arena por polietileno triturado	28	25.82
Hormigón ecológico reemplazando un 45% de la arena por polietileno triturado	28	25

Nota: Cabe resaltar, que para obtener la resistencia promedio a la compresión del hormigón simple que se muestra en la tabla 33, se descartó la resistencia a los 28 días del cilindro N° 5 que da como resultado 24.4 Mpa, debido a que la resistencia estuvo por debajo de los otros cilindros ensayados en el mismo número de días. Elaborado por: Los Autores.

A continuación, se presenta una gráfica comparativa de las resistencias promedios y resistencias normales para hormigón simple y hormigón ecológico con polietileno triturado.

Figura 8

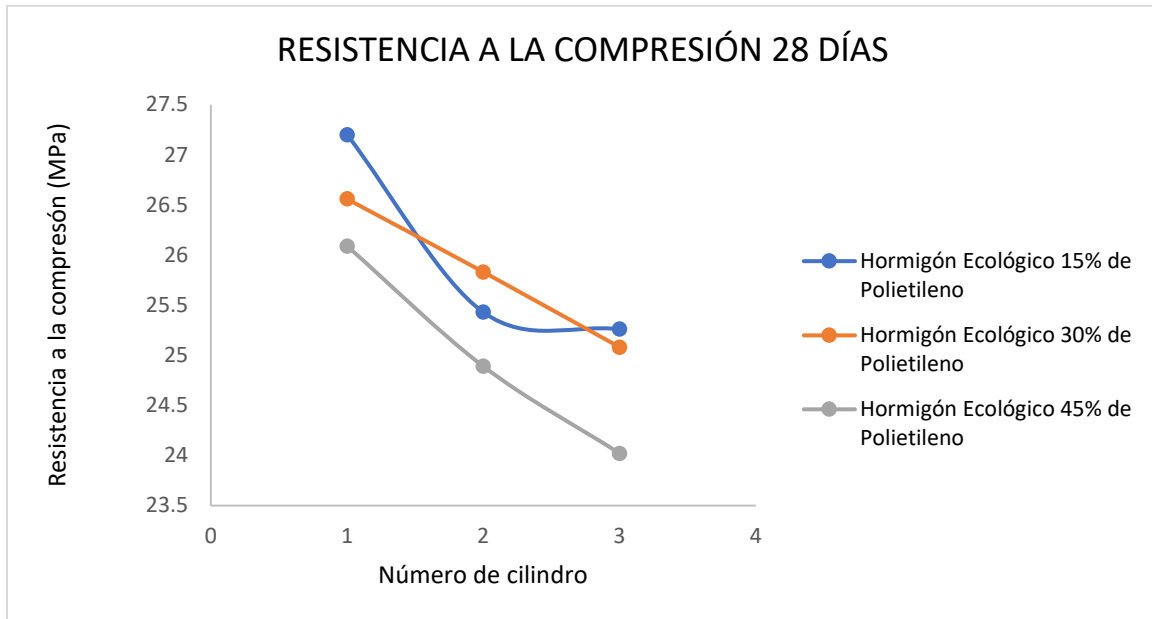
Comparación de resistencias promedio a la compresión del hormigón simple y hormigón ecológico con polietileno triturado a los 28 días.



Nota: En la figura 8, se muestra la resistencia a la compresión a los 28 días para cada tipo de hormigón. Elaborado por: Los Autores.

Figura 9

Comparación de resistencias normales a la compresión del hormigón ecológico con polietileno triturado a los 28 días



Nota. En la figura 9, se muestra la comparación de las resistencias a la compresión a los 28 días, de cada una de las probetas de hormigón simple y hormigón ecológico. Elaborado por: Los Autores.

7. Conclusiones

- La resistencia del hormigón ecológico con polietileno triturado fue disminuyendo a medida que se iba aumentando el porcentaje de plástico con relación al árido fino, dando como resultado que la resistencia promedio del hormigón simple fue de 31.27 MPa, mientras que la resistencia promedio del hormigón con un 45% de polietileno triturado obtuvo una resistencia promedio de 25 MPa, lo que equivale al 20.1% de reducción promedio.
- El hormigón con 45% de fibras de polietileno triturado es en promedio el más liviano teniendo un 4.73% menos peso con relación al hormigón convencional, por lo que este sería un beneficio si se desea utilizar en elementos de hormigón que necesiten alivianarse.
- Si priorizamos la resistencia a compresión y la relacionamos con el peso, podemos asumir que el hormigón con el 30% de polietileno triturado es el más favorable, teniendo una reducción del 17.4% de capacidad de soporte promedio y una reducción de peso promedio del 4.23%. Mientras que el porcentaje más desfavorable es el hormigón con el 15% de polietileno triturado, debido a que su resistencia promedio se reduce un 17% pero, solo se disminuyó un 1.54% del peso promedio con relación al hormigón simple.
- A pesar de la reducción de resistencia que tuvo el hormigón ecológico con los porcentajes de: 15%, 30% y 45%, este fue capaz de llegar a los 24 MPa que es la resistencia mínima que se planteó, siendo la resistencia más baja la de 24.02 MPa correspondiente a uno de los cilindros con el 45% de polietileno triturado.
- El hormigón redujo su resistencia debido a que el polietileno no tiene la misma graduación que la arena, ni se encuentra en los límites que especifica la norma para árido fino. Sin embargo, a pesar de disminuir la resistencia se demostró que este material es capaz de

formar parte de la mezcla de hormigón y trabajar a compresión con una disminución del peso con relación a el hormigón simple.

8. Recomendaciones

- Para fabricar un hormigón ecológico con polietileno triturado y obtener una resistencia específica se recomienda aumentar una resistencia de 8 MPa aproximadamente, esto debido a la disminución de la capacidad de soporte a compresión que tiene el hormigón al incorporar este plástico en sustitución de un porcentaje del árido fino.
- Se recomienda realizar más investigaciones que proporcionen una desviación estándar para el ensayo a compresión que se adecue a los áridos de la zona.
- Se sugiere investigar el comportamiento del polietileno triturado en elementos estructurales con refuerzo de acero, con el objetivo de verificar si es posible incluir este material en dichos elementos de hormigón armado.
- Se debe investigar si existe alguna reacción desfavorable en el hormigón con polietileno triturado en caso de agregar algún tipo de aditivos como plastificantes, acelerantes u otro.

9. Referencias bibliográficas

- ACI 211.1. (2019). *Diseño de Mezclas de Concreto*.
- Atenas. (2021). *CEMENTO ATENAS TIPO GU FICHA TECNICA*. Cuenca.
- BenJinXin, H. (2023). Pet Chips de tereftalato de polietileno de grado de fibra para la fabricación de fibras discontinuas de poliéster. Obtenido de <http://www.indura.com.ec/content/storage/cl/producto/e25b0a631c994369b0260888b93d95bc.pdf> Consultado:20/04/2021
- Earth, G. (2023). Ubicación Geografica del Cantón Santa Isabel con referencia a la ciudad de Cuenca.
- EMARESA. (2018). Obtenido de <https://emaresa.cl/productos/fibras-polipropileno-estructural-macronita-55/>
- Ferrovial. (14 de 04 de 2023). *Ferrovial*. Obtenido de Ferrovial: <https://www.ferrovial.com/es/recursos/hormigon/>
- Google Earth. (2023). Imagen Geografica .
- Gutiérrez, A., Jaramillo, M., & Ocampo, J. (2019). Análisis del concreto con polietileno tipo lenteja de alta densidad como aditivo para aligerar elementos estructurales. Colombia.
- INEN. (2011).
- Loayza, M. (2021). *Naciones Unidas Ecuador*. Obtenido de Naciones Unidas Ecuador: <https://ecuador.un.org/es/115575-recicladoras-de-base-mujeres-en-la-primera-1%C3%ADnea-de-acci%C3%B3n-por-el-clima#:~:text=As%C3%AD%20como%20do%C3%B1a%20Blanca%2C%20en,20.000%20personas%20dedicadas%20al%20reciclaje.>
- Lugo, J., & Torres, Y. (2019). *CARACTERIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL CONCRETO SIMPLE CON ADICIÓN DE FIBRAS POLIMÉRICAS RECICLADAS PET*. Universidad Católica de Colombia.
- Mendieta, E. (2016). *Diseño de Mezcla para Hormigón Simple de 240 kg/cm² utilizando Fibras de Materiales Reciclados*. Universidad Católica de Cuenca, Cuenca.
- Mendoza, C., Carlos, A., & Paula, D. (2011). *INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADOS PLÁSTICO Y ENDURECIDO*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- National Ready Mixed Concrete Association. (2023). *Preparación de los Cilindros de Concreto en el Campo*.
- NTE INEN 2380. (2011). Norma 2380.
- NTE INEN 696. (2011). *ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO*. Quito.

- NTE INEN 857. (2010). *ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL*. Quito.
- NTE INEN 872. (2011). *ÁRIDOS PARA HÓRMIGON.REQUISITOS*.
- ONU. (26 de 04 de 2022). Ginebra.
- Pattarini, A. (2023). *READYMesh*. Obtenido de READYMesh: <https://www.readymesh.es/mas-detalles/antecedentes/>
- Quispe, Y., & Taype, C. (2022). *Adición de fibras de plástico para optimizar las propiedades del concreto en pavimento rígido de Av. Circunvalación, SantiagoDe Surco -2021*. Universidad César Vallejo, Piura,Peru.
- Secretaría de Desarrollo Productivo. (2021). *IMPACTO ECONÓMICO PRODUCTIVO REDUCCIÓN PROGRESIVA DE PLÁSTICOS DE UN SOLO USO Y EL FOMENTO AL DESARROLLO DE SUSTITUTOS REUTILIZABLES, BIODEGRADABLES Y/O COMPOSTABLES EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO*. Secretaría de Desarrollo Productivo, Quito.

10. Anexos

Anexo 1. Ensayos de granulometría del árido grueso



Anexo 2. Ensayos de granulometría del árido fino



Anexo 3. Ensayos de granulometría del polietileno



Anexo 4. Muestra del árido grueso saturado superficialmente seco



Anexo 5. Peso de la muestra del árido grueso en agua



Anexo 6. Muestra del árido grueso seca al horno



Anexo 7. Densidad compacta del árido grueso



Anexo 8. Toma de pesos de densidades del árido grueso



Anexo 9. Cuarteo del arido grueso



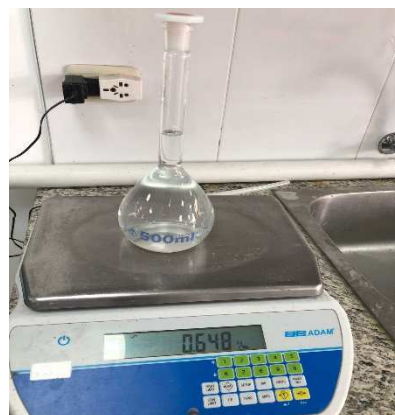
Anexo 10. Muestra de árido fino saturada superfinamente seca



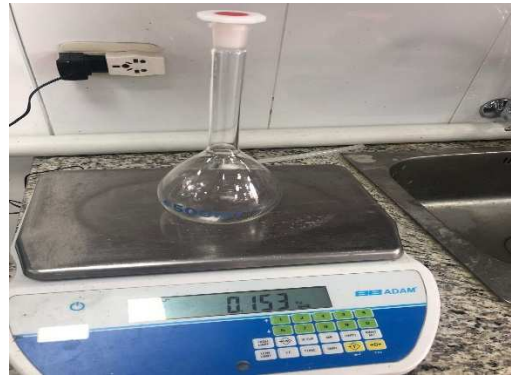
Anexo 11. Ensayo de gravedad específica del árido fino (eliminación de aire)



Anexo 12. Peso hasta la marca de calibración del picnómetro



Anexo 13. Peso del picnómetro



Anexo 14. Muestra seca al horno para gravedad específica del árido fino



Anexo 15. Muestra para densidad del polietileno



Anexo 16. Ensayo de asentamiento de hormigón



Anexo 17. Ensayo de contenido de aire de hormigón



Anexo 18. Fundición de probetas de hormigón simple



Anexo 19. Fundición de probetas de hormigón ecológico reemplazando un 15% de la arena por polietileno



Anexo 20. Fundición de probetas de hormigón ecológico reemplazando un 30% de la arena por polietileno



Anexo 21. Fundición de probetas de hormigón ecológico reemplazando un 45% de la arena por polietileno



Anexo 22. Elaboración de probetas



Anexo 23. Muestras de ajuste de hormigón simple



Anexo 24. Toma de medidas de los cilindros de hormigón



Anexo 25. Peso del hormigón simple a los 7 días



Anexo 26. Peso del hormigón simple a los 14 días



Anexo 27. Capiado y ruptura de muestras de ajuste de hormigón simple



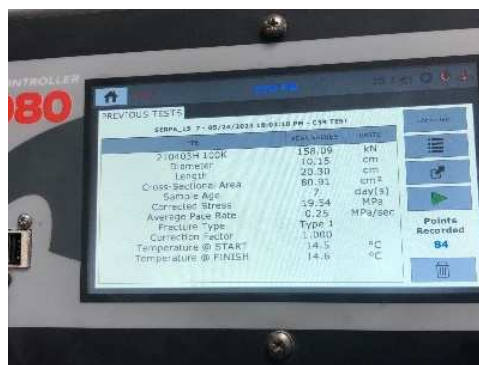
Anexo 28. Resultados del ensayo a compresión de la muestra de ajuste cercana a la resistencia deseada



Anexo 29. Ensayo a compresión a los 7 días de hormigón ecológico con un 15% de polietileno



Anexo 30. Resultado del ensayo a compresión a los 7 días de hormigón ecológico con un 15% de polietileno



Anexo 31. Ensayo a compresión a los 7 días de hormigón ecológico con un 30% de polietileno



Anexo 32. Ensayo a compresión a los 7 días de hormigón ecológico con un 45% de polietileno



Anexo 33. Resultados del ensayo a compresión a los 7 días de hormigón ecológico con un 30% de polietileno



Anexo 34. Resultados del ensayo a compresión a los 7 días de hormigón ecológico con un 45% de polietileno

TYPE	PEAK VALUES	UNIT
210403H 100K	123.98	kN
Diameter	10.35	cm
Length	20.30	cm
Cross-Sectional Area	84.13	cm ²
Sample Age	7	day(s)
Corrected Stress	14.74	MPa
Average Pace Rate	0.24	MPa/sec
Fracture Type	Type 1	
Correction Factor	1.000	
Temperature @ START	15.3	°C
Temperature @ FINISH	15.4	°C

Points Recorded: 67

Anexo 35. Resultados del ensayo a compresión a los 14 días de hormigón simple

TYPE	PEAK VALUES	UNIT
210403H 100K	220.50	kN
Diameter	10.28	cm
Length	20.30	cm
Cross-Sectional Area	83.00	cm ²
Sample Age	14	day(s)
Corrected Stress	26.57	MPa
Average Pace Rate	0.24	MPa/sec
Fracture Type	Type 1	
Correction Factor	1.000	
Temperature @ START	13.5	°C
Temperature @ FINISH	13.7	°C

Points Recorded: 117

Anexo 36. Resultados del ensayo a compresión a los 14 días de hormigón ecológico con un 15% de polietileno

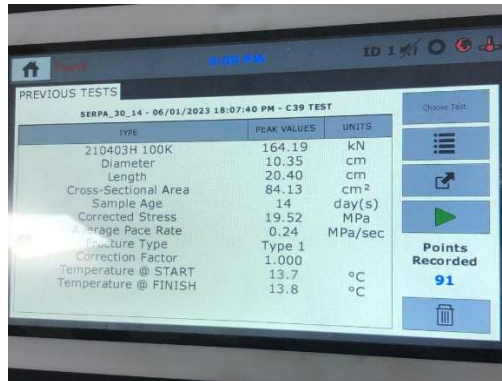
TYPE	PEAK VALUES	UNIT
210403H 100K	210.79	kN
Diameter	10.30	cm
Length	20.30	cm
Cross-Sectional Area	83.32	cm ²
Sample Age	14	day(s)
Corrected Stress	25.30	MPa
Average Pace Rate	0.24	MPa/sec
Fracture Type	Type 3	
Correction Factor	1.000	
Temperature @ START	13.8	°C
Temperature @ FINISH	14.0	°C

Points Recorded: 109

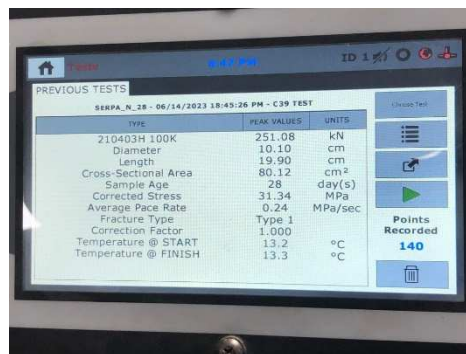
Anexo 37. Resultados del ensayo a compresión a los 14 días de hormigón ecológico con un 30% de polietileno



Anexo 38. Resultados del ensayo a compresión a los 14 días de hormigón ecológico con un 45% de polietileno



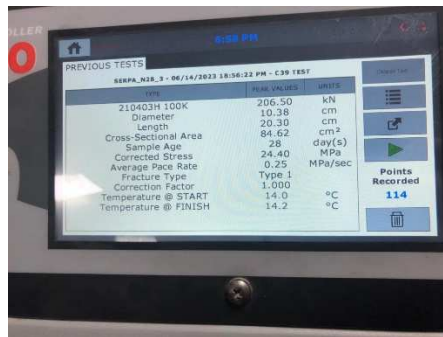
Anexo 39. Resultados del ensayo a compresión a los 28 días de hormigón simple (probeta 1)



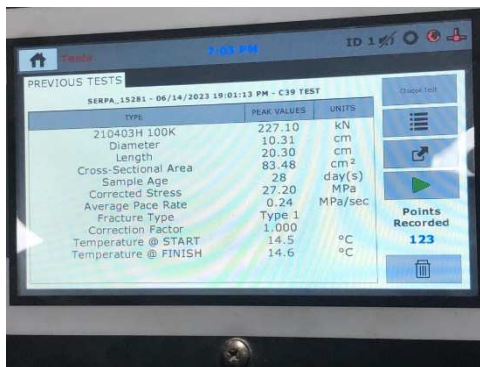
Anexo 40. Resultados del ensayo a compresión a los 28 días de hormigón simple (probeta 2)



Anexo 41. Resultados del ensayo a compresión a los 28 días de hormigón simple (probeta 3)



Anexo 42. Resultados del ensayo a compresión a los 28 días de hormigón ecológico con un 15% de polietileno (probeta 1)



Anexo 43. Resultados del ensayo a compresión a los 28 días de hormigón ecológico con un 15% de polietileno (probeta 2)

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
210403H 100K	207.64	kN
Diameter	10.23	cm
Length	20.30	cm
Cross-Sectional Area	82.19	cm ²
Sample Age	28	day(s)
Corrected Stress	25.26	MPa
Average Pace Rate	0.23	MPa/sec
Fracture Type	Type 1	
Correction Factor	1.000	
Temperature @ START	14.6	°C
Temperature @ FINISH	14.7	°C

Anexo 44. Resultados del ensayo a compresión a los 28 días de hormigón ecológico con un 15% de polietileno (probeta 3)

TYPE	PEAK VALUES	UNITS
210403H 100K	210.66	kN
Diameter	10.27	cm
Length	20.30	cm
Cross-Sectional Area	82.84	cm ²
Sample Age	28	day(s)
Corrected Stress	25.43	MPa
Average Pace Rate	0.24	MPa/sec
Fracture Type	Type 1	
Correction Factor	1.000	
Temperature @ START	14.9	°C
Temperature @ FINISH	15.1	°C

Anexo 45. Ensayo a compresión a los 28 días de hormigón ecológico con un 30 y 45% de polietileno



Anexo 46. Resultados del ensayo a compresión a los 28 días de hormigón ecológico con un 30% de polietileno (probeta 1)



Anexo 47. Resultados del ensayo a compresión a los 28 días de hormigón ecológico con un 30% de polietileno (probeta 2)



Anexo 48. Resultados del ensayo a compresión a los 28 días de hormigón ecológico con un 30% de polietileno (probeta 3)



Anexo 49. Resultados del ensayo a compresión a los 28 días de hormigón ecológico con un 45% de polietileno (probeta 1)



Anexo 50. Resultados del ensayo a compresión a los 28 días de hormigón ecológico con un 45% de polietileno (probeta 2)



Anexo 51. Resultados del ensayo a compresión a los 28 días de hormigón ecológico con un 45% de polietileno (probeta 3)

