



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO, EMPLEANDO LADRILLO TRITURADO  
RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO, PARA HORMIGONES CON RESISTENCIA  
A LA COMPRESIÓN DE 180 Y 210 KG/CM<sup>2</sup>**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingenieros Civiles

AUTORES: Lesly Mishell González Boada  
Pablo Andrés Proaño Quinteros  
TUTOR: Marlon Manolo Arévalo Navarrete

Quito - Ecuador  
2022

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Lesly Mishell González Boada con documento de identificación N° 1718188806 y Pablo Andrés Proaño Quinteros con documento de identificación N° 1723680409; manifestamos que:

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

Quito, 13 de julio del 2022

Atentamente,



---

Lesly Mishell González Boada  
1718188806



---

Pablo Andrés Proaño Quinteros  
1723680409

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

Nosotros, Lesly Mishell González Boada con documento de identificación N° 1718188806 y Pablo Andrés Proaño Quinteros con documento de identificación N° 1723680409; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Análisis técnico y económico, empleando Ladrillo Triturado reciclado como Agregado Grueso, para Hormigones con resistencia a la compresión de 180 y 210 kg/cm<sup>2</sup>”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 13 de julio del 2022

Atentamente,



---

Lesly Mishell González Boada

1718188806



---

Pablo Andrés Proaño Quinteros

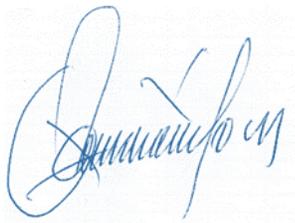
1723680409

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marlon Manolo Arévalo Navarrete con documento de identificación N° 1706746029, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO, EMPLEANDO LADRILLO TRITURADO RECICLADO COMO AGREGADO GRUESO, PARA HORMIGONES CON RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE 180 Y 210 KG/CM<sup>2</sup>, realizado por Lesly Mishell González Boada con documento de identificación N° 1718188806 y Pablo Andrés Proaño Quinteros con documento de identificación N° 1723680409, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de artículo académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 13 de julio del 2022

Atentamente,



---

Ing. Marlon Manolo Arévalo Navarrete, MSc.

1706746029

# ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO, EMPLEANDO LADRILLO TRITURADO RECICLADO COO AGREGADO GRUESO, PARA HORMIGONES ON RESISTENCIA ALA COMPRESIÓN DE 180 Y 210 KG/CM2

## THECNICAL AND ECONOMIC ANALISIS, USING RECYCLED CRUSHED BRICK WITH COARSE AGGREGATE, FOR CONCRETE WITH COMPRESSION STRENGTH OF 180 AND 210 KG/CM2

Lesly González-Boada<sup>1</sup>, Pablo Proaño-Quinteros<sup>2</sup>.

### Resumen

En esta investigación se propone realizar un hormigón experimental con material reciclado, proporcionándole una funcionalidad al ladrillo triturado como agregado grueso para distintas construcciones, que a futuro serán amigables con el medio ambiente y que además tendrá ventajas socioeconómicas.

La investigación se inició con la caracterización de los agregados grueso, fino y residuos de ladrillo triturado, mediante ensayos de laboratorio normados por la NTE INEN, que se requieren para el diseño de la dosificación de hormigón, por el método del ACI 211.1, para un diseño de 180 kg/cm<sup>2</sup> como de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Durante el proceso experimental se realizaron distintas mezclas, reemplazando el agregado grueso en proporciones de 0, 5, 15 y 25%, por residuos de ladrillo triturado y de acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de Resistencia a la Compresión, Tracción Indirecta y Módulo de

### Abstract

In this research, it is proposed to make an experimental concrete with recycled material, providing a functionality to the crushed brick as a coarse aggregate for different constructions, which in the future will be friendly to the environment and will also have socioeconomic advantages.

The investigation began with the characterization of the coarse aggregates, fine aggregates, and crushed brick residues, through laboratory tests regulated by the NTE INEN, which are required for the design of the concrete dosage, by the ACI 211.1 method, for a 180 kg/cm<sup>2</sup> design as 210 kg/cm<sup>2</sup>

During the experimental process, different mixtures were made, replacing the coarse aggregate in proportions of 0, 5, 15 and 25%, by crushed brick residues and according to the results obtained in the Compressive Strength, Indirect Tensile and Modulus tests. of Elasticity, all these carried out at an age of 28 days of curing, the percentage of reduction of concrete resistance was determined, which gradually

---

<sup>1</sup> Estudiante de la carrera de Ingeniería civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito - Ecuador

Autor para correspondencia: [lgonzalezb1@est.ups.edu.ec](mailto:lgonzalezb1@est.ups.edu.ec)

<sup>2</sup> estudiante de la carrera de Ingeniería civil – Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito - Ecuador

Autor para correspondencia: [pproanoq@est.ups.edu.ec](mailto:pproanoq@est.ups.edu.ec)

Elasticidad, todos estos realizados a una edad de 28 días de curado, se determinó el porcentaje de reducción de resistencia del hormigón, el cual fue disminuyendo gradualmente, conforme s aumentaba en proporciones el ladrillo triturado.

Finalmente, se realizó un análisis económico del diseño de hormigón en cada una de las mezclas, demostrando así una viabilidad económica, pero sin cumplir las resistencias esperadas.

**Palabras Clave:** Agregado grueso, Ladrillo triturado, Hormigón, Módulo de Elasticidad, Resistencia a la Compresión, Tracción Indirecta.

decreased, as the crushed brick increased in proportions.

Finally, an economic analysis of the concrete design was carried out in each of the mixtures, thus demonstrating economic viability, but without meeting the expected resistance.

**Keywords:** Coarse Aggregate, Crushed Brick, Concrete, Modulus of Elasticity, Compressive Strength, Indirect Tension.

# 1. Introducción

La industria de la construcción ha incrementado la generación de residuos provenientes de la demolición, fabricación defectuosa y desechos generados a lo largo del desarrollo de las obras civiles. En la actualidad no existe un control que permita la gestión en cada etapa de la construcción, debido a la falta de coordinación de acciones y a la inexistencia de normativas que regulen una disposición final adecuada y sostenible [1].

Las edificaciones son elaboradas en su mayoría con hormigones comunes, desaprovechando el uso importante que se les puede dar a los residuos para la elaboración de un tipo de hormigón ecológico. Estos tipos de desperdicios no son peligrosos para el ser humano, pero es necesario darles una serviciabilidad adecuada, para evitar la acumulación de volúmenes significativos, minimizando así el consumo de recursos naturales no renovables ampliamente manejados en edificaciones. El mal uso de estos residuos afecta de forma negativa, provocando inclusive una notable contaminación visual.

En países desarrollados se utilizan estrategias para regular el vertido de materiales de construcción, pero en nuestro país no existe un debido control de los desperdicios. En general existen algunos materiales que poseen ciertas características para ser considerados reciclables como el papel, vidrio y plástico, a los cuales se les realiza un tratamiento adecuado y de esta manera ser reutilizados. Sin embargo, los desechos de las construcciones no tienen un manejo específico, ocasionando un considerable impacto ambiental.

En todas las provincias de nuestro país existen municipios y gobiernos seccionales que en su mayoría no tienen un plan de manejo de desperdicios bien estructurado en la industria de la construcción, únicamente se han organizado planes de tratamiento de desechos comunes. La característica principal de los escombros es que

tardan cientos de años para descomponerse, y a su vez ocupan un gran volumen dentro de un área asignada para almacenarlos. Dichos residuos pueden ser reutilizados como parte de agregado grueso, para la elaboración de nuevos hormigones convencionales, obteniendo de esta manera construcciones sustentables, un factor sumamente vital para la protección y mitigación responsable del medio ambiente.

Según Pérez [2] en su artículo científico elaborado en Colombia, menciona que los resultados obtenidos en el ensayo, utilizando ladrillo triturado reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto, es viable, mientras no supere el 30% del agregado grueso, debido a que si llegará a superar este porcentaje disminuye la resistencia del hormigón y no sería viable su uso en el área de la construcción, dado que esta investigación se desarrolla en otro país, en el cual el ladrillo presenta una distinta fabricación y tipo de materiales.

Las características físicas que posee el ladrillo triturado, permiten que este sea usado como material reciclable en la construcción, por su aspecto similar al de un agregado grueso, beneficiando económicamente al constructor y al medio ambiente. Al incorporar dicho material a la mezcla, se disminuye la cantidad a usar de agregado grueso, por ende, se reduce la cantidad de material pétreo proveniente de canteras, reduciendo su explotación.

Es importante que para el diseño de hormigones posea unas buenas propiedades (buena trabajabilidad, mayor resistencia y baja densidad), pero sobre todo que se lo pueda producir con un costo adecuado. El costo de la elaboración del hormigón está relacionado al costo de la mano de obra, del equipo empleado y de los materiales de construcción. Comúnmente quien le otorga el costo final es la cantidad de cemento, porque para dosificaciones de resistencias a compresión elevadas se necesita de más cemento, aunque también el uso de aditivos

especiales puede afectar igualmente y de forma importante en su costo final.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Materiales

Para la elaboración de las mezclas de hormigón, en la investigación se emplearon materiales como: Cemento Tipo IP de la fábrica SELVALEGRE PLUS – UNACEM, agregados naturales (ripio y arena) provenientes de distribuidoras de la cantera localizada en la Mitad del Mundo, y el ladrillo se obtuvo de productores de ladrillo y teja artesanales a base de arcilla cocida en el sur de Quito por el Camal Metropolitano. Éstos fueron triturados manualmente para acercarse a la realidad de un árido grueso y de esa manera obtener diferentes granulometrías.

#### *a) Cemento*

Es un polvo que resulta de la demolición de clínker (calcinación de la piedra caliza, arcilla y hierro), yeso y aditivos. En esta investigación se trabajó con un cemento Portland Puzolánico tipo IP de uso común para todo tipo de construcción, el peso específico usado es de 2920 kg/m<sup>3</sup> determinado mediante el método del frasco del picnómetro [3].

#### *b) Agregado fino (arena)*

Son partículas que pasan el tamiz # 4 (4.75mm) y se retiene en el tamiz #200, como arenas que son producto de la desintegración de las rocas o ripio. El agregado fino tuvo un módulo de finura de 2.9 y un porcentaje de absorción de agua del 5.91%.

#### *c) Agregado grueso (ripio)*

Son partículas que retiene el tamiz #4 (4.75mm), como roca o ripio. El agregado grueso utilizado tuvo un tamaño máximo nominal de 1½ pulgadas y un porcentaje de absorción de 1.19%.

#### *d) Agua*

Para la mezcla del hormigón se utilizó agua potable de la planta de tratamiento del Troje, que cumple con las características necesarias para la elaboración de la mezcla de hormigón.

#### *d) Ladrillo*

En los alrededores de Quito existen algunas ladrilleras que elaboran sus productos de manera artesanal, las materias primas están principalmente conformadas por un 80% de arcilla, con el agregado del material ligante. En cuanto al análisis químico de la arcilla los componentes son: 45% a 70% de sílice, 10% a 40% de alúmina y 10% a 20% de agua [4].

Luego se clasifican por grupos de acuerdo al tamaño de los granos, se deben eliminar los de dimensión inferior a los 3 mm ya que son los que contienen mayor cantidad de impurezas perjudiciales.

No se usaron aditivos, pero debido a la gran absorción de agua que tiene el ladrillo y para mejorar la trabajabilidad, se procedió a saturar el ladrillo triturado minutos antes de iniciar la composición. Además, se incorporó de manera manual a la mezcla para evitar la fractura de los elementos.

### 2.2. Metodología

En el presente artículo se elaboró una investigación experimental. Es un tipo de investigación sistemática en la que el investigador es quien manipula ciertas variables independientes y así se mide las variaciones existentes. La variable independiente, le dio un efecto diferente al experimento [5]. Se realizó un análisis de los datos obtenidos mediante los diferentes ensayos. En otros términos, en este experimento, se modificó la variable hormigón, y observó su efecto en otra variable la cual fue la

incorporación del ladrillo triturado en la mezcla de hormigón.

Para la obtención de las propiedades y calidad de los materiales arena, ripio y ladrillo triturado reciclado, se realizaron distintos ensayos según se establece en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE), tanto para agregados gruesos como finos.

Previo a iniciar cada uno de los ensayos, primeramente, se mezcló 4 veces todo el material sobre una superficie plana y limpia; una vez homogenizado se realizó el cuarteo, guardamos el agregado de los extremos en costales con fundas en su interior, que evitan la pérdida del contenido de humedad, y se volvió a cuartear de nuevo los dos externos restantes, este proceso se repitió 4 veces, guardando el material de los extremos una vez cuarteado [6].

Los siguientes ensayos para el agregado grueso, fino y ladrillo triturado, en la tabla 1 se detallan cada uno de los ensayos de acuerdo a las normas:

Tabla 1: Normas para ensayos de los agregados

Caracterización del material	
<b>NTE INEN 696</b>	Análisis de la granulometría de los áridos (fino, grueso, ladrillo triturado)
<b>NTE INEN 855</b>	Obtención de impurezas orgánicas en la arena
<b>NTE INEN 857</b>	Obtención de la densidad relativa y porcentaje de absorción del árido grueso
<b>NTE INEN 856</b>	Obtención de la densidad relativa y absorción en el árido fino.
<b>NTE INEN 858</b>	Obtención de la masa unitaria (peso volumétrico) y porcentaje de vacíos
<b>INEN NTE 0860</b>	Obtención del valor de la degradación del árido grueso mediante el uso de la máquina de los ángeles.

Para la elaboración de los cilindros, se remojó la concretera e incorporó los materiales a la misma (arena, ripio, cemento y agua), se dejó mezclar hasta homogenizar la muestra. Finalizada la homogenización, se obtuvo el asentamiento de la mezcla en estado fresco, se colocó el material en los moldes que se

encontraban previamente engrasados con diésel. Después de 24 horas se desmoldó los cilindros y se curó los días necesarios de acuerdo a lo establecido a la norma para ser ensayados. En la tabla 2 se muestra cada una de las normas, que fueron necesarias para la elaboración de los ensayos de hormigón.

Tabla 2: Normas para ensayos del hormigón en estado fresco

Caracterización del hormigón	
<b>NTE INEN 1578</b>	Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento.
<b>NTE INEN 1576</b>	Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado de especímenes para ensayo.
<b>ACI 308R-16</b>	Guide to External Curind of Concrete. Curado de especímenes.

Una vez culminados los 7 y 28 días de curado, se procedió a ensayar los cilindros a compresión, tracción indirecta y módulo de elasticidad, de acuerdo a las normas en la que se establece el proceso para el ensayo de cilindros, que se encuentran en la tabla 3.

Tabla 3: Ensayos para los cilindros de hormigón

Ensayos del hormigón	
<b>NTE INEN 1573</b>	Hormigón de cemento hidráulico. Resistencia a la compresión de especímenes.
<b>NTE INEN 2648</b>	Hormigón de cemento hidráulico. Resistencia a la tracción de especímenes cilíndricos de hormigón.
<b>ASTM C - 469-02</b>	Método de prueba estándar. Módulo de elasticidad.

### 3. Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados de cada uno de los ensayos realizados en el laboratorio de ensayo de materiales, de la Universidad Politécnica Salesiana y se discute de los mismos.

#### 3.1. Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico, es un proceso mediante el cual se separan las partículas según

su tamaño y a su vez se conoce su peso por tamaño de partículas; se realizó este tanto para el agregado grueso, fino y ladrillo (triturado). Para el ripio se trabajó con una muestra de 23150 g y mediante la tamizadora eléctrica, se obtuvo un tamaño máximo nominal de 1½", en la Figura 1 observamos que la curva granulométrica del agregado grueso, se encuentra entre el límite superior y el límite inferior, considerándose así un agregado apto para la elaboración de especímenes de hormigón. Se obtuvo una precisión del 0.1% del total de la muestra, la precisión que dicta la norma NTE INEN 696 [7] es hasta 0.3% para ripio y arena, por lo tanto, la granulometría que se realizó del ripio es correcta y se puede trabajar con dichos datos.

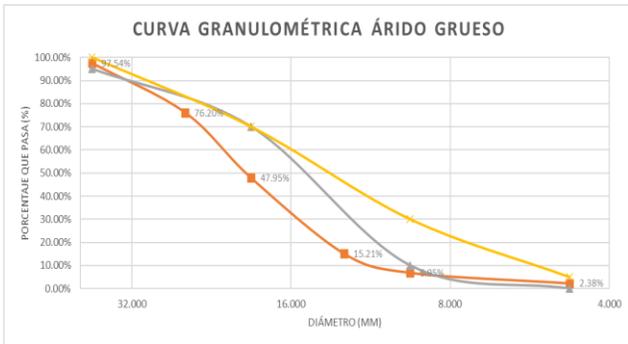


Figura 1: Curva Granulométrica del árido grueso

Para la arena se usó una cantidad de 1790 g, el cual se colocó en la tamizadora eléctrica, obteniendo un tamaño máximo nominal de 3/8", en la Figura 2 se observa que el agregado fino se encuentra entre los límites inferior y superior establecidos por la norma, siendo apto para el diseño de hormigones. Se obtuvo un módulo de finura de 2.9, mismo que se encuentra entre los límites establecidos en la norma que son (2.3 – 3.1) y una precisión del 0.16% del total de la muestra de arena, es decir, el material presenta buena trabajabilidad para la elaboración de hormigones.

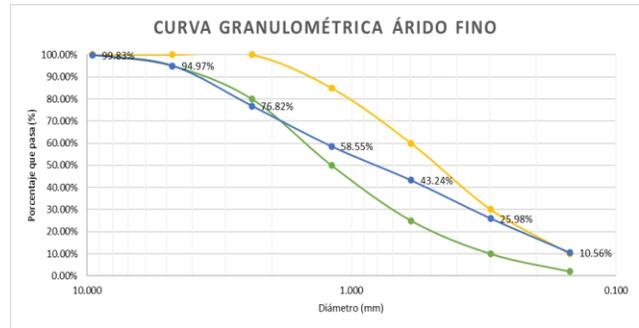


Figura 2: Curva Granulométrica del árido fino

En el análisis granulométrico de ladrillo se utilizaron 14994 g, alcanzando un tamaño máximo nominal de 1½", mediante el tamizado manual, ya que, al ser un material arcilloso y quebradizo, se perdería gran parte del material por la vibración de la tamizadora eléctrica, debido a que, por su composición tiende a separarse en partículas más pequeñas.



Figura 3: Tamizado manual del ladrillo triturado

La curva granulométrica del agregado, no dio entre los límites superior e inferior, por lo que, no es considerado un material apto para su uso en la elaboración de especímenes.

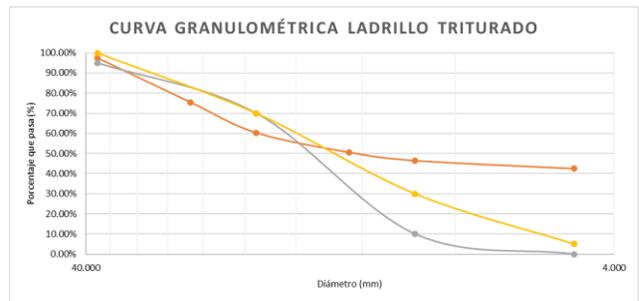


Figura 4: Curva Granulométrica del ladrillo triturado

### 3.2. Determinación de impurezas orgánicas

En el ensayo de determinación de impurezas orgánicas del árido fino, se utilizó una muestra de 300g, a la cual se le añadió hidróxido de sodio y después de 24 horas de dejarle en reposo. Una vez culminado el tiempo requerido por la norma, se observó un color café claro, perteneciente a un número de orden en el comparador de “1”, y a su vez en la escala de Gardner es “5”, que de acuerdo a la norma NTE INEN 855 [8], el mismo no contiene cantidades significativas de impurezas orgánicas, por lo que, es apto para realizar hormigón.



Figura 5: Contenido de impurezas orgánicas

### 3.3. Densidad relativa y absorción de agua para el árido grueso

Se determinó la densidad relativa de los 3 tipos de agregado que se usaron para la elaboración de cilindros de hormigón, con estos valores determinaremos también la capacidad de absorción de los agregados. Para el ripio se determinó la densidad de acuerdo a la norma NTE INEN 857 [9] y para la arena la norma NTE INEN 856 [10], mediante el método del desplazamiento de agua y método gravimétrico respectivamente.



Figura 6: Densidad del agregado fino

Para el ladrillo triturado se aplicó el método de la parafina a 3 muestras de ladrillo, sumergiéndolas en agua y tomando su peso en distintos estados. A continuación, se presenta la tabla 4 los resultados obtenidos:

Tabla 4: Densidades de los agregados

Tipo de agregado	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Ripio	2606
Arena	2347
Ladrillo Triturado	1659

La capacidad de absorción de los áridos, varía de acuerdo a los cálculos que se realizaron, ya que, al ensayar el agregado grueso, se obtuvo una capacidad de absorción de 1.19%, la arena alcanzó una capacidad de absorción de 5.91% y el ladrillo triturado 27.95%. Lo que nos permitió determinar la trabajabilidad del hormigón previo a su elaboración, es decir, la facilidad con la que se puede trabajar durante su elaboración. Es importante tomar en cuenta que, para la trabajabilidad no solo se toma en cuenta el porcentaje de absorción, sino también otros factores como la cantidad de agua a usar y tipo de cemento.

### 3.4 Masa Unitaria

Para la obtención de la masa unitaria tanto de la arena como del ripio, el ensayo se realizó 5 veces, con el fin de obtener resultados coherentes del mismo, los que presentamos en la tabla 5.

Tabla 5: Masas Unitarias de los agregados

Material	Suelto (g/cm <sup>3</sup> )	Varillado (g/cm <sup>3</sup> )
Agregado grueso	1.489	1.561
Agregado fino	1.464	1.622

### 3.5. Degradación del agregado grueso

Este ensayo se realizó, haciendo uso de la máquina de los ángeles y se obtuvo la calidad del agregado grueso, es decir, su propiedad física, misma que es indispensable para el diseño de la

mezcla. El porcentaje de abrasión del ripio fue de 55.71%, lo que no indica que es un árido de mala calidad, por lo tanto, no es apto para su uso en la construcción. De acuerdo a la norma para que un árido sea apto para la construcción, el porcentaje de abrasión tiene que ser menor al 50%. En nuestro medio este material es de uso común, por lo que, encontramos fácilmente en distribuidoras, mismas que previo a su compra no realizan un control de calidad, sino más bien, le dan prioridad a su costo.

### 3.6. Dosificación del Hormigón de 180 y 210 kg/cm<sup>2</sup>

En la elaboración de los cilindros se planteó un diseño de mezcla modelo de un hormigón convencional de resistencia a la compresión de 180 y 210 kg/cm<sup>2</sup>, partiendo como base ensayos de caracterización de los materiales como parámetros iniciales de diseño para la comparación de las mezclas con los distintos porcentajes de ladrillo triturado, basados en el criterio de diseño que establece el código ACI 211.1., determinando un valor de 250 Kg/cm<sup>2</sup> y 280 kg/cm<sup>2</sup> que resulta de sumar  $f'c + 70 \text{ kg/cm}^2$ , donde  $f'c = 180 \text{ Kg/cm}^2$  y  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.

Para todas las mezclas se mantuvo estándar el contenido en peso del cemento, y manteniendo constante el valor de la relación agua/cemento, en cuanto al agregado grueso, se sustituyó parcialmente por ladrillo triturado en diferentes proporciones del 0, 5, 15 y 25%. En la dosificación se consideró los ensayos de agregados y ladrillos triturados reciclados con la finalidad de determinar cómo afecta a la resistencia a la compresión, tracción indirecta y el módulo de elasticidad.

Las tablas 6 y 7 presentan los resultados obtenidos de los parámetros de diseño utilizados en el método del ACI 211.1 en base a las fórmulas y tablas establecidas por la misma norma [11].

Tabla 6: Parámetros de diseño mediante el Método del ACI 211.1 en un 1 m<sup>3</sup> de hormigón,  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$

Parámetro	Cantidad	Unidad
Asentamiento estimado	3	pulg
Contenido de aire	1	%
Agua de mezcla	181	lt
W/C	0.62	Adimensional
Cantidad de cemento	291.94	kg
Cantidad del agregado grueso (SSS)	1108.31	kg
Cantidad de agregado fino (SSS)	665.92	kg

Tabla 7: Parámetros de diseño mediante el Método del ACI 211.1 en un 1 m<sup>3</sup> de hormigón,  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Parámetro	Cantidad	Unidad
Asentamiento estimado	3	pulg
Contenido de aire	1	%
Agua de mezcla	181	lt
W/C	0.58	Adimensional
Cantidad de cemento	313.15	kg
Cantidad del agregado grueso (SSS)	1108.31	kg
Cantidad de agregado fino (SSS)	648.86	kg

Con las cantidades de los materiales obtenidos para 1 m<sup>3</sup> de hormigón en el método de diseño del ACI, se procedió a realizar la corrección por humedad para dejar a los agregados en la mezcla en estado saturado con superficie seca (SSS), de esta manera dar inicio al diseño de las mezclas de prueba en laboratorio.

Las tablas 8 y 9 presentan las proporciones en peso de cada uno de los agregados utilizados, para las resistencias de 180 kg/cm<sup>2</sup> y 210 kg/cm<sup>2</sup> utilizadas en las mezclas de hormigón, a fin de producir los asentamientos preestablecidos para el diseño de las mezclas en 1m<sup>3</sup> de hormigón.

Tabla 8: Diseño de mezcla de hormigón reemplazando porcentajes de agregado grueso con ladrillo triturado,  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$

Material	Cantidad de peso en kg para 1 m <sup>3</sup>
Cemento	291.94
Arena	725.32
Ripio	1140.56
Agua	141.89
Ladrillo triturado 0%	-

Material	Cantidad de peso en kg para 1 m <sup>3</sup>
Cemento	291.94
Arena	725.32
Ripio	1083.53
Agua	141.89
Ladrillo triturado 5%	57.03

Material	Cantidad de peso en kg para 1 m <sup>3</sup>
Cemento	291.94
Arena	725.32
Ripio	969.48
Agua	141.89
Ladrillo triturado 15%	171.08

Material	Cantidad de peso en kg para 1 m <sup>3</sup>
Cemento	291.94
Arena	725.32
Ripio	855.42
Agua	141.89
Ladrillo triturado 25%	285.14

Tabla 9: Diseño de mezcla de hormigón reemplazando porcentajes de agregado grueso con ladrillo triturado,  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Material	Cantidad de peso en kg para 1 m <sup>3</sup>
Cemento	313.15
Arena	706.74
Ripio	1140.56
Agua	142.41
Ladrillo triturado 0%	-

Material	Cantidad de peso en kg para 1 m <sup>3</sup>
Cemento	313.15
Arena	706.74

Ripio	1083.53
Agua	142.41
Ladrillo triturado 5%	57.03

Material	Cantidad de peso en kg para 1 m <sup>3</sup>
Cemento	313.15
Arena	706.74
Ripio	969.48
Agua	142.41
Ladrillo triturado 15%	171.08

Material	Cantidad de peso en kg para 1 m <sup>3</sup>
Cemento	313.15
Arena	706.74
Ripio	855.42
Agua	142.41
Ladrillo triturado 25%	285.14

Una vez finalizadas varias mezclas de prueba, en donde se fue modificando la cantidad de adición de agua, para alcanzar la resistencia requerida en el diseño, las cantidades de materiales no fueron suficientes para la conformación de las mezclas de hormigón, por esta razón se procedió a aumentar en un 15% la cantidad de agua en todas las dosificaciones de los diseños previamente indicados.

### 3.7. Ensayos del Hormigón en Estado Fresco

#### 3.7.1. Elaboración de Especímenes de Hormigón para Ensayo

Se optó por moldes con dimensiones de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, los mismos fueron llenados en 3 capas iguales y compactándose cada capa a 25 golpes uniformemente con una varilla de punta redondeada, para posteriormente proceder a realizar el ensayo de asentamiento a cada una de las mezclas, y ejecutar la elaboración de los cilindros que deberán fraguar verticalmente y serán sometidos a diferentes ensayos según lo establece las normas, con las diferentes mezclas

de hormigón mencionadas en las tablas 8 y 9 [12].

Se realizaron 3 réplicas para cada ensayo a los 28 días de curado (compresión, tracción indirecta y módulo de elasticidad) y 3 réplicas para cilindros de prueba a los 7 días de curado, por lo que se elaboraron un total de 12 probetas para la ejecución de los ensayos en el hormigón en estado fresco y endurecido en cada proporción de ladrillo triturado (0, 5, 15 y 25%) y resistencia (180 kg/cm<sup>2</sup> y 210 kg/cm<sup>2</sup>). Los resultados reportados en esta investigación son los valores promedios.

Para evitar la fractura inmediata del ladrillo triturado en la concreteira producto de los golpes giratorios, estos fueron incorporados poco a poco, después de terminado el proceso de mezclado de los principales elementos del hormigón, para finalmente mezclar manualmente todos los componentes del hormigón.



Figura 7. Incorporación manual del ladrillo triturado.

### 3.7.2. Ensayo de Asentamiento

El ensayo de asentamiento en laboratorio se realizó bajo la utilización de la norma NTE INEN 1578 del cono de Abrams [13], la cual consiste en llenar con hormigón fresco, un molde metálico en forma de cono truncado con dimensiones normalizadas, se compacta en 3 capas iguales de hormigón, varillando con 25 golpes respectivamente y enrasando en la parte superior del cono con una varilla lisa, una vez lleno se retira el molde y luego de su deformación, se mide la distancia de manera vertical entre la altura total del cono y la del centro desplazado de la

superficie del hormigón, verificando de esa manera si la muestra se encuentra en estado de fluidez o plasticidad.

La consistencia del hormigón en estado fresco se midió inmediatamente antes de la fabricación de las probetas de hormigón, controlando sobre todo la consistencia del hormigón en estado plástico, hasta obtener mezclas no segregables de trabajabilidad previamente establecida y con asentamientos de aproximadamente 2 a 3 pulgadas en las diferentes mezclas.



Figura 8. Método del cono de Abrams.

En todos los casos de mezclas de diseño con ladrillo triturado no se usó la incorporación de aditivos, pero para evitar la falta de agua en las mezclas con ladrillo triturado producto de la gran absorción del mismo, éstos se pusieron a saturar unos minutos antes de iniciar la mezcla para evitar la pérdida rápida de fluidez en el hormigón.

Debido a la incorporación manual del ladrillo triturado al final de la mezcla de componentes, no se realizó el ensayo del asentamiento en estas mezclas, pero la saturación del ladrillo provocó un efecto notorio en el aumento de la fluidez en las proporciones de 15 y 25% de ladrillo triturado, por lo tanto, afectando además a la resistencia por ser inversamente proporcional al contenido de agua.

## 3.8. Ensayos del Hormigón en Estado Endurecido

### 3.8.1. Condiciones de Curado

El curado es uno de los procesos más importantes del concreto, teniendo un gran impacto en todas sus propiedades, ayudando a proveer de una temperatura adecuada al proceso de hidratación. Un hormigón adecuadamente curado será más resistente, durable y no provocará fisuración, polvo, entre otras características perjudiciales para la resistencia y permeabilidad.

Luego de dejar fraguar los cilindros de hormigón, se desmoldaron respetando el tiempo específico de  $20 \pm 6$  horas a partir de su fabricación, para posterior a ello ubicarlos cuidadosamente en una piscina de curado el cual contiene agua potable saturada con cal, tal como lo indica la norma para que el proceso de hidratación se desarrolle de manera normal, y que pueda cumplir con sus características previamente diseñadas en ambas resistencias [14].

Los especímenes de prueba sirvieron para comprobar si los diseños son los correctos y permanecieron 7 días en el tanque de curado para luego ser ensayados a resistencia a compresión, en cuanto a los especímenes restantes se les sometió a 28 días de curado húmedo, para posterior a ello realizar finalmente los ensayos de resistencia a la compresión, tracción indirecta y módulo de elasticidad como lo establecen las normas.

### 3.8.2. Resultados de Resistencia a Compresión

Este ensayo prácticamente consiste en la aplicación de una carga de compresión de manera axial a los cilindros de hormigón, con una velocidad normalizada hasta que pueda ocurrir la ruptura o falla del espécimen de hormigón [15].

Las resistencias a la compresión de las diversas mezclas de hormigón para un periodo de curado húmedo de 28 días, se presentan en las tablas 10 y 11 con los resultados promedios obtenidos al ensayar 3 especímenes en el hormigón nominal y 3 especímenes en hormigones con sustitución del

agregado grueso, por ladrillo triturado en porcentajes de 5%, 15% y 25%.

Tabla 10: Resistencia a la compresión promedio para las diferentes mezclas de hormigón,  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$

Hormigón con porcentaje de sustitución de ladrillo triturado	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Disminución de resistencia con respecto a la nominal (%)
0%	195.35	-
5%	143.92	26.3
15%	86.00	53.0
25%	68.37	62.4

Tabla 11: Resistencia a la compresión promedio para las diferentes mezclas de hormigón,  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Hormigón con porcentaje de sustitución de ladrillo triturado	Resistencia a la compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Disminución de resistencia con respecto a la nominal (%)
0%	216.53	-
5%	153.01	29.3
15%	108.25	50.0
25%	76.42	64.7

Se puede apreciar claramente que la resistencia a la compresión disminuye gradualmente con la incorporación del ladrillo triturado comparada con la mezcla nominal elaborada con agregados naturales, esta disminución varía de manera abrupta en porcentajes altos, demostrando que los resultados son muy diferentes a los arrojados por un hormigón convencional, diseñado para soportar una resistencia de  $180 \text{ kg/cm}^2$  y  $210 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.



Figura 9. Ensayo de resistencia a la compresión.

Estos resultados se deben a que el diseño utiliza menor cantidad de cemento, por este motivo en consecuencia, utiliza más agregado grueso en su composición, y en efecto al sustituir el material por ladrillo triturado, éste tiende a ocupar mayor espacio en la mezcla, afectando negativamente a la resistencia, pero optimizando la cantidad de cemento y generando un costo más económico en su producción.

### 3.8.3. Resultados de Resistencia a la Tracción Indirecta

La resistencia a tracción, es empleada para elaborar diseños estructurales de elementos de hormigón, esta resistencia generalmente es mayor que la resistencia a tracción directa e inferior a la resistencia a flexión [16].



Figura 10. Ensayo de resistencia a la tracción indirecta

Las resistencias a la tracción indirecta de las diversas mezclas de hormigón para un periodo de curado húmedo de 28 días, se presentan en las tablas 12 y 13 con los resultados promedios obtenidos al ensayar 3 especímenes en el hormigón nominal y 3 especímenes en hormigones con sustitución del agregado grueso, por ladrillo triturado en porcentajes de 5%, 15% y 25%.

Tabla 12: Resistencia a la tracción indirecta promedio para las diferentes mezclas de hormigón,  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$

Hormigón con porcentaje de sustitución de ladrillo triturado	Resistencia a la tracción indirecta promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Disminución de resistencia con respecto a la nominal (%)
0%	15.96	-

5%	12.44	22.1
15%	10.65	33.3
25%	8.77	38.2

Tabla 13: Resistencia a la tracción indirecta promedio para las diferentes mezclas de hormigón,  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Hormigón con porcentaje de sustitución de ladrillo triturado	Resistencia a la tracción indirecta promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Disminución de resistencia con respecto a la nominal (%)
0%	14.03	-
5%	10.28	26.7
15%	8.48	34.6
25%	7.16	40.0

Las diversas formas angulares del ladrillo triturado, acompañado de su rugosidad benefician la unión con la pasta del cemento, por lo tanto, pueden mejorar los rendimientos de la resistencia a la tracción indirecta. Sin embargo, similar a lo suscitado en el ensayo de compresión, los resultados se distancian en gran medida con la incorporación del ladrillo triturado.

### 3.8.4. Resultados de Módulo de Elasticidad

Previo a realizar el ensayo del módulo de elasticidad, se ensayaron 3 especímenes de ensayo para determinar la resistencia a compresión, con el fin de conocer un estimado de la carga de rotura, para precargar con un 15% del promedio de resistencia de rotura y comprobar alguna irregularidad que se produzca. Las cargas corresponden a la pendiente de la curva de esfuerzo deformación del espécimen ensayado, en puntos especificados dentro de la zona elástica, el primer punto corresponde a una deformación específica de 0.000050 pulg/pulg y el segundo punto correspondiente al 40% del esfuerzo máximo de rotura del espécimen ensayado [17].



Figura 11. Ensayo de módulo de elasticidad.

Los módulos de elasticidad de las diversas mezclas de hormigón para un periodo de curado húmedo de 28 días, se presentan en las tablas 14 y 15 con los resultados promedios obtenidos al ensayar 3 especímenes en el hormigón nominal y 3 especímenes en hormigones con sustitución del agregado grueso, por ladrillo triturado en porcentajes de 5%, 15% y 25%.

Tabla 14: Módulo de Elasticidad promedio para las diferentes mezclas de hormigón,  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$

Hormigón con porcentaje de sustitución de ladrillo triturado	Módulo de elasticidad promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Disminución de resistencia con respecto a la nominal (%)
0%	186573	-
5%	156834	15.9
15%	140907	24.5
25%	121852	34.7

Tabla 15: Módulo de Elasticidad promedio para las diferentes mezclas de hormigón,  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Hormigón con porcentaje de sustitución de ladrillo triturado	Módulo de elasticidad promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Disminución de resistencia con respecto a la nominal (%)
0%	222720	-
5%	176206	20.9
15%	161877	27.3
25%	150275	32.5

Conforme al análisis de resultados arrojados del módulo de elasticidad con respecto a la resistencia a la compresión, los valores están en función de la rigidez de este material y su

magnitud depende de la resistencia del hormigón previamente determinada, acompañado también con mayor influencia de la cantidad, tipo y gradación del ladrillo triturado.

### 3.9. Análisis de Precios Unitarios

Se realizó un análisis de precios unitarios para las distintas mezclas en un metro cúbico de hormigón, con una resistencia de 180 y 210 kg/cm<sup>2</sup>. Para este análisis se tomó en cuenta el uso de equipos, mano de obra y materiales, además asumiendo que el ladrillo no posee valor económico por ser reciclado. En las tablas 16 y 17 se muestran el análisis de los precios unitarios, para cada una de las mezclas de hormigón.

Tabla 16: Análisis de precios unitarios para 1 m<sup>3</sup> de hormigón,  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$

Hormigón con porcentaje de sustitución de ladrillo triturado	Análisis de precio unitario (dólares)	Disminución de precio con respecto a la nominal (%)
0%	\$125.55	-
5%	\$124.47	0.9
15%	\$122.49	2.4
25%	\$120.42	4.1

Tabla 17: Análisis de precios unitarios para 1 m<sup>3</sup> de hormigón,  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Hormigón con porcentaje de sustitución de ladrillo triturado	Análisis de precio unitario (dólares)	Disminución de precio con respecto a la nominal (%)
0%	\$129.01	-
5%	\$127.93	0.8
15%	\$125.95	2.4
25%	\$123.88	4.0

Aquí se tiene un gran debate en cuanto al tema de economía y seguridad, ya que, el remplazo del ripio por ladrillo triturado en pequeños porcentajes, disminuye costos en construcción por ser un material reciclado y al no poseer un valor comercial. Si hablamos de

seguridad, de acuerdo a los resultados en cada uno de los ensayos, la incorporación del ladrillo para la elaboración de hormigones, no es viable por la disminución de su resistencia.

## 4. Conclusiones

Se realizó el diseño de un hormigón tradicional y uno más ligero, sustituyendo el agregado grueso por residuos de ladrillo triturado, reemplazando en proporciones de 5%, 15% y 25%, lo que disminuye notablemente la resistencia a compresión del hormigón, hasta un 29, 50 y 65% respectivamente.

Comparando los resultados con estudios similares, se puede observar que son inestables y dependen en gran medida de la calidad del ladrillo, del uso de aditivos y del diseño de la mezcla. En el presente diseño se tuvo un diseño con mayor cantidad de agregado grueso y como consecuencia, las proporciones de ladrillo fueron mayores, afectando sobre todo en los resultados de los 3 ensayos principales, a los que fueron sometidos los especímenes de hormigón en la investigación.

Al humedecer el ladrillo en las proporciones de 15 y 25%, previo a la colocación en la mezcla, se tendrá un aumento del asentamiento, permitiendo que la mezcla presente una mejor trabajabilidad, pero a su vez una disminución muy notoria, de la resistencia del hormigón, por ser inversamente proporcional al contenido de agua.

Los resultados a tracción indirecta servirán para evaluar la resistencia al corte que proporciona el hormigón de 180 y 210 kg/cm<sup>2</sup>, y en caso de realizar un estudio más exhaustivo con un hormigón de uso estructural, este servirá para determinar la longitud de desarrollo del refuerzo.

Tanto para tracción indirecta como para módulo de elasticidad, requerirán de un estudio más enfatizado a un hormigón estructural, debido a que este estudio se centra

exclusivamente al hormigón no estructural, sin la influencia de las propiedades del ladrillo hacia el acero de refuerzo.

El reemplazo del ladrillo triturado como agregado grueso en pequeñas cantidades para la elaboración del hormigón, beneficia significativamente a la cantidad de desechos que se generan en obra, a su vez disminuye la contaminación ambiental, permitiendo que este tipo de materiales sean mayormente investigados para hacer uso de los mismos.

El costo del hormigón con proporciones de ladrillo triturado, no resulta muy apreciable para pequeños volúmenes, esto se refleja al trabajar con cantidades grandes de hormigón, siempre y cuando el control de calidad no sea estrictamente necesario para alcanzar la resistencia requerida, como, por ejemplo, para un elemento de poca importancia, pero todo dependería del criterio del constructor.

## Referencias

- [1] E. Rea. "Gestión de residuos en la construcción: plan de gestión de residuos generados en construcciones de vivienda multifamiliar en el Ecuador", trabajo fin de máster, departamento de Arquitectura y Urbanismo, Cuenca, Ecuador, 2017, pp. 4.
- [2] V. Pérez. "Triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto", departamento de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia, 2012, pp. 118.
- [3] E. Maldonado, W. Coba, D. Garzón & L. Vargas. "Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión simple  $f'_c = 21\text{MPa}$  Y  $30\text{MPa}$ . Elaborado con los agregados de la mina San Joaquín provincia del Cotopaxi y el cemento Selvalegre", departamento de Ingeniería

Civil, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2012, pp. 92 - 98.

- [4] G. Aramayo, V. Buncuga, M. Cahuapé, F. Forgone, & A. Navarrete, “Hormigones con agregados livianos”, departamento de Mecánica Aplicada y Estructuras, Universidad Nacional de Rosario, Santa Fe, Argentina, 2003, pp. 5-6.
- [5] R. Hernández & C. P. Mendoza. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México: McGraw-Hill Interamericana, 2018, pp. 7.
- [6] “Áridos. Reducción de muestras a tamaño de Ensayo”, NTE INEN 2566:2010, Ecuador, 2010, pp. 2-5.
- [7] “Árido. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso”, NTE INEN 696:2011, Ecuador, 2011, pp. 2.
- [8] “Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón”, NTE INEN 855:2010, Ecuador, 2010, pp. 2.
- [9] “Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso”, NTE INEN 857:2010, Ecuador, 2010, pp. 4.
- [10] “Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino”, NTE INEN 856:2010, Ecuador, 2010, pp. 4.
- [11] “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete”, ACI PRC-211.1-91, United States of America, 2002.
- [12] “Hormigón de cemento hidráulico. Elaboración y curado en obra de especímenes para ensayo”, NTE INEN 1576:2011, Ecuador, 2011, pp. 2-7.
- [13] “Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento”, NTE INEN 1578:2010, Ecuador, 2010, pp. 1.
- [14] “Guide to External Curing of Concrete”, ACI 308R-16, United States of America, 2017, pp. 4.
- [15] “Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico”, NTE INEN 1573:2010, Ecuador, 2010, pp. 2-3.
- [16] “Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la tracción por compresión diametral de especímenes cilíndricos de hormigón”, NTE INEN 2648:2013, Ecuador, 2013, pp. 1-6.
- [17] “Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression”, ASTM C-469-02, Estados Unidos de América, 2017, pp. 2-4.