



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE HÁBITAT, INFRAESTRUCTURA Y CREATIVIDAD

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS SISMORRESISTENTES

TEMA:

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 210 kg/cm^2 DEL
HORMIGÓN REALIZADO CON AGREGADO FINO PROVENIENTE DE MATERIALES DE
CONSTRUCCIÓN RECICLADOS (BLOQUES DE CONCRETO TRITURADOS) Y
CEMENTO PORTLAND TIPO GU, EN LA CIUDAD DE IBARRA.

AUTORA:

LEIDY JOHANA GUAMÁN MUGMAL

TUTOR:

ING. WILSON OSWALDO CANDO TIPÁN MSC

QUITO-ECUADOR

2026

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. CAPÍTULO I	1
1.1. Introducción	1
1.1.1. Justificación	1
1.1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.1.3. Objetivos	3
1.1.3.1. Objetivo general.....	3
1.1.3.2. Objetivos específicos	3
1.1.4. Alcance	3
1.1.5. Metodología y técnicas	4
2. CAPÍTULO II	5
2.1. Marco Teórico y Conceptual	5
2.1.1. Marco Referencial.....	5
2.1.2. Marco Teórico	7
2.1.2.1. Historia del hormigón	7
2.1.2.2. Características y propiedades generales del hormigón	8
2.1.2.3. Uso de agregados reciclados.....	9
2.1.3. Marco Conceptual	10
2.1.3.1. Cemento	10
2.1.3.2. Agua.....	11
2.1.3.3. Agregados finos y gruesos	11
2.1.3.4. Agregados reciclados	11
2.1.3.5. Dosificación de mezclas de hormigón	12
3. CAPÍTULO III.....	13
3.1. Obtención de los áridos.....	13
3.2. Propiedades de los materiales empleados en el hormigón.....	15
3.2.1. Cemento	15
3.2.1.1. Densidad real	15

3.2.2.	Agregado grueso	17
3.2.2.1.	Análisis granulométrico	17
3.2.2.2.	Densidad relativa y absorción	18
3.2.2.3.	Densidad aparente (suelta y compactada)	20
3.2.2.4.	Abrasión	22
3.2.2.5.	Resultados de caracterización de agregado grueso	24
3.2.3.	Agregado fino natural	25
3.2.3.1.	Análisis granulométrico	25
3.2.3.2.	Densidad relativa y absorción	26
3.2.3.3.	Densidad aparente suelta y compactada	29
3.2.3.4.	Contenido orgánico de arena	30
3.2.3.1.	Resultados de caracterización de agregado fino	31
3.2.4.	Agregado fino reciclado.....	31
3.3.	Dosificación del hormigón base.....	31
3.3.1.	Determinación del asentamiento.....	32
3.3.2.	Determinación de la cantidad de agua	33
3.3.3.	Definición de relación agua/cemento.....	33
3.3.4.	Definición del volumen de agregado grueso	34
3.3.5.	Determinación del Factor Cemento y Volumen real de cemento.....	35
3.3.6.	Volumen real de agregados finos y gruesos	36
3.3.7.	Corrección por humedad en agregados	36
3.3.8.	Dosificación de hormigón resultante	37
3.4.	Dosificación del hormigón con material reciclado	38
3.5.	Ensayos de compresión.....	39
3.6.	Determinación del porcentaje óptimo del árido fino reciclado.....	41
4.	CAPÍTULO IV.....	42
4.1.	Dosificación en cilindros	42
4.1.1.	Dosificación para cilindros sin reemplazo	42
4.1.2.	Dosificación para cilindros con 10% de reemplazo con material reciclado.	42
4.1.3.	Dosificación para cilindros con 20% de reemplazo con material reciclado.	43
4.2.	Análisis de Resultados	44

4.2.1.	Resistencia a la compresión	44
4.2.1.1.	Curva de resistencia	47
4.2.1.	Tipos de falla observados en cilindros	49
5.	CAPÍTULO V	50
5.1.	Conclusiones	50
5.2.	Recomendaciones	51
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
7.	ANEXOS	58
7.1.	CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO GRUESO	59
7.2.	CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO FINO	63
7.3.	CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO FINO RECICLADO	67
7.4.	DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN BASE	68
7.5.	ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE CILINDROS.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Resumen de investigaciones respecto a hormigones con agregados reciclados	7
Tabla 2	Tamices para granulometría de agregados gruesos (tamaños usuales).	17
Tabla 3	Gradación de las muestras de acuerdo con granulometría.	22
Tabla 4	Especificaciones para la carga.....	23
Tabla 5	Resumen de caracterización de agregado grueso	25
Tabla 6	Tamices para análisis granulométrico de agregado fino	26
Tabla 7	Escala de Gardner.....	30
Tabla 8	Resumen de caracterización de agregado fino	31
Tabla 9	Resistencia requerida a la compresión cuando no existen datos previos	32
Tabla 10	Asentamientos recomendados de acuerdo con el tipo de construcción.....	32
Tabla 11	Cantidad de agua y aire aproximado en la mezcla, sin inclusión de aire	33
Tabla 12	Valores de relación agua/cemento	34
Tabla 13	Volumen aparente de agregado grueso por m ³ de hormigón	35
Tabla 14	Dosificación para resistencia de diseño de 210 kg/cm ²	37
Tabla 15	Dosificación para cilindros sin reemplazo.	42
Tabla 16	Dosificación para cilindros con reemplazo del 10%.	43
Tabla 17	Dosificación para cilindros con reemplazo del 20%.	44
Tabla 18	Resistencia de cilindros [kgf/cm ²].	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación Cantera el Rey (Hormigones Punto Azul)	13
Figura 2	Acopio de material pétreo en cantera El Rey.	14
Figura 3	Realización de ensayo de peso unitario de agregado grueso.....	21
Figura 4	Realización de ensayo de abrasión.	24
Figura 5	Análisis granulométrico de agregado fino.....	25
Figura 6	Picnómetro y cono para ensayo de densidad y absorción de agregado fino	29
Figura 7	Molde para determinar densidad suelta y compactada.....	29
Figura 8	Agregado fino reciclado (bloques triturados).....	39
Figura 9	Modelos típicos de fractura en cilindros de hormigón	40
Figura 10	Curado de cilindros.	45
Figura 11	Resistencia obtenida de acuerdo con los días de curado.	46
Figura 12	Curvas de resistencia para los diferentes porcentajes de reemplazo de agregado fino	47
Figura 13	Ensayo de cilindros de hormigón a los 28 días, para 10% y 20% de reemplazo de agregado fino	49

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Densidad real del cemento	16
Ecuación 2	Densidad relativa al horno	19
Ecuación 3	Densidad relativa en condiciones S.S.S.	19
Ecuación 4	Densidad relativa aparente	19
Ecuación 5	Determinación del grado de absorción.....	19
Ecuación 6	Densidad aparente compactada	21
Ecuación 7	Porcentaje de abrasión.....	23
Ecuación 8	Coeficiente de uniformidad.....	23
Ecuación 9	Densidad relativa en condiciones S.S.S.	28
Ecuación 10	Porcentaje de absorción del agregado fino.....	28
Ecuación 11	Cálculo de factor agua/cemento	35
Ecuación 12	Volumen real de cemento	35
Ecuación 13	Volumen real de agregado grueso	36
Ecuación 14	Volumen real de agregado fino	36
Ecuación 15	Cantidad en peso de componentes	36
Ecuación 16	Corrección por humedad en agregados	37

RESUMEN

TÍTULO: Determinación de la resistencia a la compresión de 210 kg/cm² del hormigón realizado con agregado fino proveniente de materiales de construcción reciclados (bloques de concreto triturados) y cemento portland tipo GU, en la ciudad de Ibarra.

AUTORA: Leidy Johana Guamán Mugmal

TUTOR: Ing. Wilson Oswaldo Cando Tipán Msc

El presente trabajo de titulación tiene como propósito determinar las características de los agregados gruesos y finos provenientes de la cantera El Rey ubicada al sur de la ciudad de Ibarra, con el propósito de parametrizar sus características físicas y mecánicas y conformar mezclas de hormigón de acuerdo con el método de dosificación de la ACI, para una resistencia de diseño de 210 kg/cm². Una vez definida esta dosificación, se realizó el reemplazo del agregado fino de origen natural por agregado fino reciclado obtenido de la trituración de bloques de hormigón prefabricados, provenientes a su vez de la demolición de mamposterías. Se incorpora el agregado reciclado reemplazando el 10% y 20% del peso original de agregado fino en las mezclas de hormigón, de tal forma que se realizan probetas cilíndricas curadas durante 7, 14 y 28 días. Estas probetas fueron sometidas al ensayo de compresión de tal forma que se obtuvo la resistencia máxima; se observa que la inclusión de agregados finos reciclados reduce la adherencia de los agregados, además de causar un decremento en la resistencia máxima a compresión del orden del 10% y del 19% para un reemplazo del 10% y del 20% respectivamente.

PALABRAS CLAVE: Agregado Fino / Hormigón Reciclado / Bloques De Concreto Triturados / Resistencia A La Compresión / Sostenibilidad.

ABSTRACT

TITLE: Determination of the Compressive Strength of 210 kg/cm² of Concrete Produced with Fine Aggregate from Recycled Construction Materials (Crushed Concrete Blocks) and Portland Cement Type GU in the City of Ibarra.

AUTHOR: Leidy Johana Guamán Mugmal

TUTOR: Ing. Wilson Oswaldo Cando Tipán Msc

The present degree project aims to determine the characteristics of coarse and fine aggregates sourced from the *El Rey* Quarry, located in the southern area of Ibarra city. The purpose is to parameterize their physical and mechanical properties and to design concrete mixtures following the ACI mix design method, targeting a design strength of 210 kg/cm². Once the reference mix was established, the natural fine aggregate was partially replaced with recycled fine aggregate obtained from the crushing of prefabricated concrete blocks originating from demolished masonry structures. The recycled aggregate was incorporated by replacing 10% and 20% of the original fine aggregate mass in the concrete mixtures. Cylindrical specimens were then cast and cured for 7, 14, and 28 days. These samples were tested under compression to determine the maximum compressive strength. The results indicate that the inclusion of recycled fine aggregates reduces aggregate bonding and results in a reduction of the ultimate compressive strength of approximately 10% and 19% for replacement levels of 10% and 20%, respectively.

KEYWORDS: Fine Aggregate / Recycled Concrete / Crushed Concrete Blocks / Compressive Strength / Sustainability

1. CAPÍTULO I

1.1. Introducción

1.1.1. *Justificación*

En la actualidad, el crecimiento de la urbanización y la construcción a nivel global ha generado una gran cantidad de residuos provenientes de materiales de construcción, especialmente de concreto, lo que ha provocado un impacto ambiental significativo. Estos residuos, en su mayoría, no reciben un tratamiento adecuado y terminan en vertederos o espacios no controlados. En Ecuador, la falta de regulación sobre el manejo de estos desechos limita su reutilización. Sin embargo, el reciclaje de estos materiales representa una oportunidad para mitigar el impacto ambiental, al tiempo que permite la reutilización de recursos en la industria de la construcción (Saravia Zúñiga, 2019).

En Ecuador, no se tiene una estimación precisa del porcentaje que representan los residuos sólidos de construcción. Sin embargo, a nivel global, los desechos provenientes de la construcción y demolición constituyen una proporción significativa de los residuos sólidos urbanos (Cabezas et al., 2018). En Europa, por ejemplo, se calcula que anualmente se generan aproximadamente 350 millones de toneladas de estos materiales, siendo el concreto y los restos de estructuras rocosas los más predominantes (Muñoz et al., 2021).

El reciclaje de materiales de construcción, como los bloques de concreto triturados, no solo reduce la cantidad de residuos generados, además disminuye la explotación de agregados naturales, lo que contribuye a una construcción más sostenible. Estudios previos han demostrado que el uso de agregados reciclados en hormigón puede modificar sus propiedades mecánicas, lo que hace necesario evaluar su impacto en la resistencia a la compresión (Makul et al., 2021).

1.1.2. Planteamiento del problema

El constante flujo de residuos de la construcción y su impacto ambiental hacen necesario la búsqueda de alternativas para su aprovechamiento y revalorización. Uno de los posibles enfoques para abordar este problema es la incorporación de materiales reciclados como los “desechos sólidos pétreos: escombros de demoliciones y restos de construcciones, residuos de concreto solidificados, ladrillos y agregados como arena y piedra” (Hernández, 2007), en la elaboración de mezclas de hormigón, sin embargo, la viabilidad del uso de estos agregados reciclados depende de su impacto en las propiedades del hormigón, especialmente en su resistencia a la compresión, que es una de las propiedades mecánicas para evaluar su desempeño en estructuras.

Aunque existen estudios previos sobre el uso de agregados reciclados en el hormigón, la mayoría de las investigaciones se han centrado en el uso de agregados gruesos reciclados. Sin embargo, el uso de agregado fino reciclado, proveniente de materiales de construcción como bloques triturados, no ha sido suficientemente explorado, lo que plantea dudas sobre su comportamiento en términos de resistencia a la compresión.

Lo que se plantea en esta investigación es aportar datos específicos sobre la elaboración de mezclas de hormigón con agregado fino reciclado proveniente de bloques triturados y cómo influye en la resistencia a la compresión del hormigón, lo cual es crucial para determinar su viabilidad en aplicaciones estructurales. Es fundamental conocer si el reemplazo del agregado fino convencional por material reciclado de construcción afecta negativamente o no las propiedades mecánicas del hormigón, particularmente en su capacidad para resistir cargas compresivas.

1.1.3. Objetivos

1.1.3.1. Objetivo general

Evaluar la resistencia a la compresión del hormigón elaborado con agregado fino reciclado proveniente de bloques de concreto triturados, con el fin de determinar su viabilidad y posibles aplicaciones en la construcción sostenible.

1.1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar las propiedades físicas y mecánicas del agregado fino reciclado obtenido de bloques de concreto triturados.
- Comparar la resistencia a la compresión del hormigón con diferentes porcentajes de reemplazo de agregado fino reciclado (0%, 10% y 20%).
- Evaluar la resistencia mecánica del hormigón con diferentes proporciones de agregado fino reciclado para determinar su posible uso en aplicaciones estructurales o no estructurales.

1.1.4. Alcance

La presente investigación experimental se fundamenta en la elaboración de cilindros de hormigón con cemento Holcim Fuerte Tipo GU y áridos finos y gruesos obtenidos de la cantera El Rey, materiales caracterizados para la elaboración de mezclas de hormigón para una resistencia de diseño de 210 kg/cm^2 mediante el método descrito en la norma ACI 211. Se evalúa el impacto en el parámetro de resistencia a la compresión de acuerdo con el porcentaje de reemplazo de agregado fino (0%, 10% y 20%) en nueve probetas de hormigón curadas a 7, 14 y 28 días (tres probetas por edad y tipología). El agregado fino reciclado proviene de la trituración de bloques de hormigón obtenidos de residuos de demolición, los cuales son sometidos a un proceso de clasificación y depuración previo a la inclusión en las mezclas.

1.1.5. Metodología y técnicas

En la presente investigación se adoptó la metodología experimental con enfoque comparativo, elaborando probetas cilíndricas de hormigón con distintos contenidos de agregado fino reciclado para su ensayo a compresión. El diseño de las mezclas de hormigón se realizó conforme al procedimiento descrito en la norma ACI 211, la cual establece la dosificación de diseño de acuerdo con las características de sus componentes, en este caso para una resistencia a la compresión de diseño de 210 kg/cm^2 .

Para la elaboración de las probetas se empleó cemento Portland GU, y agregados gruesos y finos de origen natural obtenidos de la cantera El Rey en la ciudad de Ibarra. Con respecto a los áridos finos reciclados, se partió de mampostería de demolición la cual se sometió a un proceso de triturado, limpieza y selección para obtener un material con una granulometría y características físicas y mecánicas apropiadas para su inclusión en el hormigón.

La caracterización de los componentes del hormigón (cemento, áridos gruesos y finos) se efectuó mediante ensayos físicos y mecánicos, empleando las normas INEN y ASTM correspondientes. Posterior al diseño de las mezclas, se establecieron los porcentajes de reemplazo en peso de agregado fino natural por agregado reciclado, al 0% (mezcla de control con agregados naturales), 10% y 20% de reemplazo respectivamente.

Las probetas cilíndricas fueron elaboradas y curadas siguiendo los procedimientos normalizados indicados en la norma ASTM C192. Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión en edades de 7 días (para evaluar el desarrollo temprano de la resistencia), 14 días (para conocer la resistencia a mitad del proceso de curado) y 28 días (para determinar la resistencia final del material).

2. CAPÍTULO II

2.1. Marco Teórico y Conceptual

2.1.1. *Marco Referencial*

El ciclo de vida de las edificaciones usualmente adopta un enfoque lineal que va desde la extracción de los recursos naturales, proceso constructivo y operación hasta el fin de la vida útil de la edificación en el cual se termina con la demolición y disposición final de los residuos. En este aspecto se han realizado investigaciones en las cuales se demuestra que existe un potencial en la recuperación de hasta el 96% de recursos lo cual incidiría en una reducción del impacto ambiental y un potencial ahorro económico (Cabezas et al., 2018).

De acuerdo con la norma ACI 221R-96 (2001), el uso de agregados provenientes de materiales reciclados es deseable desde un punto de vista económico y ambiental, sin embargo, se deben tomar precauciones en su uso dada la posible existencia de elementos perjudiciales en el material base como pueden ser ladrillo, vidrio o yeso, además de la posible obtención de agregados de mala calidad o con alto contenido de cloruros lo cual hace necesario la ejecución de pruebas y un control de calidad sobre los mismos previo a su aplicación.

Se han realizado múltiples investigaciones con el objetivo de determinar alternativas para la inclusión de agregados reciclados obtenidos de residuos de construcción y demolición, tanto para aplicaciones de baja resistencia como para usos estructurales. De acuerdo con Junior et al. (2025), existe una divergencia en los resultados obtenidos en el campo de la investigación de los agregados reciclados debido a la heterogeneidad de los materiales y a las diferentes metodologías empleadas, sin embargo se pudo determinar que la mayoría de investigaciones realizan reemplazos de material reciclado entre el 20 y el 60%, observando que los agregados reciclados presentan mayor absorción de agua (condicionado en gran medida por la presencia de morteros), menor

densidad aparente y menor densidad en condiciones de superficie saturada seca (SSS) que los agregados naturales, y su inclusión genera una reducción de la resistencia a la compresión de entre el 2,6% y el 43% dependiendo del porcentaje de reemplazo de material natural por material reciclado.

Existe una investigación más amplia en el uso de agregados gruesos reciclados debido a que por lo general estos presentan mayor adaptabilidad a las mezclas de hormigón, al presentar mejores propiedades físicas entre las cuales se encuentran una menor absorción de agua y porosidad y mezclas de mayor trabajabilidad en comparación al agregado fino reciclado (Junior et al., 2025).

Dadas las complicaciones inherentes al uso de agregados finos antes mencionadas, es muy usual que este sea destinado a aplicaciones de bajo valor o *downcycling* (Di Maria et al., 2018), sin embargo, se ha probado la aplicación de pretratamientos con el fin de mejorar las prestaciones del agregado fino reciclado. Algunas propuestas indicadas por Dharmadhikari (2024) incluyen métodos físicos de remoción de morteros, tratamientos de polímeros, carbonatación y adición de materiales cementicios como humo de sílice o cenizas volantes, todos ellos buscan reducir la porosidad y absorción de los agregados además de aumentar la adherencia a la matriz cementicia.

En relación al reemplazo de árido fino por materiales reciclados la investigación a nivel local es limitada. En el estudio de Bravo et al. (2024), se realizan mezclas de hormigón con resistencias de diseño de 210 kg/cm² con el reemplazo en peso del agregado fino del 15, 20, 25 y 30% en peso por ladrillo reciclado triturado, obteniendo que es viable el reemplazo de hasta el 25% de agregado fino manteniendo niveles aceptables de resistencia.

En la Tabla 1 se indica un resumen de estudios locales realizados, en los cuales se determina un porcentaje de reemplazo óptimo (máximo de reemplazo de agregado reciclado bajo el cual se obtienen resistencias a compresión similares a la resistencia de diseño) y el porcentaje de reducción de resistencia a compresión esperado.

Tabla 1

Resumen de investigaciones respecto a hormigones con agregados reciclados

Autor	Tipo de agregado reciclado	% Reemplazo óptimo	% Reducción de $f'c$
Junior et al. (2025)	Agregado grueso	30%	Entre 2.6% - 43%
Bravo et al. (2024)	Agregado fino (ladrillo reciclado)	25%	0%
De Brito y Saikia (2013)	Agregado grueso	30%	Entre 2% - 40%
Villagrán-Zaccardi et al. (2023)	Agregado fino en morteros	30% (previo pretatamiento de carbonatación)	15% (sin pretratamiento) 0% (con pretratamiento)

Nota. Fuente propia

2.1.2. Marco Teórico

2.1.2.1. Historia del hormigón

El hormigón moderno cuenta con un antecedente que es el *opus caementicium* u hormigón romano, el mismo con el que se construyeron edificaciones monumentales como el Panteón de Agripa que se han mantenido en pie hasta nuestros días. Esta técnica fue copiada siglos después por John Smeaton en la construcción del faro de Eddystone, la cual se considera una obra precursora de la ingeniería moderna (Romea, 2014).

Se considera a Louis Vicat como el inventor del cemento moderno, al crear un material aglomerante a partir de la mezcla de piedra caliza y arcilla y su introducción en el horno; posteriormente Joseph Aspdin patentó en 1824 un material conocido como cemento Portland, el

cual era el resultado de la combinación de *clinker* (mezcla de cal y arcilla introducida al horno y procesada mecánicamente) con adición de yeso, método que se mantiene en gran medida hasta nuestros días. Es a partir de este punto que aparecen múltiples técnicas de elaboración de cementos y hormigones (con la adición de otros materiales), siendo un punto determinante la inclusión del acero en las mezclas de hormigón, con el cual se obtiene un material con amplias aplicaciones estructurales (hormigón armado) cuyo uso se generaliza durante el siglo XX (Romea, 2014).

2.1.2.2. Características y propiedades generales del hormigón

Se conoce como cemento a una variedad de materiales que al mezclarse pueden ser moldeados antes de volverse sólidos; el material conocido como cemento hidráulico es un tipo de cemento que genera una reacción química a partir de su hidratación, en la cual se forma gel de Silicato de Calcio Hidratado (CSH) y cal, los cuales aportan sus principales propiedades mecánicas. La mezcla de agua con cemento es conocida como pasta de cemento, mientras que la mezcla de agua, cemento y arena se conoce como mortero. Al mezclar agua, cemento, arena y piedra de mayor tamaño, esta mezcla se conoce como concreto u hormigón. En mezclas de hormigón, se denomina agregado fino a la arena, material que suele ser de tamaño menor a los 5 mm, mientras que el material de tamaño entre 10 y 20 mm o más se conoce como agregado grueso (Claisse, 2016).

La resistencia del hormigón se puede condicionar de acuerdo con la cantidad de agua añadida durante la mezcla del hormigón, esto medido como relación agua/cemento. Sin embargo, una reducción del contenido de agua puede influir negativamente en la trabajabilidad, es decir en el vertido y colocación apropiado de la mezcla; cuando es requerido, se emplean aditivos plastificantes o superplastificantes.

Para garantizar el desarrollo completo de resistencia del hormigón, este debe ser curado correctamente, lo que implica prevenir que el mismo se seque antes de que el proceso de hidratación termine mediante la adición continua de agua después del encofrado, es decir, después del fraguado o endurecimiento del hormigón (Claisse, 2016).

2.1.2.3. Uso de agregados reciclados

Las primeras propuestas de reciclaje de residuos de hormigón empezaron en los años 80 en Alemania, de lo cual se ha expandido en economías desarrolladas como Australia, Europa occidental y Norteamérica. Se ha demostrado que en las últimas décadas las economías emergentes de las regiones de Asia Pacífico, Rusia y Sudamérica se han convertido en grandes demandantes de agregados para la construcción y es donde se requiere la introducción de esquemas de reciclaje para la reducción de la extracción de agregados naturales y de este modo reducir el impacto ambiental (Tam et al., 2018).

El uso de agregados reciclados obtenidos de la construcción y demolición se muestra de esta manera como un campo prometedor para la aplicación de prácticas sostenibles, a través de la ejecución de técnicas de procesamiento, separación, trituración y descontaminación para poder obtener un producto empleable en rellenos, subbases, bases o material de superficie en carreteras, pavimentos y hormigón nuevo, dependiendo de la existencia de contaminantes y de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, en especial cuando se trata de aplicaciones estructurales (Tam et al., 2018).

Se ha reportado en diferentes investigaciones relacionadas con la aplicación de agregados reciclados que, por lo general, estos presentan una calidad más baja en relación con los agregados naturales, esto dependiendo en gran manera en su proceso de producción. Los agregados reciclados pueden contener además del agregado original otros materiales como mortero adherido y

contaminantes como betunes, plásticos, ladrillos y baldosas (materiales no deseables); uno de los componentes críticos encontrados en los agregados reciclados es el mortero adherido, el mismo que condiciona significativamente sus propiedades como son la absorción de agua, resistencia a la abrasión, porosidad y durabilidad (De Brito y Saikia, 2013).

En función de estandarizar los procesos de fabricación y los controles de calidad sobre los agregados reciclados, se ha verificado el desarrollo de diferentes normativas y estándares variables en cada país, con requisitos específicos a cumplir y coeficientes de ajuste tomando en consideración la diferente calidad y desempeño de estos materiales respecto a sus contrapartes naturales (De Brito y Saikia, 2013), sin embargo no se ha encontrado una normativa de aplicación específica al Ecuador que regule el aprovechamiento de los agregados reciclados de hormigón.

2.1.3. Marco Conceptual

2.1.3.1. Cemento

En esta investigación se referirá al cemento tipo Portland el cual es producido a través de la pulverización del *clinker* (compuesto por sulfato de calcio, piedra caliza y otras adiciones en pequeña proporción), el mismo que debe cumplir con lo establecido en la norma NTE INEN 151 (HOLCIM, 2014). De acuerdo con lo verificado en la norma NTE INEN 2380 (2011), existen las siguientes categorías para cementos Portland:

- **Tipo GU:** Uso general donde no se requieran propiedades especiales.
- **TIPO HE:** Alta resistencia en edades tempranas.
- **Tipo MS:** Moderada resistencia a sulfatos.
- **Tipo HS:** Alta resistencia a sulfatos.
- **Tipo MH:** Moderado calor de hidratación.
- **Tipo LH:** Bajo calor de hidratación.

2.1.3.2. Agua

Es importante que el agua a emplear para la elaboración del hormigón sea potable, evitando que la misma contenga impurezas que puedan alterar las características físicas y mecánicas del hormigón, como son sales, grasas, ácidos, álcalis o materia orgánica (Celi, 2023). El agua para hormigón debe cumplir con lo establecido en la norma NTE INEN 2617 (2012).

2.1.3.3. Agregados finos y gruesos

De acuerdo con Jácome (2015), los agregados “son materiales inertes, de forma granular, los cuales pueden ser arena o piedra natural triturada”. Estos materiales son de gran influencia en la consistencia del hormigón fresco y en las propiedades mecánicas del hormigón endurecido, lo cual hace necesario mantener el control en sus características. Los agregados se agrupan de acuerdo con Jácome (2015) en:

- **Agregados gruesos:** Es el de mayor tamaño y que ocupa un mayor volumen en la mezcla de hormigón, e influye de manera decisiva en la resistencia del hormigón endurecido.
- **Agregados finos:** Son materiales con un tamaño de partícula menor a 4.75 mm y su función es ocupar los espacios dejados por el agregado grueso. En este material es muy importante la forma del agregado, granulometría y módulo de finura.

Las especificaciones y requisitos de los áridos o agregados empleados en mezclas de hormigón y sus respectivas normas de ensayo y caracterización se describen en la norma NTE INEN 872 (2011).

2.1.3.4. Agregados reciclados

Los agregados reciclados son materiales que provienen de residuos de construcción y demolición debidamente clasificados y procesados para su empleo ya sea en aplicaciones de

menores prestaciones a su uso original (conocido como *downcycling*) o en aplicaciones similares a su uso anterior como pueden ser usos estructurales (Di Maria et al., 2018).

Se diferencia su uso de acuerdo a si el reemplazo en la composición del hormigón se hará a modo de agregado grueso (tamaños de partícula por lo general mayores a 1 cm) o agregado fino (tamaños de partícula menores a 4,75 mm); en este sentido existe por lo general un uso más amplio del agregado grueso en relación al agregado fino debido a un mayor control de la cantidad de mortero y por tanto menos efectos indeseados en el porcentaje de absorción, porosidad y durabilidad (Junior et al., 2025).

Se pudo verificar que existen países que cuentan con normativa con respecto al uso de agregados reciclados, sin embargo, en Ecuador no se identifica un lineamiento específico. Se toma como referencia las normas ACI 221R-96 (2001) Capítulo 6 en la cual se hace mención a las consideraciones de control de calidad recomendadas para decidir su uso, y la norma (ACI 555R-01, 2001) Capítulo 5 en donde se indican recomendaciones para el procesamiento y clasificación de agregados reciclados, además de los efectos esperados de la inclusión de agregados reciclados en el hormigón.

2.1.3.5. Dosificación de mezclas de hormigón

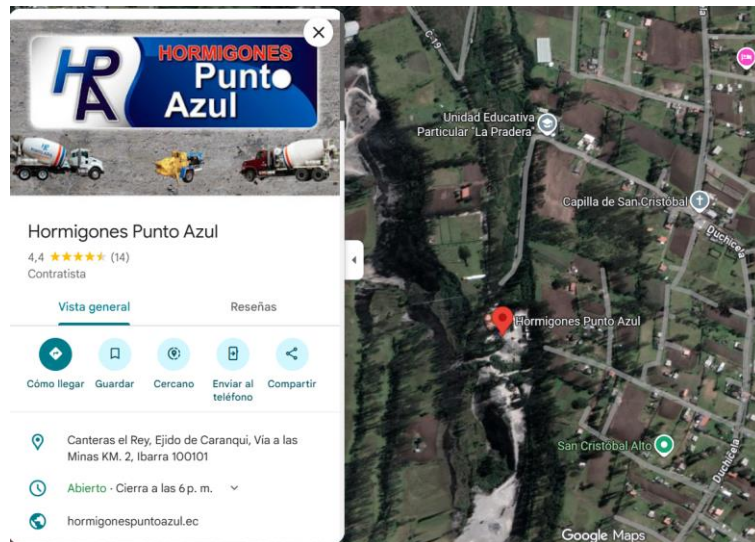
Para definir la dosificación y el diseño de mezclas se cuenta con los lineamientos especificados en la norma ACI 211.1-91 (1991), los cuales se fundamentan en la caracterización física de los agregados y el cemento a través de diferentes ensayos de laboratorio, y con el uso de tablas y de relaciones de peso y volumen se establece el diseño de la mezcla (cantidad de cemento, agua y agregados grueso y finos) con respecto a una resistencia de diseño establecida.

3. CAPÍTULO III

3.1. Obtención de los áridos

Figura 1

Ubicación Cantera el Rey (Hormigones Punto Azul)



Nota. Fuente Google Maps.

Los áridos naturales, tanto gruesos como finos, fueron obtenidos de la **Cantera El Rey (Hormigones Punto Azul)**, ubicada al sur de la ciudad de Ibarra, en la provincia de Imbabura. Esta cantera constituye una de las principales fuentes de materiales pétreos en la región norte del país, y sus productos son ampliamente utilizados en la fabricación de hormigones y morteros por su buena calidad, disponibilidad y estabilidad granulométrica.

El agregado grueso corresponde a material triturado proveniente de rocas volcánicas, principalmente basaltos y andesitas, las cuales presentan buena resistencia mecánica, alta durabilidad y una textura superficial favorable para la adherencia con la pasta de cemento. En cuanto al agregado fino, se trata de arena natural lavada del mismo yacimiento, con una proporción

controlada de finos y una granulometría uniforme que satisface los límites especificados por las normas técnicas vigentes.

Figura 2

Acopio de material pétreo en cantera El Rey.



Nota. Fuente propia.

Antes de su empleo en las mezclas, ambos tipos de agregados fueron sometidos a un proceso de caracterización física que incluyó ensayos de granulometría (ASTM C136), peso unitario suelto y compactado (ASTM C29), densidad y absorción (ASTM C127 y ASTM C128), contenido de humedad (ASTM C566) y determinación del módulo de finura. Estos procedimientos permitieron comprobar que los materiales cumplen con los requisitos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción – Sección Hormigón Armado (NEC-SE-HM, 2015) y con la norma ASTM C33/C33M correspondiente a los agregados para hormigón estructural.

Los agregados finos reciclados empleados en este estudio se obtuvieron a partir de residuos de demolición de estructuras de mampostería, previamente seleccionados con el propósito de eliminar materiales extraños y evitar la presencia de contaminantes. Luego de esta etapa de

selección, los desechos fueron triturados, con el objetivo de alcanzar una granulometría comparable a la del agregado fino natural utilizado en hormigones convencionales.

La trituración se llevó a cabo bajo condiciones controladas para lograr partículas con una textura superficial que favorezca la adherencia entre el agregado y la pasta cementicia. Este tipo de material se considera un recurso reciclado aplicable a la producción de hormigones sostenibles, ya que contribuye a disminuir la explotación de fuentes naturales y mitiga los impactos ambientales derivados de la extracción de áridos vírgenes.

Asimismo, su incorporación promueve el aprovechamiento responsable de los residuos de construcción y demolición (RCD), en concordancia con las disposiciones establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC-SE-HM (2015) y con las directrices internacionales como la RILEM TC-121-DRG (1994), que regulan el uso de agregados reciclados en mezclas de hormigón.

3.2. Propiedades de los materiales empleados en el hormigón

3.2.1. *Cemento*

3.2.1.1. Densidad real

La densidad real del cemento se define como la relación entre la masa de una muestra de cemento y el volumen de líquido desplazado en un recipiente de ensayo. Para su determinación se siguieron los lineamientos de la Norma NTE INEN 156 (2009): *Cemento hidráulico. Determinación de la densidad*. El procedimiento a aplicar consiste en:

- Verificar que las condiciones ambientales cumplan con lo requerido, es decir, temperatura de 23 °C y humedad relativa cercana al 65%.
- Pesar 64 g de cemento bajo dichas condiciones ambientales.

- Introducir el reactivo en el frasco de Le Chatelier hasta ubicar la marca entre 0 y 1 cm³ en la parte inferior del cuello; posteriormente, sumergir el frasco en agua y registrar la primera lectura de volumen y masa.
- Añadir los 64 g de cemento en capas uniformes, procurando que no quede adherido a las paredes, y colocar el tapón del frasco.
- Eliminar las burbujas de aire agitando suavemente el frasco de Le Chatelier.
- Destapar el frasco, sumergirlo nuevamente en el recipiente con agua a las condiciones ambientales por uno o dos minutos, y registrar la lectura final de volumen y de masa.

La densidad real del cemento se determina mediante la siguiente expresión:

Ecuación 1

Densidad real del cemento

$$Densidad\ real = (M_2 - M_1)/(V_2 - V_1)$$

Donde:

- Densidad real: expresada en g/cm³.
- M₁: masa del frasco con el reactivo, en gramos.
- M₂: masa del frasco con el reactivo y el cemento, en gramos.
- V₁: lectura inicial del volumen en la parte inferior del cuello, en cm³.
- V₂: lectura final del volumen en la parte superior del cuello, en cm³.

Para efectos del presente informe se cuenta como referencia con investigaciones anteriores (Amaguaña y Guamán, 2022) donde se empleó cemento Holcim Fuerte tipo GU y se obtuvo una densidad de 2,91 g/cm³.

3.2.2. Agregado grueso

3.2.2.1. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se lleva a cabo conforme a lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 696: *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos finos y gruesos*. El procedimiento consiste en lo siguiente:

- Pesar la muestra hasta alcanzar el peso mínimo indicado en la NTE INEN 696; posteriormente, secarla en horno durante $24 \pm$ horas a una temperatura de $110 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y registrar el peso inicial.
- Disponer los tamices en orden descendente, siguiendo la secuencia indicada en la Tabla 2:

Tabla 2

Tamices para granulometría de agregados gruesos (tamaños usuales).

Tamiz	Abertura (mm)
2"	50
1 1/2"	37.5
1"	25
3/4"	19
1/2"	12.5
3/8"	9.5
#4	4.75
#8	2.36
Bandeja	

Nota. Adaptado de NTE INEN 696 (2014).

- Toda la muestra se coloca en el tamiz superior, se cubre y se somete a agitación en la tamizadora durante un periodo de 3 a 5 minutos.
- Posteriormente, se registra la masa retenida en cada uno de los tamices correspondientes.

La validez del ensayo se confirma verificando que la pérdida total de masa no exceda el 0,3 % del peso inicial de la muestra.

Los detalles del análisis granulométrico para el agregado grueso se encuentran descritos en el Anexo 7.1.

3.2.2.2. Densidad relativa y absorción

La densidad relativa corresponde a la división de la masa del agregado entre el volumen que ocupa el mismo; en el caso de agregados gruesos, la variable de importancia para dosificación es la densidad en condiciones de superficie saturada seca o S.S.S. De acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 857, los pasos a tomar en consideración son los siguientes:

- Con base en el tamaño máximo nominal, la muestra se fracciona hasta alcanzar el peso mínimo establecido en la Norma INEN 857.
- Luego, se lava hasta que el agua salga completamente clara y se sumerge durante 24 ± 4 horas para lograr la condición de saturación.
- Posteriormente, la muestra se retira del agua y se seca para eliminar la humedad superficial, hasta que los agregados pierdan su brillo, alcanzando el estado de Superficie Saturada Seca.
- A continuación, se pesa la muestra y se determina la masa aparente en agua a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Finalmente, se seca nuevamente en horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 ± 4 horas, se deja enfriar y se realiza el pesaje final.

Una vez realizado el procedimiento antes mencionado, se calculan los parámetros con las siguientes expresiones:

Ecuación 2

Densidad relativa al horno

$$Densidad\ Relativa = \frac{A}{(B - C)} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Ecuación 3

Densidad relativa en condiciones S.S.S.

$$Densidad\ Relativa\ S.S.S = \frac{B}{(B - C)} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Ecuación 4

Densidad relativa aparente

$$Densidad\ Relativa\ Aparente = \frac{A}{(A - C)} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Ecuación 5

Determinación del grado de absorción

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

Donde:

- A: Muestra seca al horno, en g
- B: Muestra en estado S.S.S, en g
- C: Muestra aparente en agua, en g

Los detalles de la determinación de la gravedad específica y absorción se encuentran descritos en el Anexo 7.1.

3.2.2.3. Densidad aparente (suelta y compactada)

La densidad aparente suelta y la densidad aparente compactada se determinan con el propósito de establecer el peso volumétrico del agregado tanto en su estado suelto como compactado, valores que servirán posteriormente para convertir los volúmenes en masas. El procedimiento se basa en lo dispuesto por la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 858, desarrollándose de la siguiente manera:

- Medir el volumen y la masa del recipiente.
- Tomar una muestra con un volumen equivalente entre $4/3$ y $6/3$ del volumen del recipiente, secarla en horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 ± 4 horas, retirarla y dejarla enfriar. Con este material seco, se miden las magnitudes de acuerdo con su respectivo procedimiento:

a) Densidad suelta

- Depositar el agregado con una pala desde una altura no superior a 50 mm para evitar su compactación.
- Nivelar la superficie con una regla, de modo que el material sobresaliente rellene los vacíos.
- Pesar el recipiente con el agregado suelto.

b) Densidad compactada

- Llenar el molde con el agregado en tres capas de igual espesor, aplicando 25 golpes uniformes con una varilla en cada capa.
- Nivelar con una regla de exceso para eliminar el material que sobresalga y asegurar el llenado uniforme.
- Pesar el recipiente con la muestra compactada.

La densidad se calcula mediante la ecuación correspondiente:

Ecuación 6

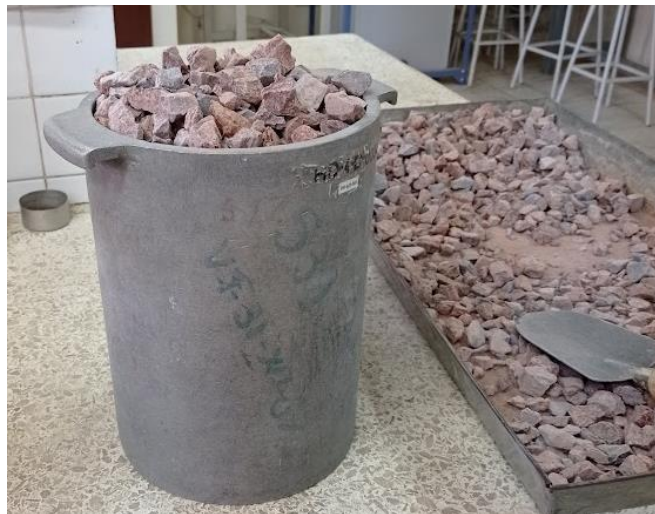
Densidad aparente compactada

$$Densidad_{(suelta-compacta)} = \frac{M_2 - M_1}{V} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

- M_1 : Masa del recipiente vacío, en g
- M_2 : Masa del recipiente junto a la masa del agregado, en g
- V : volumen del recipiente, en cm^3

Figura 3

Realización de ensayo de peso unitario de agregado grueso.



Nota. Fuente propia.

Los detalles de la obtención del peso unitario suelto y compactado se encuentran descritos en el Anexo 7.1.

3.2.2.4. Abrasión

El ensayo de abrasión permite cuantificar el grado de desgaste que presentan las superficies del agregado grueso. Para ello, se emplean esferas de acero que generan la carga abrasiva, sometiendo la muestra a un número determinado de revoluciones en la Máquina de Los Ángeles.

Los parámetros del ensayo se establecen conforme a lo dispuesto en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 860. El procedimiento es el siguiente:

- Según lo indicado en la Tabla 3, se elige la gradación en función de las masas retenidas. La muestra se tamiza hasta obtener la masa requerida, pudiendo lavarse y luego secarse en horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, o simplemente secarse y retirar el polvo para eliminar las partículas finas.

Tabla 3

Gradación de las muestras de acuerdo con granulometría.

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
		Gradación			
		A	B	C	D
Pasante de	Retenido en				
37.5	25.0	1250±25	-	-	-
25.0	19.0	1250±25	-	-	-
19.0	12.5	1250±10	2500±10	-	-
12.5	9.5	1250±10	2500±10	2500±10	-
9.5	6.3	-	-	2500±10	-
6.3	4.8	-	-	-	-
4.8	2.4	-	-	-	5000±10
Total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

Nota. Adaptado de NTE INEN 860 (2011).

- De acuerdo con la gradación elegida, se determina la carga abrasiva a usar, expresada como número de esferas, de acuerdo con lo sugerido en la Tabla 4:

Tabla 4

Especificaciones para la carga

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5000±10
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15

Nota. Adaptado de NTE INEN 860 (2011).

- Se introduce la muestra junto con la carga abrasiva en la Máquina de Los Ángeles. Luego, se hace girar el cilindro entre 30 y 33 revoluciones por minuto, completando inicialmente 100 revoluciones para calcular el coeficiente de uniformidad.
- Posteriormente, se pesa el material retenido en el tamiz N.º 12 y se reincorpora a la máquina. El cilindro se hace girar nuevamente para completar las 400 revoluciones restantes.
- Finalmente, se vuelve a pesar la fracción retenida en el tamiz N.º 12.

Las ecuaciones utilizadas para determinar el porcentaje de abrasión y el coeficiente de uniformidad se presentan a continuación:

Ecuación 7

Porcentaje de abrasión

$$\text{Abrasión (Desgaste)} = \frac{M_0 - M_{500}}{M_0} (\%)$$

Ecuación 8

Coeficiente de uniformidad

$$CU = \frac{M_0 - M_{100}}{M_0 - M_{500}}$$

Donde:

- M_0 : Masa inicial, en g
- M_{100} : Masa a las 100 revoluciones, en g
- M_{500} : Masa a las 500 revoluciones, en g

Figura 4

Realización de ensayo de abrasión.



Nota. Fuente propia.

Los detalles de la obtención del porcentaje de desgaste a la abrasión encuentran descritos en el Anexo 7.1.

3.2.2.5. Resultados de caracterización de agregado grueso

En la Tabla 5 se muestra el resumen de los resultados obtenidos en la caracterización física y mecánica del agregado grueso:

Tabla 5

Resumen de caracterización de agregado grueso

Propiedad	Unidad	Magnitud
Densidad aparente suelta	gr/cm ³	1,27
Densidad relativa (SH)	gr/cm ³	2,62
Densidad relativa (SSS)	gr/cm ³	2,67
Densidad relativa aparente	gr/cm ³	2,77
Absorción	%	2,05
Contenido de humedad	%	2,77
Abrasión	%	48.24
Coefficiente de uniformidad	-	0.25
Tamaño nominal	In	1/2"

Nota. Fuente propia.

3.2.3. Agregado fino natural

3.2.3.1. Análisis granulométrico

Para el agregado fino se aplica un tratamiento similar al realizado para los agregados gruesos, cambiando únicamente los tamaños de tamiz.

Figura 5

Análisis granulométrico de agregado fino



Nota. Fuente propia.

Para la presente investigación se emplearon los siguientes tamices indicados en la Tabla 6:

Tabla 6

Tamices para análisis granulométrico de agregado fino

Tamiz	Abertura (mm)
3/8"	9.50
#4	4.75
#8	2.36
#16	1.18
#30	0.60
#50	0.30
#100	0.15
#200	0.075
Bandeja	

Nota. Fuente propia.

El módulo de finura se calcula de acuerdo con lo dispuesto en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 696, la cual indica: “El módulo de finura se obtiene sumando los porcentajes acumulados de material retenido en los siguientes tamices: 150 μm (No. 100), 300 μm (No. 50), 600 μm (No. 30), 1,18 mm (No. 16), 2,36 mm (No. 8), 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm (3/8”), 19,0 mm (3/4”), 37,5 mm (1 1/2”) y en los tamices mayores con una relación 2:1”, y dividiendo el resultado entre 100 (NTE INEN 696, 2014, p. 6).

Los detalles de la determinación de la granulometría y el módulo de finura para el agregado fino se encuentran descritos en el Anexo 7.2.

3.2.3.2. Densidad relativa y absorción

Los parámetros se establecen conforme a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 856 “Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino”. El procedimiento desarrollado fue el siguiente:

- De la muestra total, se separa una porción de aproximadamente 1 kg, la cual se sumerge en agua durante 24 ± 4 horas para alcanzar la condición de saturación.
- Se escurre el agua con cuidado para evitar la pérdida de finos, y la muestra se coloca sobre una superficie no absorbente, expuesta a aire templado, revolviéndola constantemente.
- A medida que el agua se evapora, se verifica el contenido de humedad mediante los siguientes métodos:
- En una superficie no absorbente, se coloca un cono metálico invertido, se llena con arena hasta sobrepasar el borde, y se compacta con 25 golpes de una varilla desde una altura no mayor a 5 mm. Luego de limpiar el exceso, se retira el cono verticalmente.
 - Si la arena mantiene su forma, aún conserva humedad.
 - Si presenta un leve deslizamiento, se encuentra en condición S.S.S. (superficie saturada seca).
 - Si colapsa por completo, está demasiado seca.
- Para arenas más cohesivas, se colocan aproximadamente 100 g de muestra sobre una superficie seca, oscura y no absorbente. Si la huella de humedad permanece más de 2 segundos, la muestra aún está húmeda; si desaparece en 1 a 2 segundos, se considera S.S.S.
- Una vez que la muestra alcanza esta condición, se toma aproximadamente 500 ± 10 g, se introduce en el picnómetro y se agrega agua a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta cubrir el material sin sobrepasar el cuello del recipiente; luego se agita manualmente.
- Se elimina el aire atrapado y se llena el picnómetro con agua hasta la marca de calibración; se determina la masa total del conjunto.
- Posteriormente, se extrae la muestra, se coloca en un recipiente y se seca en horno a $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, dejándola enfriar antes de pesarla nuevamente.

- Finalmente, se pesa el picnómetro vacío y lleno con agua a $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta la línea de calibración.

Las ecuaciones empleadas para calcular la densidad y la absorción del árido fino se presentan a continuación:

Ecuación 9

Densidad relativa en condiciones S.S.S.

$$\text{Densidad Relativa S.S.S.} = \frac{S}{(B + S - C)} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

Ecuación 10

Porcentaje de absorción del agregado fino

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

Donde:

- A: Muestra seca al horno, en g
- B: Masa del picnómetro + agua, en g
- C: Masa del picnómetro + agregado+ agua, en g
- S: Masa de la muestra Superficie Saturada Seca (S.S.S.), en g

Los detalles de la determinación de la densidad relativa y porcentaje de absorción para el agregado fino se encuentran descritos en el Anexo 7.2.

Figura 6

Picnómetro y cono para ensayo de densidad y absorción de agregado fino



Nota. Fuente propia.

3.2.3.3. Densidad aparente suelta y compactada

Para este caso se emplea el mismo procedimiento usado para los agregados gruesos, siendo la diferencia únicamente el tamaño del molde.

Figura 7

Molde para determinar densidad suelta y compactada



Nota. Fuente propia.

3.2.3.4. Contenido orgánico de arena

Este ensayo tiene como objetivo determinar la existencia de impurezas orgánicas en la muestra de agregado fino, mismas que podrían tener un efecto perjudicial en la calidad del hormigón resultante. La Norma Técnica Ecuatoria INEN 855 *Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón* cuenta con un procedimiento descrito a continuación:

- Se coloca la muestra de agregado fino dentro de un recipiente de vidrio graduado hasta alcanzar aproximadamente 130 cm³.
- Luego, se añade hidróxido de sodio (NaOH) hasta completar el volumen de 130 cm³, y posteriormente se llena el recipiente hasta los 200 cm³.
- El recipiente se tapa herméticamente, se agita con fuerza varias veces y se deja reposar durante 24 horas.

Para la determinación del color, se utiliza la escala de Gardner, la cual cuenta con vidrios de color estandarizados, como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Escala de Gardner

Color normalizado escala de Gardner No.	Número de orden en el comparador
5	1
8	2
11	3 (normalizado de referencia)
14	4
16	5

Nota. Adaptado de NTE INEN 855 (2010).

Los detalles de la verificación del contenido orgánico para el agregado fino se encuentran descritos en el Anexo 7.2.

3.2.3.1. Resultados de caracterización de agregado fino

En la Tabla 8 se muestra el resumen de los resultados obtenidos en la caracterización física y mecánica del agregado fino:

Tabla 8

Resumen de caracterización de agregado fino

Propiedad	Unidad	Magnitud
Densidad relativa (SH)	gr/cm ³	2.51
Densidad relativa (SSS)	gr/cm ³	2.57
Densidad relativa aparente	gr/cm ³	2.66
Absorción	%	2.23
Contenido de humedad	%	2,82

Nota. Fuente propia.

3.2.4. Agregado fino reciclado

Para el agregado fino reciclado se obtiene una caracterización similar a la detallada para el agregado fino natural, sin embargo, cabe mencionar que se obtienen densidades significativamente inferiores y un porcentaje de absorción sensiblemente superior al agregado natural. En relación con la granulometría (ver Anexo 7.3), los resultados se encuentran fuera de los límites establecidos para áridos vírgenes, lo cual es atribuible a que se trata de un material reciclado procedente de residuos de demolición y no de una cantera natural.

3.3. Dosificación del hormigón base

En un inicio, se debe partir con la determinación de la resistencia a la compresión requerida o f'_{cr} . De acuerdo con la norma ACI 318S-08 (2008), la resistencia requerida para el diseño de mezcla debe tomar en cuenta las desviaciones estándar esperadas con respecto al valor de f'_c o resistencia a compresión de diseño; es así que la resistencia a compresión requerida siempre será

mayor a la resistencia de diseño. Cuando no se dispone de datos previos de ensayos para establecer una desviación estándar, la norma permite emplear las fórmulas descritas en la Tabla 9:

Tabla 9

Resistencia requerida a la compresión cuando no existen datos previos

Resistencia especificada a compresión f'_c (MPa)	Resistencia a compresión requerida promedio f'_{cr} (MPa)
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7.0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8.3$
$f'_c \geq 35$	$f'_{cr} = 1.1 f'_c + 5.0$

Nota. Adaptado de ACI 318S-08 (2008).

La norma ACI 318S-08 (2008) sugiere los siguientes pasos para la definición de la dosificación del hormigón:

3.3.1. Determinación del asentamiento

El asentamiento determina la facilidad de colocación y manejo del hormigón fresco, y su valor se establece en función del tipo de obra en la que será utilizado el concreto diseñado de acuerdo a lo sugerido en la Tabla 10.

Tabla 10

Asentamientos recomendados de acuerdo con el tipo de construcción

Asentamientos recomendados en función del tipo de construcción		
Tipos de construcción	Asentamiento (cm)	
	Máximo	Mínimo
Cimentaciones: muros y plintos reforzados	12.7	5
Zapatas simples, caissons y muros de subestructura	10	2.5
Losas, vigas y muros reforzados	15	7.6
Columnas de edificaciones	15	7.6
Pavimentos y veredas	7.6	5
Construcción	7.6	2.5

Nota. Adaptado de ACI 211.1-91 (1991).

3.3.2. Determinación de la cantidad de agua

El contenido de agua en un metro cúbico de hormigón está determinado por el tipo de agregado y por el asentamiento correspondiente al diseño elegido. Dado que el método de dosificación del ACI se basa en criterios empíricos, si los materiales demandan más agua de la sugerida en la Tabla 11, esto indica que poseen una forma o gradación menos favorable. En caso de incrementar la cantidad de agua, debe también aumentarse la proporción de cemento para conservar la relación agua/cemento; sin embargo, cuando los agregados requieren menos agua, no se recomienda reducir el contenido de cemento en la mezcla. En el presente diseño de mezcla no se considera la inclusión de aire.

Tabla 11

Cantidad de agua y aire aproximado en la mezcla, sin inclusión de aire

Cantidad de agua y aire aproximada de acuerdo con los asentamientos y tamaños máximos nominales considerados								
Tamaño máximo del agregado grueso								
Asentamiento, cm (pulg)	0.95 (3/8)	1.27 (1/2)	1.9 (3/4)	2.54 (1)	3.81 (1 1/2)	5.08 (2)	7.62 (3)	15.24 (6)
Hormigón sin inclusión de aire								
2.5 a 5.1 (1 a 2)	208	198	183	178	163	153	144	124
7.6 a 10.2 (3 a 4)	228	218	203	193	178	168	158	139
15.2 a 17.8 (6 a 7)	243	228	213	203	188	178	168	149
Porcentaje de aire atrapado, %	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Nota. Adaptado de ACI 211.1-91 (1991).

3.3.3. Definición de relación agua/cemento

La relación agua/cemento a definir está en función de la resistencia a la compresión requerida, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 12:

Tabla 12

Valores de relación agua/cemento

Relación agua-cemento (a/c) recomendada, en litros/kg de cemento, de acuerdo con resistencia a compresión requerida, con y sin inclusión de aire		
Relación agua cemento, (a/c) (litros/kg de cemento)	Resistencia a la compresión probable a los 28 días (kg/cm²)	
	Hormigón sin inclusión de aire	Hormigón con inclusión de aire
0.265	425	325
0.353	350	280
0.445	280	210
0.53	210	180
0.623	180	140
0.705	140	110

Nota. Adaptado de ACI 211.1-91 (1991).

3.3.4. Definición del volumen de agregado grueso

La cantidad de agregado corresponde al volumen aparente de agregado grueso (ripio) compactado, considerado en estado seco superficial y expresado por unidad de volumen. Esta cantidad de agregado se encuentra condicionada por el módulo de finura del agregado fino y por el tamaño máximo del agregado grueso como se define en la Tabla 13:

Tabla 13

Volumen aparente de agregado grueso por m³ de hormigón

Tamaño máximo nominal de agregado, in	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para distintos módulos de finura del agregado fino			
	2,4	2,6	2,8	3
3/8	0,5	0,48	0,46	0,44
1/2	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4	0,66	0,64	0,62	0,6
1	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2	0,75	0,73	0,71	0,69
2	0,78	0,76	0,74	0,72
3	0,82	0,8	0,78	0,76
6	0,87	0,85	0,83	0,81

Nota. Adaptado de ACI 211.1-91 (1991).

3.3.5. *Determinación del Factor Cemento y Volumen real de cemento*

El factor cemento se determina como kilogramos de cemento por metro cúbico de mezcla se calcula mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 11

Cálculo de factor agua/cemento

$$Factor\ Cemento = \frac{Litros\ de\ agua\ por\ m^3}{relación\ a/c}$$

Conociendo el factor cemento, se determina el volumen real de cemento por metro cúbico de mezcla a partir de la siguiente ecuación:

Ecuación 12

Volumen real de cemento

$$Volumen\ real\ Cemento = \frac{Factor\ cemento}{Densidad\ real\ cemento}$$

3.3.6. Volumen real de agregados finos y gruesos

A partir de los valores de volumen aparente del agregado grueso, densidad compactada y densidad en condición de superficie saturada seca (SSS), se obtiene el cálculo de su volumen real mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 13

Volumen real de agregado grueso

$$Vol. real Ag. grueso = Vol. Aparente ag. grueso * \frac{Densidad compactada}{Densidad S.S.S.}$$

La estimación del volumen de agregado fino se realiza considerando un metro cúbico de hormigón, aplicando la expresión:

Ecuación 14

Volumen real de agregado fino

$$Vol. real Ag. fino = 1 m^3 - Vol agua - Vol Cemento - Vol Ag. grueso - Vol Aire$$

Posteriormente, la cantidad en peso de cada componente se obtiene multiplicando el volumen respectivo por su densidad, utilizando la densidad real en el caso del cemento y la densidad en condición de Superficie Saturada Seca (SSS) para los agregados.

Ecuación 15

Cantidad en peso de componentes

$$Volumen real Ag. grueso = Vol. Aparente ag. grueso * \frac{Densidad compactada}{Densidad S.S.S.}$$

3.3.7. Corrección por humedad en agregados

Se debe considerar realizar una corrección en la cantidad de agua debido a que los agregados en la realidad no se encuentran en condiciones de superficie saturada seca y por tanto mantienen un contenido de humedad que puede ser mayor o menor a su capacidad de absorción,

esto representa la posibilidad de existencia de una mayor o menor demanda de agua a la estimada inicialmente. Para encontrar la diferencia de agua que se debe sumar o restar al agua añadida a la mezcla se emplea la siguiente ecuación:

Ecuación 16

Corrección por humedad en agregados

$$\Delta_{agua} = Vol_{agua} - Peso_{Ag. grueso} * (H_{ag grueso} - Abs_{ag grueso}) \\ - Peso_{Ag. fino} * (H_{ag fino} - Abs_{ag fino})$$

3.3.8. Dosificación de hormigón resultante

De acuerdo con los cálculos antes expuestos, se obtiene la siguiente dosificación para una resistencia de 210 kg/cm² indicada en la Tabla 14, considerando ajustes por humedad de agregados:

Tabla 14

Dosificación para resistencia de diseño de 210 kg/cm²

C/C	Af/C	Ag/C	A/C
1,00	2,19	2,02	0,53

Nota. Fuente propia.

De esta forma se establece una dosificación base para una resistencia de diseño de 210 kg/cm², con una relación agua/cemento de 0,53, sin inclusión de aditivos, tamaño máximo nominal de agregado grueso de 1/2 in, módulo de finura del agregado fino de 2,98, entre otros parámetros antes explicados. En el Anexo 7.4 se describe la obtención numérica de la dosificación de la mezcla utilizando los parámetros y ecuaciones antes citadas.

3.4. Dosificación del hormigón con material reciclado

Para la dosificación de los cilindros con material reciclado se emplean las mismas proporciones de cemento, agua y agregados gruesos y finos, siendo el único cambio el reemplazo en peso de los agregados finos en un 0%, 10% y 20% y los ajustes por humedad y absorción.

Siguiendo las indicaciones de la RILEM TC-121-DRG (1994), la incorporación de áridos reciclados en mezclas de hormigón debe hacerse de manera cuidadosa, ya que su presencia puede afectar propiedades fundamentales como la resistencia a compresión, durabilidad, trabajabilidad y la adhesión entre el agregado y la matriz cementicia. La norma recomienda una selección estricta de los residuos de demolición, garantizando que estén libres de impurezas, materiales contaminantes o fragmentos adheridos, y que sean sometidos a procesos de trituración y clasificación controlados para obtener un material homogéneo y confiable.

Asimismo, se aconseja que la proporción de reemplazo del agregado natural por reciclado no supere el 20 % del volumen total de árido, asegurando un balance adecuado entre sostenibilidad y desempeño mecánico del hormigón. En este trabajo, siguiendo estas directrices, se decidió sustituir hasta un 20 % del agregado fino natural por material reciclado derivado de bloques de concreto triturados, con el objetivo de evaluar su efecto sobre la resistencia a compresión de las probetas.

Figura 8

Agregado fino reciclado (bloques triturados)



Nota. Fuente propia.

3.5. Ensayos de compresión

Para establecer la resistencia a compresión de un determinado diseño de mezcla se cuenta con un procedimiento estándar establecido en la norma NTE INEN 1573 (2010), de acuerdo con el cual se preparan especímenes cilíndricos y se establece un proceso de curado después del cual se someten a carga uniaxial, con lo que se establece la resistencia máxima a la compresión previo a la falla.

Según lo indicado en la norma ACI 214RS-11 (2017) Sección 4.5, se considera que el número mínimo de cilindros requeridos para determinar la resistencia a compresión máxima promedio deben ser tres en el caso de cilindros de 100x200 mm y dos en el caso de emplear cilindros de 150x300 mm; para contar con una mayor robustez y confiabilidad de los resultados se emplearon tres cilindros de hormigón de 150x300 mm por tipología (edad de 7, 14 y 28 días y reemplazo de agregado fino del 0%, 10% y 20%).

Con la carga máxima se puede determinar el esfuerzo a compresión máximo resistido por el cilindro de hormigón, descrito a través de la siguiente ecuación:

$$f'_c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} = \frac{P_{m\acute{a}x}}{\frac{\pi}{4} \times D_{prom}^2}$$

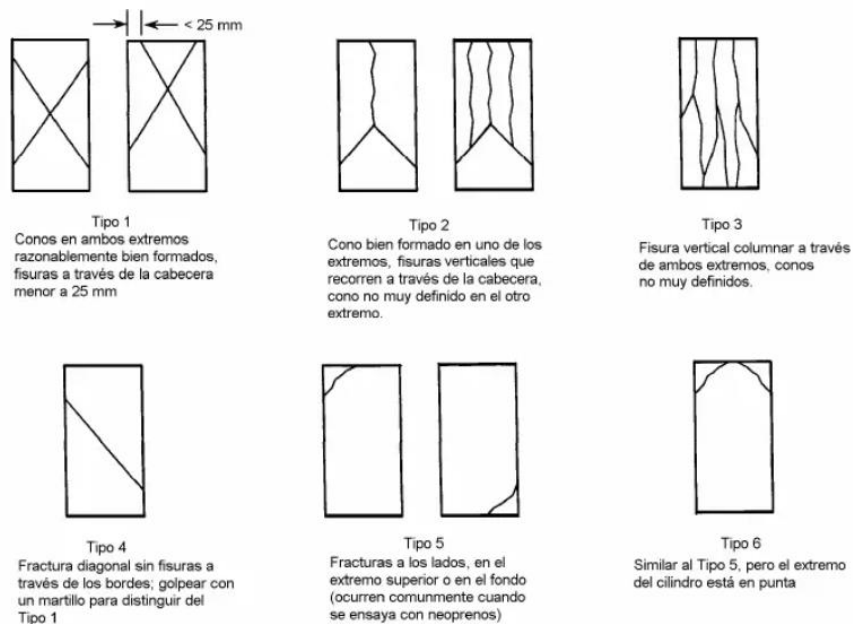
Donde:

- $P_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima sobre el cilindro
- A = Área transversal del cilindro
- D_{prom} = Diámetro promedio del cilindro

De acuerdo con la norma, los cilindros de hormigón presentan típicamente los siguientes tipos de falla descritos en la figura.

Figura 9

Modelos típicos de fractura en cilindros de hormigón



Nota. Obtenido de NTE INEN 1573 (2010).

3.6. Determinación del porcentaje óptimo del árido fino reciclado

Se definieron porcentajes de reemplazo del 10 y el 20%, con los cuales se plantea, mediante ensayos de compresión, verificar la incidencia de la inclusión de agregado fino reciclado en la resistencia final. Se considera que el porcentaje óptimo sería aquel que contenga mayor porcentaje de reemplazo y a su vez permita cumplir con la resistencia a la compresión especificada.

4. CAPÍTULO IV

4.1. Dosificación en cilindros

4.1.1. *Dosificación para cilindros sin reemplazo*

Para evaluar la resistencia a compresión del hormigón, se elaboraron probetas siguiendo una dosificación tradicional, con el fin de garantizar mezclas representativas y homogéneas. Cada dosificación permitió preparar volúmenes suficientes para fabricar tres cilindros por cada tipo de mezcla, asegurando así la repetibilidad de los ensayos y la obtención de resultados confiables. Las probetas se moldearon, compactaron y curaron según los procedimientos estandarizados para hormigón, con el objetivo de cumplir con los criterios de ensayo especificados en las normas correspondientes. En la Tabla 15 se indica la dosificación en peso para cilindros sin reemplazo.

Tabla 15

Dosificación para cilindros sin reemplazo.

Dosificación sin reemplazo		
Agua	0.97	[kg]
Cemento	1.85	[kg]
Arena	4.06	[kg]
Ripio	3.74	[kg]

Nota. Fuente propia.

4.1.2. *Dosificación para cilindros con 10% de reemplazo con material reciclado.*

Para la elaboración de los cilindros con un 10 % de reemplazo de agregado fino reciclado, se empleó una mezcla de hormigón con dosificación convencional, manteniendo constantes las proporciones de cemento, agua y agregado grueso. La única modificación consistió en sustituir el 10 % del agregado fino natural por material reciclado proveniente de bloques de concreto triturados, realizando los ajustes correspondientes por humedad y absorción del agregado reciclado. En la Tabla 16 se indica la dosificación en peso para cilindros con reemplazo del 10%.

Las mezclas se prepararon de manera uniforme para garantizar la homogeneidad de las probetas, las cuales fueron moldeadas, compactadas y curadas según los procedimientos estipulados en la normativa vigente, asegurando así la confiabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión. En la Tabla 16 se indica la dosificación en peso para cilindros con reemplazo del 10%

Tabla 16

Dosificación para cilindros con reemplazo del 10%.

Dosificación con reemplazo al 10%		
Agua	0,97	[kg]
Cemento	1,85	[kg]
Arena	3,65	[kg]
Material reciclado	0,41	[kg]
Ripio	3,74	[kg]

Nota. Fuente propia.

4.1.3. Dosificación para cilindros con 20% de reemplazo con material reciclado.

Al igual que en el apartado correspondiente al 10 % de reemplazo, para el porcentaje de 20 % de agregado fino reciclado se siguió el mismo procedimiento de dosificación, mezcla, moldeo, compactación y curado, asegurando la uniformidad de las probetas y la confiabilidad de los ensayos de resistencia a compresión. En la Tabla 17 se indica la dosificación en peso para cilindros con reemplazo del 20%

Tabla 17

Dosificación para cilindros con reemplazo del 20%.

Dosificación con reemplazo al 20%		
Agua	0,97	[kg]
Cemento	1,85	[kg]
Arena	3,25	[kg]
Material reciclado	0,81	[kg]
Ripio	3,74	[kg]

Nota. Fuente propia.

4.2. Análisis de Resultados

4.2.1. Resistencia a la compresión

En la Tabla 18 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión de los cilindros correspondientes a cada caso de estudio. Estos valores servirán como base para el análisis comparativo y la evaluación del comportamiento mecánico del hormigón con diferentes porcentajes de reemplazo de agregado fino reciclado.

Tabla 18

Resistencia de cilindros [kgf/cm²].

Especificación	Días	Resistencia esperada [kgf/cm²]	Resistencia a la compresión [kgf/cm²]				
			Ensayos		Media	Desviación estándar	
0% de reemplazo	7	210	149,7	150	150,3	150	0,300
	14		194,4	193,9	194	194	0,265
	28		214,6	215	214,9	215	0,208
10% de reemplazo	7	210	135,6	135,8	134,9	135	0,473
	14		149,8	148,5	147,9	149	0,971
	28		193,8	193,2	192,8	193	0,503
20% de reemplazo	7	210	92,8	93,1	93,4	93	0,300
	14		141	141,5	141,8	141	0,404
	28		174,9	175,2	175,5	175	0,300

Nota. Fuente propia.

Los cilindros elaborados para cada mezcla fueron sometidos a un proceso de curado en el laboratorio, manteniendo condiciones controladas de temperatura y humedad, con el propósito de asegurar el adecuado desarrollo de la resistencia del hormigón y garantizar la fiabilidad de los resultados experimentales. Posteriormente, se realizaron los ensayos de compresión a edades de 7, 14 y 28 días, siguiendo los procedimientos establecidos por la normativa vigente para este tipo de evaluaciones. Estos intervalos de tiempo permiten observar la evolución del comportamiento mecánico del material y comparar la influencia del porcentaje de reemplazo del agregado fino reciclado en la resistencia final del hormigón.

Figura 10

Curado de cilindros.

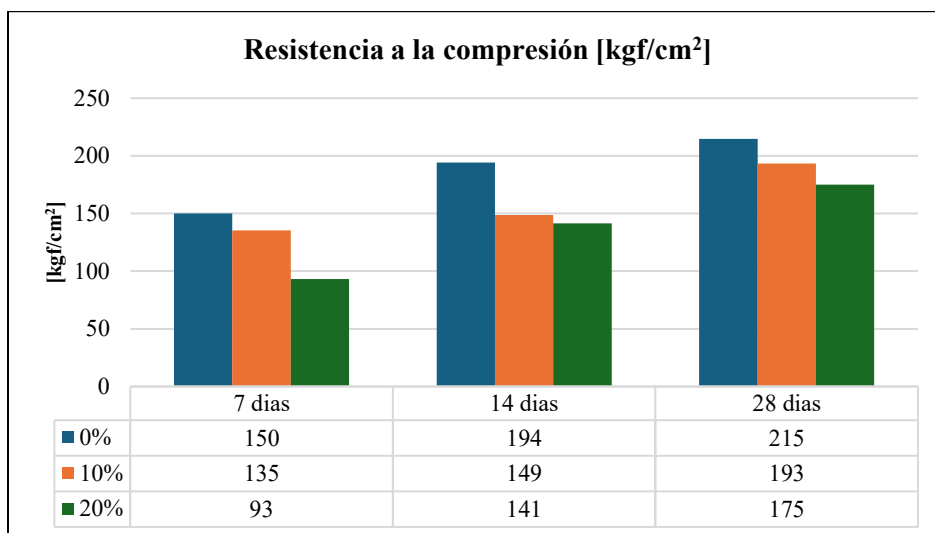


Nota. Fuente propia.

En la figura siguiente se puede apreciar la variación de la resistencia a la compresión del hormigón en función del porcentaje de reemplazo del agregado fino por material reciclado. Se observa una tendencia general a la disminución de la resistencia conforme aumenta el contenido de agregado reciclado en la mezcla.

Figura 11

Resistencia obtenida de acuerdo con los días de curado.



Nota. Fuente propia.

Para el caso del 10% de reemplazo, los resultados muestran una resistencia promedio de 135 kgf/cm² a los 7 días, lo que representa una reducción cercana al 10% en comparación con el hormigón convencional. A los 14 días, la resistencia media alcanzó 149 kgf/cm², es decir, una disminución aproximada del 23% respecto a la mezcla patrón. Finalmente, a los 28 días, la resistencia se incrementó a 193 kgf/cm², mostrando una diferencia del 10% con relación al hormigón sin sustitución. Este comportamiento evidencia que, aunque el uso de agregado fino reciclado genera una pérdida inicial de resistencia, el proceso de ganancia de resistencia con el tiempo sigue una tendencia similar a la del hormigón tradicional, reflejando una evolución continua de la hidratación del cemento.

En cuanto a la mezcla con 20% de reemplazo, se observa una disminución más pronunciada. A los 7 días, la resistencia promedio fue de 93 kgf/cm², equivalente a una reducción del 38% respecto a la mezcla de referencia. A los 14 días, se alcanzó una resistencia de 141 kgf/cm²,

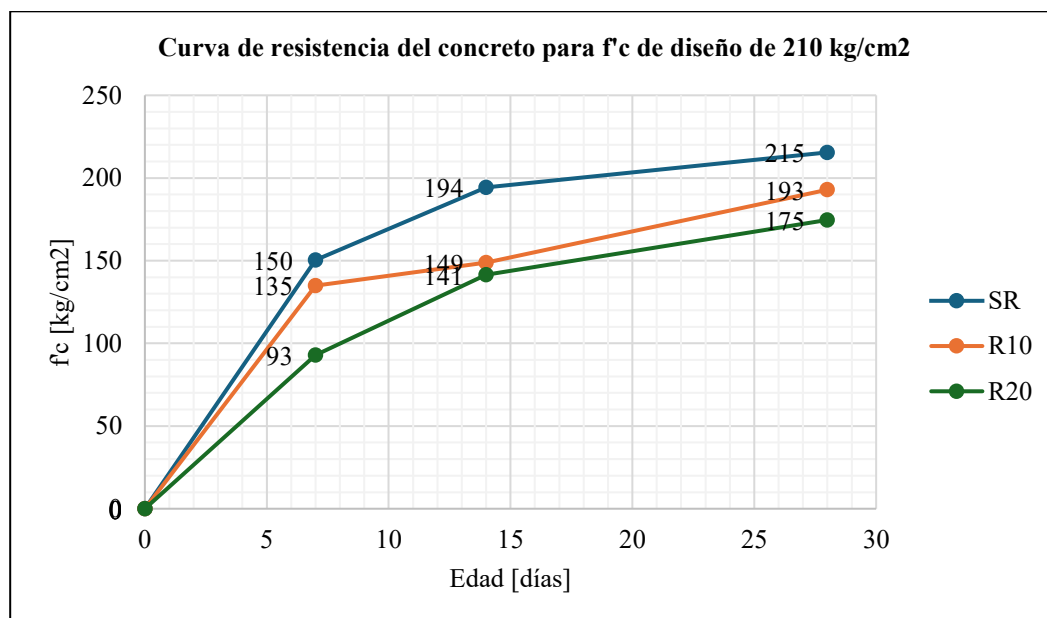
y a los 28 días esta aumentó a 175 kgf/cm², lo que representa una pérdida aproximada del 19% en comparación con el hormigón convencional. Esta tendencia decreciente se asocia principalmente a las propiedades intrínsecas del agregado reciclado, como su mayor absorción de agua, menor densidad y mayor porosidad, las cuales afectan la compacidad del material y la adherencia entre la pasta cementicia y los granos del agregado.

4.2.1.1. Curva de resistencia

En la figura siguiente se presenta la curva de comportamiento esfuerzo-deformación obtenida a partir de los ensayos de compresión, la cual permite observar la tendencia general de respuesta de los cilindros evaluados. Esta representación gráfica facilita la identificación del comportamiento mecánico del hormigón, evidenciando la relación entre la carga aplicada y la deformación unitaria desarrollada durante el ensayo, así como las diferencias entre las mezclas con distintos porcentajes de reemplazo del agregado fino reciclado.

Figura 12

Curvas de resistencia para los diferentes porcentajes de reemplazo de agregado fino



Nota. Fuente propia.

Se interpreta en el gráfico que la resistencia a la compresión se ve considerablemente afectada por la inclusión de agregados reciclados, manteniendo las muestras con agregados reciclados en todos los casos magnitudes inferiores a los cilindros de hormigón sin reemplazo de agregados. La resistencia máxima de los cilindros con reemplazo de agregados al 10% y 20% fue de 193 y 175 kg/cm², valores inferiores a los 215 kg/cm² del cilindro sin reemplazo e inferiores a los 210 kg/cm² de resistencia de diseño.

Otro aspecto relevante corresponde a la resistencia a la compresión obtenida a los 7 y 14 días, donde se evidencia que los cilindros con 10 % de reemplazo alcanzaron valores superiores a los observados en las mezclas con 20 % de sustitución. Esta diferencia puede atribuirse a la naturaleza heterogénea del agregado reciclado, cuya composición y textura varían debido al origen de los materiales de demolición. Aunque se realizó un proceso de trituración y tamizado para mejorar su uniformidad, estos agregados presentan mayor variabilidad física y menor homogeneidad en comparación con los agregados naturales, lo que influye directamente en el desarrollo de la resistencia del hormigón en sus primeras edades.

Se observa que en ambos casos de reemplazo (al 10 y al 20%) ninguno de los cilindros alcanza la resistencia de diseño de 210 kg/cm², por lo cual esta adición genera una deficiencia en la resistencia a la compresión y por tanto no sería viable su adición en mezclas de hormigón sin antes introducir factores de ajuste en el proceso de dosificación.

En síntesis, los resultados confirman que el incremento del porcentaje de agregado fino reciclado reduce la resistencia a la compresión del hormigón, siendo el efecto más notorio a edades tempranas. Sin embargo, los valores obtenidos para un 10% de reemplazo se mantienen dentro de rangos aceptables, permitiendo un aprovechamiento sostenible de materiales reciclados sin comprometer significativamente el desempeño mecánico del hormigón.

4.2.1. Tipos de falla observados en cilindros

Durante el ensayo de compresión, se observó que los cilindros con adición de agregados finos reciclados presentaban sobre todo fallas de Tipo 3 de acuerdo con los tipos descritos en la norma NTE INEN 1573, es decir, fracturas verticales y sin conos definidos, lo cual podría indicar que existe una pobre adherencia entre los agregados y la matriz cementicia.

Figura 13

Ensayo de cilindros de hormigón a los 28 días, para 10% y 20% de reemplazo de agregado fino



Nota. Fuente propia.

Estas características influyen directamente en la resistencia y ductilidad del hormigón, provocando una menor capacidad de distribución uniforme de los esfuerzos durante el ensayo. Además, refuerza la necesidad de controlar la preparación y selección del material reciclado, así como de considerar porcentajes de reemplazo moderados para no comprometer significativamente el comportamiento estructural.

En conjunto, la observación de este tipo de fallas respalda los resultados cuantitativos de resistencia a compresión, mostrando que, aunque el hormigón con agregado reciclado puede ser viable, su desempeño mecánico depende en gran medida de la calidad y el porcentaje de inclusión del material reciclado.

5. CAPÍTULO V

5.1. Conclusiones

- Se comprueba que los agregados finos reciclados presentan mayor porcentaje de absorción, mayor contenido de humedad y una granulometría menos uniforme que su contraparte de origen natural, situación que debe tomarse con sumo cuidado ya que pueden ser características críticas en la resistencia a la compresión del hormigón.
- No es posible alcanzar en la presente investigación la resistencia a la compresión de diseño de 210 kg/cm² con los porcentajes de reemplazo de 10% y 20% del agregado fino lo cual indica que las prestaciones inferiores del agregado fino reciclado reducen sensiblemente la resistencia a compresión.
- Se observa en el ensayo de compresión de cilindros que el tipo de falla predominante corresponde a fisuras verticales y conos poco definidos lo cual puede deberse a una adherencia más pobre entre el agregado fino reciclado y el resto de componentes del hormigón.
- En las curvas de resistencia del hormigón se observa que a edades tempranas el comportamiento mecánico del hormigón resulta ser atípico en el caso de las mezclas con agregados reciclados con relación a las mezclas con agregado natural, al observar que para el caso de los cilindros de hormigón con 10% de reemplazo exceden la resistencia de los cilindros con 20% de reemplazo de agregado reciclado, situación esperable dado que un mayor porcentaje de reemplazo induce una mayor reducción en la resistencia.
- Con un reemplazo de agregado fino del 10%, si bien no se alcanzó la resistencia a compresión de diseño, se obtuvo una resistencia de 193 kg/cm², lo cual permitiría un desempeño similar al hormigón convencional en aplicaciones de baja exigencia estructural.

- Para alcanzar la resistencia de diseño requerida es necesario incluir en el diseño de mezclas de hormigón factores de ajuste que permitan corregir los efectos de reducción de resistencia del agregado fino reciclado y de esta manera hacer viable su uso en aplicaciones estructurales.

5.2. Recomendaciones

- Tomar en cuenta las especificaciones técnicas de los materiales cementicios y el control de calidad correspondiente para los agregados gruesos y finos de acuerdo con las normativas aplicables para cada caso.
- Mantener un procesamiento estricto de los agregados reciclados para evitar la introducción de residuos constructivos perjudiciales como plásticos o cerámicas, así mismo, procurar realizar un control en relación a tamaños y granulometrías para evitar alterar de forma excesiva las propiedades de la mezcla de hormigón.
- Se recomienda contemplar para próximas investigaciones el uso de pretratamientos sobre el agregado fino reciclado (lavado, carbonatación, entre otros), así como la adición de materiales como el humo de sílice u otras puzolanas que permitan aumentar la adherencia de los agregados reciclados a la mezcla de hormigón y de este modo prevenir fallas prematuras.
- Se sugiere ampliar para próximos estudios el número de escenarios, porcentajes de reemplazo e influencias de pretratamientos y aditivos de tal forma que se permita la estandarización de las dosificaciones de hormigón y de esta manera obtener con mayor uniformidad y reproducibilidad resistencias a la compresión aceptables, que posibiliten el uso de agregados reciclados en un rango más amplio de aplicaciones de ingeniería.

- Se propone la realización de nuevos estudios donde se caractericen mezclas de hormigón con inclusión de agregados finos reciclados en el hormigón, a través de parámetros como el módulo de elasticidad, módulo de rotura o durabilidad.
- Se recomienda la utilización de hormigón con reemplazo de agregado fino reciclado en elementos no estructurales como pavimentos, veredas, banquetas, rellenos y elementos de albañilería no portante, así como continuar con las investigaciones en usos estructurales para de este modo promover la reducción de residuos, mitigar la huella de carbono de las actividades relacionadas a la construcción e incentivar el desarrollo de una economía circular y sostenible.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Committee 211.1-91. (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*. American Concrete Institute.
- ACI Committee 214RS-11. (2017). *Guía para la Evaluación de Resultados de Ensayos de Resistencia del Concreto*. American Concrete Institute.
- https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/214RS-11_preview.pdf
- ACI Committee 221R-96. (2001). *Guide for Use of Normal Weight and Heavyweight Aggregates in Concrete*. American Concrete Institute.
- ACI Committee 318S-08. (2008). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. American Concrete Institute.
- ACI Committee 555R-01. (2001). *Removal and Reuse of Hardened Concrete*. American Concrete Institute.
- Amaguaña, M. y Guamán, L. (2022). *Análisis de fisuración con corriente de aire inducido en placas de hormigón reforzado con fibras de estopa de coco*. [Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional]. BIBDIGITAL EPN.
- <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23329>
- Bravo, K., Lugo, Y. y Guerra, J. (2024). Uso del ladrillo reciclado triturado como sustituto del agregado fino en diseño de hormigón de 21 MPa. *Revista Científica “INGENIAR”: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 181–195.
- <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/220/318>
- Cabezas, I., Yépez, G. y Salmón, N. (2018). ¿Residuos o recursos? Impacto de la demolición en zona consolidada, Caso Quito. En *Realidades en transformación - Ciudad y urbanismo* (Número 1, p. 208). <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/3970>

- Celi, J. (2023). *Influencia en la calidad de agua en la elaboración de hormigones* [Tesis de Grado, Universidad Católica de Cuenca]. Repositorio UCACUE.
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/14103>
- Claisse, P. A. (2016). Introduction to cement and concrete. *Civil Engineering Materials*, 155–162. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100275-9.00017-6>
- De Brito, J. y Saikia, N. (2013). Recycled Aggregate in Concrete: Use of Industrial, Construction and Demolition Waste. En *Green Energy and Technology* (Vol. 54). Springer Verlag.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4540-0/COVER>
- Dharmadhikari, S. (2024). Review of Treatment Methods for Enhancing Recycled Concrete Aggregates Properties. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 12(3), 2812–2820. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2024.59486>
- Di Maria, A., Eyckmans, J. y Van Acker, K. (2018). Downcycling versus recycling of construction and demolition waste: Combining LCA and LCC to support sustainable policy making. *Waste Management*, 75, 3–21. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2018.01.028>
- Hernández, A. G. L. (2007). *Administración y Manejo de los Desechos en Proyectos de Construcción. Etapa 2: Alternativas de Manejo*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
<https://hdl.handle.net/2238/492>
- HOLCIM. (2014). *Holcim Fuerte. Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general*. Portal Directa.
https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO_GU_G.pdf
- Jácome, R. (2015). *Hormigones de alta resistencia ($f'c = 62 \text{ mpa}$) utilizando agregados del sector de Pifo y cemento armaduro especial-Lafarge* [Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4574>

- Junior, G. A. F., Leite, J. C. T., Mendez, G. de P., Haddad, A. N., Silva, J. A. F. y da Costa, B. B. F. (2025). A Review of the Characteristics of Recycled Aggregates and the Mechanical Properties of Concrete Produced by Replacing Natural Coarse Aggregates with Recycled Ones—Fostering Resilient and Sustainable Infrastructures. *Infrastructures* 2025, Vol. 10, Page 213, 10(8), 213. <https://doi.org/10.3390/INFRASTRUCTURES10080213>
- Makul, N., Fediuk, R., Amran, M., Zeyad, A. M., Klyuev, S., Chulkova, I., Ozbakkaloglu, T., Vatin, N., Karelina, M. y Azevedo, A. (2021). Design Strategy for Recycled Aggregate Concrete: A Review of Status and Future Perspectives. *Crystals* 2021, 11(6), 695. <https://doi.org/10.3390/CRYST11060695>
- Muñoz, S. P., Bayona, M. J. y Yovera, J. R. (2021). Gestión de residuos de construcción y demolición, para mitigar el impacto Ambiental y preservar nuestros recursos naturales: Una revisión de la literatura. *Ecuadorian Science Journal*, 5(2), 100–106. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8266810&info=resumen&idioma=ENG>
- NTE INEN 156. (2009). *Cemento hidráulico. Determinación de la densidad*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 1573. (2010). *Hormigón de Cemento Hidráulico. Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Hormigón de Cemento Hidráulico*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 2380. (2011). *Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 2617. (2012). *Hormigón de cemento hidráulico: Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 696. (2014). *Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Instituto

Ecuatoriano de Normalizacion.

NTE INEN 855. (2010). *Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 856. (2011). *Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa y absorción del árido fino*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

NTE INEN 860. (2011). *Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5 mm (1½") mediante el uso de la máquina de Los Ángeles*. Instituto Ecuatoriano de Normalizacion.

NTE INEN 872. (2011). *Áridos para hormigón. Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Romea, C. (2014). *El hormigón: breve reseña histórica de un material milenario*. OmniaScience Monographs.

<https://www.omniascience.com/books/index.php/monographs/catalog/download/77/311/491-1?inline=1>

Saravia Zúñiga, F. (2019). *Los agregados reciclados de concreto como una alternativa de reciclaje para los residuos de construcción y demolición* [Tesis de Grado, Universidad Científica del Sur]. Repositorio Académico Universidad Científica del Sur].

<https://hdl.handle.net/20.500.12805/1197>

Tam, V. W. Y., Soomro, M. y Evangelista, A. C. J. (2018). A review of recycled aggregate in concrete applications (2000–2017). *Construction and Building Materials*, 172, 272–292.

<https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.03.240>

Villagrán-Zaccardi, Y., Broodcoorens, L., Van den Heede, P. y De Belie, N. (2023). Fine Recycled Concrete Aggregates Treated by Means of Wastewater and Carbonation

Pretreatment. *Sustainability (Switzerland)*, 15(8), 6386.

<https://doi.org/10.3390/SU15086386/S1>

7. ANEXOS

7.1. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO GRUESO

ÁREA DE HORMIGONES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HOJA DE DISEÑO

GRANULOMETRÍA POR TAMICES (GRUESOS)

PROYECTO Tesis Leidy Guzman

LOCALIZACIÓN: Ibarra – Imbabura

MUESTRA: Muestra tomada por el cliente

CANTERA: Cantera El rey

DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón

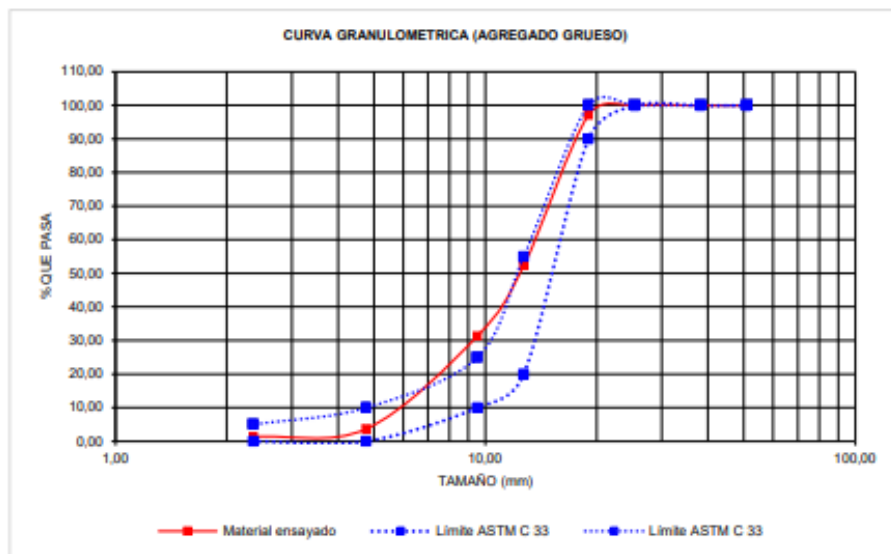
NORMA: ASTM C136

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO: 1/2 plg

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO: 3/4 plg

MASA INICIAL: 1500

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2"	50,80	0	0	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00
1"	25,40	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	43,1	43	2,87	97,13
1/2"	12,70	671,8	715	47,67	52,33
3/8"	9,51	314,7	1030	68,65	31,35
#4	4,76	415,2	1445	96,33	3,67
#8	2,36	34,7	1480	98,65	1,35
Bandeja		20,3	1500		
SUMA		1499,8			



OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

ÁREA DE HORMIGONES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HOJA DE DISEÑO

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (AGREGADO GRUESO)

PROYECTO Tesis Leidy Guaman

LOCALIZACIÓN: Ibarra – Imbabura

MUESTRA: Muestra tomada por el cliente

CANTERA: Cantera El rey

DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón

NORMA: ASTM C29

Masa de molde	2794,46	gr
Volumen de molde	1897,50	cm ³
Masa molde + material suelto	5457,20	gr
Masa molde + material compacto	5957,00	gr
Masa de material suelo	2659,74	gr
Masa del material compacto	3162,54	gr
PESO UNITARIO SUELTO	1,27	gr/cm³
PESO UNITARIO COMPACTO	1,45	gr/cm³

OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

ÁREA DE HORMIGONES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HOJA DE DISEÑO

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO GRUESO

PROYECTO Tesis Leidy Guaman

LOCALIZACIÓN: Ibarra – Imbabura

MUESTRA: Muestra tomada por el cliente

CANTERA: Cantera El rey

DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón

NORMA: ASTM C127

$$\text{Gravedad específica seca} = A / (B - C)$$

$$\text{Gravedad específica saturada con superficie seca} = B / (B - C)$$

$$\text{Gravedad específica aparente} = A / (A - C)$$

MASA DE LA MUESTRA SECA	A= 1958,50	gr
MASA DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	B= 1998,69	gr
MASA APARENTE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	C= 1251,30	gr
Gravedad específica seca	2,62	
Gravedad específica saturada con superficie seca	2,67	
Gravedad específica aparente	2,77	
Porcentaje de absorción	2,05	%

OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.



PREFECTURA DE IMBABURA



LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

DETERMINACIÓN DEL VALOR DE ABRACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 75.5 mm MEDIANTE
EL USO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

NRO: 216

OBRA: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 210 KG/ CM2 DEL HORMIGÓN REALIZADO CON AGREGADO FINO, PROVENIENTE DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN RECICLADOS (BLOQUES DE CONCRETO TRITURADOS) Y CEMENTO PORTLAND TIPO GU, EN LA CIUDAD DE IBARRA	CONTRATISTA: <i>Ing. Leidy Johana Guamán Mugmal</i> FISCALIZADOR: Entidad Contratante: FECHA: 12/6/2025
---	--

GRADACIÓN DE LA MUESTRA DE ENSAYOS SEPARADA POR TAMIZADO

TAMICES EN (mm)		MASA DE LA MUESTRA DE ENSAYO EN GRAMOS			
		GRADACIÓN			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D
37,5	25,00				
25	19,00				
19	12,50				
12,5	9,50		2500		
9,5	6,70		2500		
6,7	4,75				
4,75	2,36				
TOTAL		0,00	5000,00		

Número de esferas	11	Masa de la carga abrasiva en gramos	3338
Masa total de la muestra seleccionada antes del ensayo (A) gramos:			5000
Masa total de la muestra después de 500 revoluciones (B) = gramos:			2588
Valor de la abrasión (en porcentaje) después de 500 revoluciones (V) =			48,24%

Requisito de desgaste a la abrasión - Porcentaje máximo 50%

OBSERVACIONES:

CORREO: leidyjgm97@gmail.com

TELEF. 997398219

$\% = (A - B) / A * 100$

Visto Bueno

7.2. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO FINO

ÁREA DE HORMIGONES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HOJA DE DISEÑO

GRANULOMETRÍA POR TAMICES (FINOS)

PROYECTO Tesis Leidy Guzman

LOCALIZACIÓN: Ibarra – Imbabura

MUESTRA: Muestra tomada por el cliente

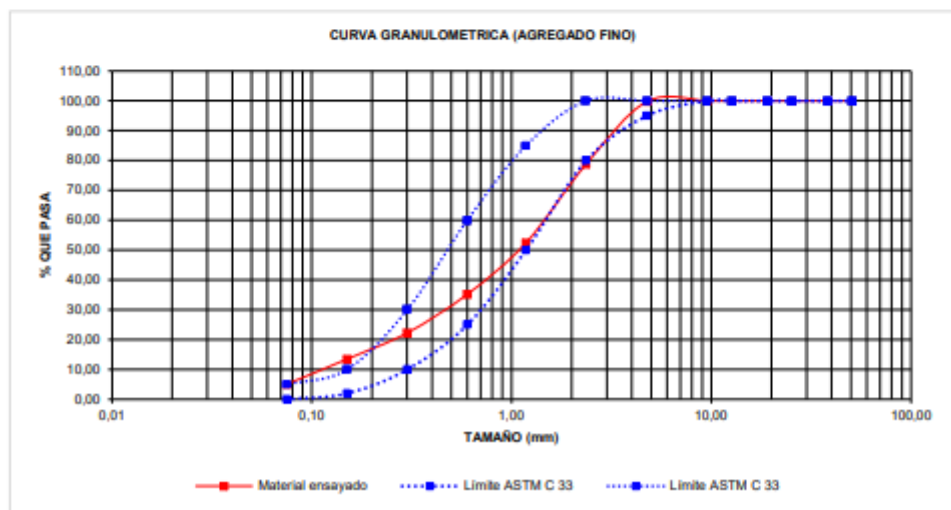
CANTERA: Cantera El rey

DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón

NORMA: ASTM C136

MODULO DE FINURA: 2,98

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2"	50,80	0	0	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00
1"	25,40	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	0	0	0,00	100,00
1/2"	12,70	0	0	0,00	100,00
3/8"	9,51	0	0	0,00	100,00
No. 4	4,76	0,6	0,6	0,18	99,82
No. 8	2,36	71,5	72,1	21,16	78,84
No. 16	1,18	89,9	162,0	47,54	52,46
No.30	0,60	58,8	220,8	64,79	35,21
No. 50	0,30	44,1	264,9	77,73	22,27
No. 100	0,15	29,8	294,7	86,47	13,53
No. 200	0,075	28,7	323,4	94,89	5,11
Pasa No. 200		17,4	17,4		
SUMA		340,8	340,8		



OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

ÁREA DE HORMIGONES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HOJA DE DISEÑO

PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS (AGREGADO FINO)

PROYECTO Tesis Leidy Guaman

LOCALIZACIÓN: Ibarra – Imbabura

MUESTRA: Muestra tomada por el cliente

CANTERA: Cantera El rey

DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón

NORMA: ASTM C29

Masa de molde	1652,0	gr
Volumen de molde	2735,0	cm ³
Masa molde + material suelto	6225,0	gr
Masa molde + material compacto	6817,0	gr
Masa de material suelto	4573,0	gr
Masa del material compacto	5165,0	gr
PESO UNITARIO SUELTO	1,67	gr/cm³
PESO UNITARIO COMPACTO	1,89	gr/cm³

OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

ÁREA DE HORMIGONES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HOJA DE DISEÑO

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN EN EL AGREGADO FINO

PROYECTO Tesis Leidy Guaman

LOCALIZACIÓN: Ibarra – Imbabura

MUESTRA: Muestra tomada por el cliente

CANTERA: Cantera El rey

DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón

NORMA: ASTM C128

$$\text{Gravedad específica seca} = A / (B + S - C)$$

$$\text{Gravedad específica saturada con superficie seca} = S / (B + S - C)$$

$$\text{Gravedad específica aparente} = A / (B + A - C)$$

Masa del matraz	152,50	gr
Masa del matraz + agua	652,50	gr
Masa, conjunto matraz, agua y muestra	957,80	gr
Masa de muestra saturada con superficie seca	500,00	gr
Masa de la muestra seca	489,10	gr
Gravedad específica seca	2,51	
Gravedad específica saturada con superficie seca	2,57	
Gravedad específica aparente	2,66	
Porcentaje de absorción	2,23	%

OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

ÁREA DE HORMIGONES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

INFORME DE ENSAYO

CONTENIDO ORGÁNICO EN EL AGREGADO FINO

PROYECTO Tesis Leidy Guaman

LOCALIZACIÓN: Ibarra – Imbabura

MUESTRA: Muestra tomada por el cliente

CANTERA: Cantera El rey

DESCRIPCIÓN: Diseño de hormigón

NORMA: ASTM C40

ENSAYO CONTENIDO ORGÁNICO	
	ESCALA GARDNER
	0
	1 X
	2
	3
	4
5	

CONTENIDO ORGANICO ACEPTABLE

SI

NO

OBSERVACIONES:

Según norma ASTM C 40; de acuerdo con la Placa Orgánica en la escala de coloración del 1 al 5 (colores de Gardner), la muestra es aceptable hasta la coloración No. 3

7.3. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO FINO RECICLADO

ÁREA DE HORMIGONES Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

HOJA DE DISEÑO

GRANULOMETRÍA POR TAMICES (FINOS RECICLADOS)

PROYECTO Tesis Leidy Gunman

LOCALIZACIÓN: Ibarra – Imbabura

MUESTRA: Muestra tomada por el cliente

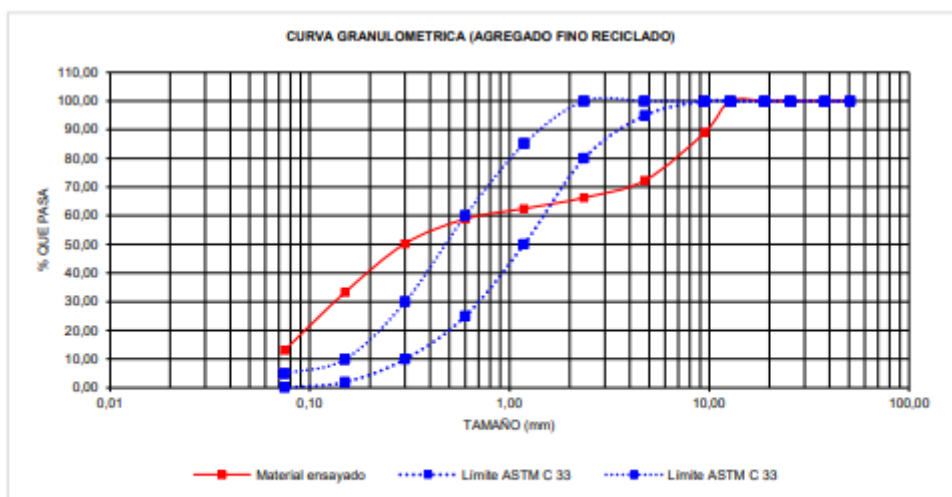
CANTERA: Cantera El rey

DESCRIPCIÓN: Obtenido de la trituration de bloques de mampostería

NORMA: ASTM C136

MODULO DE FINURA: 2,56

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2"	50,80	0	0	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0	0	0,00	100,00
1"	25,40	0	0	0,00	100,00
3/4"	19,00	0	0	0,00	100,00
1/2"	12,70	0	0	0,00	100,00
3/8"	9,51	62,48	62,5	10,85	89,15
No. 4	4,76	96,5	159,0	27,60	72,40
No. 8	2,36	35,0	194,0	33,68	66,32
No. 16	1,18	22,0	216,0	37,50	62,50
No.30	0,60	21,0	237,0	41,14	58,86
No. 50	0,30	49,0	286,0	49,65	50,35
No. 100	0,15	98,0	384,0	66,67	33,33
No. 200	0,075	116,0	500,0	86,81	13,19
Pasa No. 200		76,0	76,0		
SUMA		576,0	576,0		



OBSERVACIONES:

NOTA: Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.

7.4. DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN BASE

DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE HORMIGÓN - ACI 211 (SIN INTRODUCCIÓN DE AIRE)				
CEMENTO			RESISTENCIA REQUERIDA	
Tipo	I		f'c	210 kg/cm ²
yreal-cemento	2.91	g/cm ³		
Peso/saco	50	kg/saco		
AGUA			ASENTAMIENTO	
Densidad	1	kg/dm ³	Asentamiento esperado	4 in
			¿Se incorpora aire?	NO
AGREGADO FINO			PROBETAS	
Peso específico SSS	2.51	gr/cm ³	N° probetas	6
Absorción	2.23%		Altura	0.2 m
Contenido de humedad	2.82%	0.587%	Diámetro	0.1 m
Módulo de finura	2.98		Desperdicios	7%
AGREGADO GRUESO				
TMN	1/2	in		
Peso específico SSS	2.67	gr/cm ³		
Peso seco compactado	1452	kg/m ³		
Absorción	2.05%			
Contenido de humedad	2.77%	0.718%		
CÁLCULOS				
1) Resistencia promedio			12) Corrección por humedad del agregado	
f'cr=	294	kg/cm ²	Cemento	392.9 kg/m ³
			Agua	206.5 l/m ³
2) Tamaño máximo nominal			A. Fino	861.1 kg/m ³ Real
TMN=	1/2	in	A. Grueso	793.8 kg/m ³ Real
3) Asentamiento			13) Proporción en peso	
Asentamiento	4	in PLÁSTICA	c/c	af/c ag/c a/c
Aire incorp?=	NO		1.00	2.19 2.02 0.53
4) Volumen unitario de agua			14) Peso por tanda de un saco	
Agua req=	217	l/m ³	Cemento	50.0 kg/saco
			Agua	26.3 l/saco
5) Contenido de aire			A. Fino	109.6 kg/saco
Cont. Aire=	3%		A. Grueso	101.0 kg/saco
6) Relación agua/cemento				
a/c=	0.55	Sin corregir		
7) Factor cemento				
factor cemento=	392.90	kg/m ³		
8) Contenido de agregado grueso				
Vol agregado grueso s.c.=	0.532			
Peso agregado grueso sc=	772.5	kg		
9) Cálculo de volúmenes absolutos parciales				
Cemento	0.135	m ³		
Agua	0.217	m ³		
Aire	0.025	m ³		
A. Grueso	0.289	m ³		
Σ	0.666	m³		
10) Contenido de agregado fino				
A. Fino	837.5	kg/m ³		
11) Valores de diseño de mezcla				
Cemento	392.9	kg/m ³		
Agua	217.0	l/m ³		
A. Fino	837.5	kg/m ³ Seco		
A. Grueso	772.5	kg/m ³ Seco		

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

NFO: 216

OBRA: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 210 KG/CM² DEL HORMIGÓN REALIZADO CON AGREGADO FINO, PROVENIENTE DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN RECICLADOS (BLOQUES DE CONCRETO TRITURADO) Y CEMENTO PORTLANDS TIPO GU, EN LA CIUDAD DE IBARRA.

Ing. Ledy Guzmán

2/9/2025

FECHA:

ENTIDAD CONTRATANTE:

[illegible]

11

IMPORTANTE: 3000N es el máximo valor de carga que soporta la máquina - Unidad de conversión 1MPa = N/mm² = 10,2 kg/cm²

CORREO: jadyzdt45@gmail.com

TELEF. 9973982-19

Visto Bueno



NAPOLEON DILON
LEYTON RUANO

Ing. Civil Dillon Leyton R.
SUB DIRECTOR DE FISCALIZACIÓN

IBARRA: Bolívar y Oviedo, esq. Telfs.: (593 6) 2965 225, 2965 832, 2960 939 Fax.: (593 6) 2955 430
email: gpi@imbabura.gob.ec www.imbabura.gob.ec

