



# Universidad **Mariana**

Evaluación de la viabilidad del uso de grano de caucho reciclado (GCR) como material de aporte en unidades de mampostería de arcilla en distintos porcentajes.

Santiago Alejandro Córdoba Gomajoa

Karen Isabella Narváez Guarín

Pablo Andrés Rivera Fajardo

Juan Nicolas Zambrano Revelo

Universidad Mariana  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería Civil  
San Juan de Pasto

2023

Evaluación de la viabilidad del uso de grano de caucho reciclado (GCR) como material de aporte en unidades de mampostería de arcilla en distintos porcentajes.

Santiago Alejandro Córdoba Gomajoa

Karen Isabella Narváez Guarín

Pablo Andrés Rivera Fajardo

Juan Nicolas Zambrano Revelo

Informe final presentado para optar al título de Ingeniero Civil

Mg. José Daniel Muñoz Martínez

Asesor

Universidad Mariana  
Facultad de Ingeniería  
Programa de Ingeniería Civil  
San Juan de Pasto

2023

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son  
responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)  
Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007  
Universidad Mariana

## **Agradecimientos**

En este logro colectivo, queremos agradecer a nuestras familias y seres queridos por su apoyo incondicional, paciencia y amor. Sus palabras de aliento nos impulsaron a superar los desafíos y mantenernos enfocados en nuestra meta.

A nuestros profesores y mentores, les agradecemos por compartir su sabiduría y guía durante nuestro viaje académico. Sus enseñanzas nos han preparado para enfrentar el mundo real de la ingeniería civil con confianza y determinación.

Finalmente, a cada miembro de este equipo, aplaudimos su arduo trabajo, creatividad y perseverancia. Nuestra colaboración ha dado como resultado este trabajo de grado, una representación de nuestro compromiso con la excelencia en la ingeniería civil.

¡Felicidades a todos nosotros por este logro!

Con gratitud y aprecio,

Santiago Córdoba Gomajoa

Karen Narvaez Guarín

Pablo Rivera Fajardo

Juan Zambrano Revelo

## **Contenido**

|  | <b>Pag.</b> |
|--|-------------|
| Introducción .....                                       | 11          |
| 1. Resumen del Proyecto.....                             | 13          |
| 1.1. Descripción del Problema .....                      | 13          |
| 1.1.1. Formulación del Problema .....                    | 14          |
| 1.2. Justificación.....                                  | 14          |
| 1.3. Objetivos .....                                     | 15          |
| 1.3.1. Objetivo General .....                            | 15          |
| 1.3.2. Objetivos Específicos .....                       | 16          |
| 1.4. Marco Referencial o Fundamentos Teóricos .....      | 16          |
| 1.4.1. Antecedentes .....                                | 16          |
| 1.4.1.1. Internacionales. ....                           | 16          |
| 1.4.1.2. Nacionales. ....                                | 17          |
| 1.4.1.3. Regionales. ....                                | 18          |
| 1.4.2 Marco Teórico .....                                | 19          |
| 1.4.2.1. Ingeniería. ....                                | 19          |
| 1.4.2.2. Ambiente. ....                                  | 19          |
| 1.4.2.3. Mampostería. ....                               | 20          |
| 1.4.2.4. Clasificación de Mampostería. ....              | 20          |
| 1.4.2.5. Ensayo de Resistencia a Compresión Simple. .... | 21          |
| 1.4.2.6. Maquina Universal. ....                         | 21          |
| 1.4.2. Marco Contextual .....                            | 22          |
| 1.4.3 Marco Legal .....                                  | 23          |
| 1.5 Metodología .....                                    | 24          |
| 1.5.1. Paradigma de Investigación.....                   | 25          |
| 1.5.2. Enfoque de Investigación .....                    | 25          |
| 1.5.3. Tipo de Investigación .....                       | 25          |
| 1.5.4. Unidad de trabajo y unidad de análisis.....       | 25          |

|   |    |
|---|----|
| 1.5.5 Caracterización del Material GCR .....            | 26 |
| 1.5.5.1 Cuarteo. ....                                   | 26 |
| 1.5.5.2 Tamizaje. ....                                  | 29 |
| 1.5.5.3 Gravedad Específica. ....                       | 32 |
| 1.5.6 Construcción de las Unidades de Mampostería ..... | 32 |
| 1.5.6.1 Procesos constructivos. ....                    | 33 |
| 1.5.7 Ensayo de unidades de mampostería.....            | 37 |
| 2. Presentación de Resultados .....                     | 41 |
| 2.1 Procesamiento de la Información.....                | 41 |
| 2.2 Análisis e interpretación de resultados.....        | 54 |
| 2.2.1 Análisis Objetivo 1 .....                         | 55 |
| 2.2.2 Análisis objetivo 2.....                          | 55 |
| 2.2.3 Análisis objetivo 3.....                          | 56 |
| 2.2.4 Análisis objetivo 4.....                          | 57 |
| 2.3 Discusión.....                                      | 58 |
| 3. Conclusiones .....                                   | 61 |
| 4. Recomendaciones.....                                 | 63 |
| Referencias .....                                       | 64 |
| Anexos.....   | 66 |

## Índice de Tablas

|   | <b>Pag.</b> |
|---|-------------|
| Tabla 1 Matriz de marco legal.....                              | 23          |
| Tabla 2 Tamaño de abertura.....                                 | 42          |
| Tabla 3 Diámetro efectivo D10.....                              | 43          |
| Tabla 4 Diámetro efectivo D30.....                              | 44          |
| Tabla 5 Diámetro efectivo D60.....                              | 44          |
| Tabla 6 Coeficientes $C_u$ y $C_c$ .....                        | 44          |
| Tabla 7 Tamaño de abertura 2.....                               | 45          |
| Tabla 8 Picnómetro 1.....                                       | 46          |
| Tabla 9 Picnómetro 2.....                                       | 47          |
| Tabla 10 Picnómetro 3.....                                      | 48          |
| Tabla 11 Tabla de fuerzas aplicadas.....                        | 50          |
| Tabla 12 Presupuesto elaboración mampuestos convencionales..... | 53          |
| Tabla 13 Presupuesto mano de obra material de aporte.....       | 54          |

## Índice de Figuras

|  | <b>Pag.</b> |
|--|-------------|
| Figura 1 Maquina Universal.....                                  | 22          |
| Figura 2 Laboratorio sede Alvernia U. Mariana .....              | 23          |
| Figura 3 Masa inicial GCR.....                                   | 27          |
| Figura 4 Muestra de grano homogeneizada .....                    | 27          |
| Figura 5 Primer cuarteo.....                                     | 28          |
| Figura 6 Diagonal seleccionada de GCR para segundo cuarteo ..... | 28          |
| Figura 7 Muestra final .....                                     | 29          |
| Figura 8 Tamices .....   | 30          |
| Figura 9 Curva granulométrica GCR .....                          | 31          |
| Figura 10 Curva granulométrica Arcilla .....                     | 31          |
| Figura 11 Datos de cantidad de masa por dosificación.....        | 32          |
| Figura 12 Molde artesanal (11 x 20 x 9) cm .....                 | 33          |
| Figura 13 Preparación de material .....                          | 34          |
| Figura 14 Compactación .....                                     | 35          |
| Figura 15 Mampuestos antes del secado.....                       | 36          |
| Figura 16 Mampuestos secos después de 15 días .....              | 36          |
| Figura 17 Mampuestos después del proceso de quemado.....         | 37          |
| Figura 18 Bloque macizo de arcilla sin perforaciones .....       | 37          |
| Figura 19 Maquina Universal.....                                 | 38          |
| Figura 20 Configuración de datos .....                           | 39          |
| Figura 21 Viga base.....   | 39          |
| Figura 22 Mampuestos fallados .....                              | 40          |
| Figura 23 Gráfico granulométrico GCR.....                        | 43          |
| Figura 24 Grafica Arcilla .....                                  | 46          |
| Figura 25 Picnómetro 1 .....                                     | 47          |
| Figura 26 Picnómetro 2 .....                                     | 48          |
| Figura 27 Picnómetro 3 .....                                     | 49          |

|  |    |
|--|----|
| Figura 28 Esfuerzo – Deformación mampuestos convencionales ..... | 51 |
| Figura 29 Esfuerzo – Deformación 20% .....                       | 51 |
| Figura 30 Esfuerzo – Deformación 30% .....                       | 52 |
| Figura 31 Esfuerzo – Deformación 40% .....                       | 52 |
| Figura 32 Esfuerzo – Deformación 50% .....                       | 53 |

## **Índice de Anexos**

|  | <b>Pag.</b> |
|--|-------------|
| Anexo A. Tamaño de abertura y tamiz 1 .....    | 67          |
| Anexo B. Tamaño de abertura y tamiz 2 .....    | 68          |
| Anexo C. Tamaño de abertura y tamiz 3 .....    | 70          |
| Anexo D. Peso promedio de los mampuestos ..... | 72          |

## **Introducción**

El presente trabajo de grado está basado en la evaluación de la viabilidad del uso de grano de caucho reciclado (GCR) como material de aporte en unidades de mampostería de arcilla en distintos porcentajes, este estudio aporta de manera significativa al desarrollo de estrategias que se enfoquen en la eficiencia del uso de recursos y materiales disponibles en el país, que no solo permitan la restauración de los ecosistemas si no también el uso circular de los materiales desechados (MinAmbiente, 2018). Es por ello que es fundamental realizar una recolección selectiva que no solo favorezca la gestión ambiental si no que permita que se reutilicen de manera adecuada este tipo de materiales, para contribuir con el desarrollo sostenible.

A nivel mundial las llantas son un factor crucial en la economía, considerándolas como uno de los mayores componentes que genera mayor residuo en el mundo, pero también se considera que el buen uso de este elemento y su reutilización evitarían alteraciones en el ecosistema.

En Colombia, según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, basado en un estudio desarrollado por la Unión Temporal OCADE LTDA y otros, determinó que durante el año 1999 se desecharon 1.981.375 unidades de llantas usadas en las vías de Bogotá D.C., y a mediados de agosto del año 2010, una década 4 después, se estimó un aumento que corresponde a 2.642.938, es decir, un incremento del 25% más que el año 1999. Al ser un alto volumen de llantas, éstas se almacenan en espacios no adecuados, se queman al aire libre o se utilizan como fuente alterna de energía en hornos artesanales, generando un impacto negativo para el medio ambiente (MinAmbiente, 2010).

Al realizar esta investigación obtenemos un progreso significativo en el uso del material GCR para obras civiles y diversos proyectos que se encuentran enmarcados en la rama de la ingeniería civil sostenible. Específicamente a nivel nacional sería un gran aporte el uso de GCR como una opción que beneficie el mejoramiento en construcciones y obras civiles que contribuirán a la optimización de proyectos como este.

Finalmente, este estudio pretende clasificar las dosificaciones (20 a 50%) de GCR para fabricación de mezcla en unidades de mampostería, para con ello fabricar mampuestos experimentales con cantidades específicas de GCR que seguido de eso permitirá ensayar las unidades de mampostería construidas y revisar los requisitos de resistencia exigidos en la norma, para concluir con la estimación de la viabilidad y comportamiento de uso de grano de caucho reciclado en unidades de mampostería para la construcción.

## **1. Resumen del Proyecto**

El tema generado que permitió el desarrollo del presente trabajo de grado fue abordar de manera profunda y evidente la gran importancia del GCR y sus objetivos principales en la industria de la construcción, específicamente en la fabricación de obras civiles, realizando un énfasis en todo el proceso medioambiental y social, se menciona que por mucho tiempo este tipo de materiales fueron extraídos de las explotaciones mineras a cielo abierto que han ocasionado problemas sumamente graves en consecuencia de la gran cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) adicional a esto el impacto negativo emitido directamente a la atmósfera, se realizaron procesos de búsqueda con el fin de mitigar las consecuencias medio ambientales implementando el GCR, donde se logró comprender la rentabilidad y viabilidad de este uso de GCR y su aporte en unidades de mampostería diferenciándolo de la mampostería convencional.

Se hace aplicación del enfoque sostenible y sustentable ya que se indaga progresivamente los beneficios en términos de viabilidad distinguiendo el GCR como material de aporte determinando su comportamiento y clasificando las dosificaciones en revisión de los requisitos establecidos en las normas.

### **1.1. Descripción del Problema**

Los materiales pétreos son de gran importancia en la industria de la construcción, ya que estos son utilizados en la fabricación de obras civiles, desde las más sencillas hasta las más complejas. Además, son usados debido a su aporte de resistencia mecánica en todo tipo de proyectos de infraestructura. Este tipo de materiales son extraídos de las explotaciones mineras a cielo abierto, es decir, de las canteras, y es aquí donde se presencia uno de los problemas más graves de contaminación ambiental (Construval, 2020), debido a la variación que provoca en el terreno, a que ocasiona problemas en el colapso de los vertederos, cambios de paisaje y de ecosistemas, a la implementación de maquinaria necesaria para realizar esta extracción ya que para garantizar la funcionalidad de esta es necesario quemar combustible fósil lo que da por resultado una gran cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitida a la atmósfera.

Según la empresa ecuatoriana Petroenergía (2021), es de vital importancia considerar el impacto ambiental generado por las llantas de caucho a causa de su gran producción y su corta vida útil, teniendo en cuenta que se demora más de 100 años en degradarse y a que algunas de las formas que se utilizan para deshacerse de ellas es quemándolas a cielo abierto, generando una cantidad de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que afecta no solamente a la atmósfera, sino también la salud humana.

Las llantas usadas no son consideradas como un residuo peligroso; sin embargo, requieren ser devueltas a los productores mediante los mecanismos de recolección implementados, para favorecer principalmente el reencauche, el aprovechamiento y el reciclaje evitando que sean quemadas en espacios a cielo abierto y como combustible en actividades informales (MinAmbiente, 2022).

Es por esta razón en este trabajo, se busca mitigar el impacto ambiental de los procesos necesarios para la obtención de materias primas al igual que el generado por las llantas de caucho, en este caso buscando implementar el GCR como material de aporte en diferentes proporciones a unidades de mampostería de arcilla.

### ***1.1.1. Formulación del Problema***

¿Será viable el uso de grano de caucho reciclado (GCR) como material de aporte en unidades de mampostería, con respecto a unidades de mampostería convencional?

## **1.2. Justificación**

Desde hace algunos años se ha profundizado en la modificación y evaluación del GCR y sus diversos usos adaptados para las estructuras civiles. Según Dasgupta y Tam (2005), se ha encontrado y observado que además de mitigar problemas medioambientales en la reutilización de llantas desechas, se permite la mejora significativa de su vida útil. Es así como es necesario mencionar las razones convenientes y valiosas para implementar a las mismas mezclas de GCR.

En inicio el desecho de estas llantas representaba un problema atmosférico, es decir al apartar este residuo al aire libre se veía predispuesto a incendios forestales, Ochoa (2015), menciona que la generación de emisiones de gases afectan el sistema respiratorio, las membranas mucosas y como consecuencia se altera gran parte del sistema nervioso de la población, el lograr el buen uso de estos residuos generados por neumáticos ayudarían alcanzar un desarrollo ambiental social y económico ya que la degradación es sumamente lenta tardando un estimado de 500 años y adicionalmente generando riesgos en la descomposición final.

Lo anteriormente mencionado hace parte de un desarrollo sostenible con el fin de hallar una solución al mal manejo de este residuo a nivel nacional que se evidencia con los pocos estudios que ayudan y benefician al progreso medio ambiental de una población en específico, ya que en el mundo cada año se desechan 17 mil millones de llantas, de este modo en términos de construcción ecológica, Espinosa et al. (2014), afirman que se buscan progresivamente beneficios en términos de organización para la fabricación de mampostería y fachadas que por lo general son sometidas a esfuerzos de compresión, cargas axiales, esfuerzos cortantes y cargas dinámicas.

Una de las metas es evitar el uso y disposición de agregados pétreos como la gasolina en la maquinaria al momento de la extracción en las canteras, a causa de lo anteriormente dicho se empleó el GCR para la mampostería utilizando mejores recursos que se ajusten a las exigencias puntuales del Departamento de Nariño en la construcción de dichas estructuras.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Evaluar la viabilidad del uso de grano de caucho reciclado (GCR) como material de aporte en unidades de mampostería, determinando su comportamiento y comparándolo con respecto a unidades de mampostería convencional.

### **1.3.2. *Objetivos Específicos***

Clasificar las dosificaciones (20 a 50%) de grano de caucho reciclado para fabricación de mezcla en unidades de mampostería.

Fabricar mampuestos experimentales con cantidades específicas de grano de caucho reciclado.

Someter a pruebas las unidades de mampostería construidas y revisar los requisitos de resistencia exigidos en la norma.

Estimar la viabilidad y comportamiento de uso de grano de caucho reciclado en unidades de mampostería para la construcción.

## **1.4. Marco Referencial o Fundamentos Teóricos**

En este trabajo investigativo, se citan estudios de uso de grano de caucho reciclado en unidades de mampostería, con el fin de estudiar qué características son similares entre las distintas pruebas realizadas con este material.

### **1.4.1. *Antecedentes***

**1.4.1.1. Internacionales.** En el estudio denominado “Elaboración de ladrillos a partir de neumáticos de reuso” de Ángeles (2017) que se centró en la producción de mampostería convencional con un enfoque innovador al incorporar polvo de caucho reciclado de neumáticos. El objetivo principal del estudio fue evaluar cómo esta incorporación afecta las propiedades de resistencia mecánica y la resistencia al calor de los materiales resultantes.

Para llevar a cabo las pruebas de ladrillos fabricados con polvo de caucho, se crearon dos tipos de especímenes con dimensiones diferentes. Estos especímenes se componían de un 40% de arcilla y un 60% de polvo de caucho. A través de ensayos de laboratorio, en particular pruebas de compresión, se analizó el desempeño de estos materiales. Los resultados revelaron que los

especímenes del primer tipo alcanzaron resistencias a la compresión en el rango de 150 a 180 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, los especímenes del segundo tipo, que se asemejaban más a la mampostería convencional en cuanto a dimensiones, no cumplieron con los estándares mínimos de resistencia requeridos según la normativa NMX-C404. Esto se debió a la susceptibilidad de los materiales al calor, ya que el caucho no tolera temperaturas superiores a los 200 °C, lo que resultó en una rápida descomposición durante las pruebas de resistencia al calor.

En lo que respecta a la adherencia del mortero, se observó que era favorable debido a la textura porosa de los ladrillos fabricados con polvo de caucho. Sin embargo, se advirtió la necesidad de manejar con cuidado la dosificación del agua, ya que un exceso de agua podría causar el desmoronamiento de las piezas de mampostería. Estos hallazgos sugieren que la incorporación de caucho reciclado en la mampostería convencional es prometedora, pero requiere una atención meticulosa a los aspectos de resistencia y durabilidad, especialmente en lo que respecta a las altas temperaturas y la dosificación del mortero.

**1.4.1.2. Nacionales.** Diaz y Castro (2017), en su investigación denominada "Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá", se demostró que la implementación del GCR en los pavimentos es una alternativa para solucionar problemas de tipo mecánico y mitigar impactos ambientales que generan como consecuencia el mal manejo de las llantas deshechas.

Asimismo la adición de GCR para la modificación de las mezclas asfálticas, se traduce en una gran cantidad de beneficios, debido a que investigaciones han demostrado su avance en los últimos años, ya que este tipo de modificaciones son más duraderas con respecto a las convencionales y tienen características adicionales como las económicas a largo plazo pues disminuyen los mantenimientos, contribuyen beneficiosamente la reducción de impactos negativos para el medio ambiente y finalmente concluyen, rescatan y dan mayor relevancia a que en la mayoría de estudios que se han realizado a pavimentos con GCR, reflejan que existen otros factores que afectan los comportamientos mecánicos. Estos factores tienen que ver con la temperatura de reacción y el GCR, la granulometría de los agregados y la adición de aditivos.

Por otro lado Hernández y Parra (2016), en la investigación titulada "Evaluación del uso de elementos prefabricados de GCR en la construcción de fachadas" evidenciaron que en cuanto a los paneles GCR existe una reducción de un 47% tanto en costos de mano de obra como en tiempo para la elaboración de la fachada, con respecto a la fachada en mampostería, además se obtuvo un 12% más de tiempos con Valor Agregado, un 6% menos tiempos sin Valor Agregado y un 9% menos tiempos en términos de soporte, como conclusión podemos inferir que al realizar la construcción de la fachada de una edificación haciendo uso de los paneles prefabricados de GCR se logró un rendimiento mayor a la construcción de la misma área haciendo uso de la técnica de mampostería tradicional.

Debido a estos resultados se logra hacer más metros cuadrados en menos tiempo, sin embargo, para garantizar que en efecto esta metodología logre una reducción representativa en los costos administrativos de una obra es necesario realizar mediciones en un número mayor de muestras, es decir, más obras o proyectos en construcción que utilicen elementos prefabricados de GCR.

**1.4.1.3. Regionales.** Ayala et al. (2022), en su investigación titulada "Evaluación de la resistencia a compresión en mampostería no estructural modificada con grano de caucho reciclado (GCR)" tienen como objetivo comprobar la eficiencia del GCR para evitar los múltiples impactos negativos en el medio ambiente incrementando la utilidad del caucho después de ser desechado con el fin de aproximar beneficios en la reducción de la producción de cemento y la explotación de minas de arcilla.

Además, de los soportes anteriormente mencionados demuestran que en esta aplicación se reducen de manera significativa la emisión de gases que se generan en desarrollos como la producción de cemento ya que "por cada tonelada de cemento se produce una de monóxido de carbono" es así como realizan una caracterización del material GCR por medio de la aplicación de tamizaje automático los autores eligieron las partículas acordes de GCR, siendo estas las de tamaño N°16 y N°30.

De acuerdo a lo anterior, se hizo uso de distintos porcentajes de adición tales como 2.5% - 5.0% -7.5% para mortero y 10% - 15% para arcilla, demostrando mucha más objetividad ya que estos

procesos fueron implementados en ladrilleras y plantas de procesos prefabricados en concreto, teniendo resultados acorde a la realidad para compararlos con las resistencias mínimas requeridas por la Norma Técnica Colombiana, NTC4205 y NTC 4076 y con elementos convencionales, para determinar la factibilidad de este tipo de modificación se llevó a cabo los ensayos a compresión con el fin de conocer su resistencia; para los bloques de mortero, se efectuaron pruebas con tres dosificaciones de grano de caucho distintas, en donde se determinó que, a mayor porcentaje, menor era la resistencia de las muestras, mientras que los bloques de arcilla tuvieron un comportamiento adecuado ante este material, ya que, con las dosificaciones, su resistencia a compresión simple se incrementó hasta en un 60.5%.

### ***1.4.2 Marco Teórico***

En este capítulo se realizará una recopilación y organización con bases teóricas de los conceptos básicos del tema de estudio, de tal forma que ayude orientar y entender con más claridad el tema propuesto.

**1.4.2.1. Ingeniería.** Ingeniería civil: es la disciplina encargada de llevar a cabo toda clase de infraestructuras que la sociedad necesita para su desarrollo, siempre tratando de realizarlas de la manera más económica y sostenible posible. Para ello debe ser capaz de comprender multitud de factores (técnicos, económicos y sociales) que afectan de un modo u otro a las infraestructuras y actuar en consecuencia (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO, 2021).

Ingeniería Civil Sostenible: es la ingeniería que incorpora en todas sus fases, criterios sostenibles, con el fin del desarrollo de los procesos de una manera que no se ponga en peligro el medio ambiente ni se agoten los recursos existentes (UNESCO, 2021).

**1.4.2.2. Ambiente.** Medio ambiente: es el espacio en el que se desarrolla la vida de los distintos organismos favoreciendo su interacción. En él se encuentran tanto seres vivos como elementos sin vida y otros creados por la mano del hombre (Barreto y León, 2009).

Impacto ambiental: es la alteración o modificación que causa una acción humana sobre el medio ambiente. Debido a que todas las acciones del hombre repercuten de alguna manera sobre el medio ambiente (Consultoría Ambiental, 2018).

**1.4.2.3. Mampostería.** Es un sistema tradicional de construcción, el cual consiste en la organización y apilamiento de elementos manualmente para fabricar muros o divisiones que pueden tener diversos fines (Espinosa, 2001).

Mampuesto: elemento o pieza que se utiliza para levantar muros y realizar cerramientos en las estructuras, los más comunes son, ladrillos de arcilla cocida, bloques de adobe o suelo cemento, bloques de concreto y piedras talladas o estado natural (Manzur, 2009).

**1.4.2.4. Clasificación de Mampostería.** Mampostería de cavidad reforzada: Es la construcción realizada con dos paredes de piezas de mampostería de caras paralelas reforzadas o no, separadas por un espacio continuo de concreto reforzado, con funcionamiento compuesto (Asocretos, 2022).

Mampostería reforzada: Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero (Asocretos, 2022).

Mampostería parcialmente reforzada: Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero (Asocretos, 2022).

Mampostería no reforzada: Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero que no cumple las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada (Asocretos, 2022).

Mampostería de muros confinados: Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero, reforzada de manera principal con elementos de concreto reforzado construidos alrededor del muro, confinándolo (Asocretos, 2022).

Mampostería de muros diafragma: Se llaman muros diafragma de mampostería a aquellos muros colocados dentro de una estructura de pórticos, los cuales restringen su desplazamiento libre bajo cargas laterales (Asocretos, 2022).

Mampostería reforzada externamente: Es la construcción de mampostería en donde el refuerzo se coloca dentro de una capa de revoque (pañete) fijándolo al muro de mampostería mediante conectores y/o clavos (Asocretos, 2022).

No Estructural: Para la elaboración de muros divisores o fachadas, debido al comportamiento de la estructura al ser sometida a esfuerzos de compresión, cargas axiales y esfuerzos cortantes, por lo general NO actúan en conjunto con la parte estructural de la edificación (Asocretos, 2022).

**1.4.2.5. Ensayo de Resistencia a Compresión Simple.** El ensayo de resistencia a compresión simple sirve para determinar los esfuerzos de rotura de los elementos con el fin de medir la resistencia a compresión de las unidades de mampostería que corresponden a la carga axial máxima que se puede aplicar en determinada área sin superar los límites máximos de deformación permitida (Álvarez-Quintero, 2019).

**1.4.2.6. Máquina Universal.** Se denomina «universal» a una máquina de ensayos universal o máquina de ensayos de tracción-compresión porque tiene la capacidad de llevar a cabo una gran variedad de ensayos estáticos, incluidos los ensayos de tracción y compresión, flexión, de pelado y adhesión, así como otros ensayos mecánicos (Zwick-Roell, 2022).

## **Figura 1**

### *Maquina Universal*



*Nota.* Fuente: Google-s.f.

#### **1.4.2. Marco Contextual**

Esta investigación se clasifica en la rama de Ingeniería Civil Sostenible ya que el objetivo se desarrolló en cuanto a la satisfacción de las necesidades actuales “sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas” y garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social.

En Colombia como en muchos otros países cada vez se habla más sobre el desarrollo sostenible, pero no solo esto, también son muchos los proyectos sustentables, programas y políticas que buscan hacer, en este país, al desarrollo económico más sostenible, ya que Colombia es un país que alberga gran porcentaje de biodiversidad mundial, esto hace que sea de vital importancia la protección del medio ambiente.

El lugar para la realización de estos ensayos es el laboratorio ubicado en la sede Alvernia de la Universidad Mariana de la ciudad de Pasto ubicada en el Departamento Nariño para ensayos de ingeniería, dado que estos cuentan con un alto grado de impacto en investigaciones. La Universidad Mariana (2020) afirma: “Los laboratorios están diseñados para cumplir funciones investigativas en el campo de las ciencias básicas y específicas en todas las ramas de la Ingeniería y también para

brindar apoyo a la comunidad en la prestación de servicios integrales y hacer prácticas experimentales de toda índole.

## **Figura 2**

*Laboratorio sede Alvernia U. Mariana*



### **1.4.3 Marco Legal**

Al realizar el estudio de la normatividad vigente y aplicable a la investigación se encontró la siguiente normativa descrita a continuación:

#### **Tabla 1**

*Matriz de Marco legal*

| <b>NORMA</b>                                  | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |
|---|---|
| <b>Mampostería de arcilla cocida NTC 4205</b> | Esta norma fija los parámetros con que se determinan los diferentes tipos de unidades y establece requisitos que deben cumplir los ladrillos. |
| <b>Características Físicas NTC 4076</b>       | Esta norma establece los requisitos para unidades de mampostería, perforadas o  |

---

|  |   |
|--|---|
|  | macizas (bloques o ladrillos), de concreto, elaboradas con cemento hidráulico, agua.  |
| <b>Clasificación de tamaños I.N.V.E 213</b>  | Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de los agregados grueso y fino de un material, por medio de tamizado |
| <b>Determinación de gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos I.N.V.E 128-13</b> | Esta norma describe el procedimiento que se debe seguir para determinar la densidad promedio de partículas sólidas de los suelos, empleando un picnómetro con agua.                       |
| <b>Determinación de masa unitaria y densidad relativa I.N.V.E 136</b>                              | Este método tiene por objeto indicar el procedimiento que se deberá seguir para determinar la masa unitaria mínima y la masa unitaria máxima de una arena seca                            |

---

## **1.5 Metodología**

En el proyecto de investigación propuesto, se buscó evaluar la viabilidad de utilizar grano de caucho como un material adicional en unidades de mampostería no estructural. El objetivo es contribuir a la práctica de la ingeniería civil sostenible, dado que este campo tiene un impacto ambiental negativo conocido. Las construcciones afectan los ecosistemas y generan una gran cantidad de contaminación durante la producción.

Conforme a ello se tendrá en cuenta los pasos para desarrollar la obtención de los porcentajes de grano de caucho reciclado hasta lograr el análisis final contemplando si es viable el uso de este material en unidades de mampostería.

### ***1.5.1. Paradigma de Investigación***

El paradigma más apropiado para el desarrollo de esta investigación se especifica en el marco cuantitativo con diseño experimental que permite comprender frecuencias, patrones, promedios y correlaciones, entender relaciones de causa y efecto, hacer generalizaciones y probar o confirmar teorías, hipótesis o suposiciones mediante un análisis estadístico. De esta manera, los resultados se expresan en números o gráficos.

### ***1.5.2. Enfoque de Investigación***

Según el tipo de datos obtenidos, esta investigación es de tipo cuantitativo, debido a que trata de optimizar el uso de materia prima implementando el grano de caucho reciclado (GCR) a diferentes porcentajes.

### ***1.5.3. Tipo de Investigación***

La investigación según su dimensión temporal es de tipo experimental, debido a que es una idea innovadora que busca mitigar el impacto medioambiental que genera la extracción de materiales pétreos, sustituyendo estos con grano de caucho reciclado (GCR) y también debido a que estudia la viabilidad de este material como material de aporte en una unidad de mampostería

### ***1.5.4. Unidad de trabajo y unidad de análisis***

En el caso de esta investigación, se elige el diseño de mampostería maciza de tipo no estructural, se tiene en cuenta que en el municipio de Pasto esta es una de las más fabricadas, además es la que mayor demanda tiene en el sector ladrillero. Por esta razón se toma como base las medidas convencionales con las que se fabrican en el municipio las cuales se indican en la siguiente figura con el fin de utilizarlas para realizar la mampostería con GCR.

### **1.5.5 Caracterización del Material GCR**

Para llevar a cabo el proceso de caracterización se debe tener en cuenta el proceso granulométrico, que normalmente sirve para determinar las características de un suelo en estudio, por ende, para esta investigación se realiza para conocer las aptitudes físicas del material, si es apto o no para usarse en construcción. En esta caracterización se resaltan partes esenciales como lo son, la etapa de cuarteo, la etapa de tamizaje y realización de la curva granulométrica y la caracterización del GCR según su densidad para poder conocer la dosificación en gramos que será usada en cada mampuesto, como se detalla a continuación:

**1.5.5.1 Cuarteo.** Por medio de este método se realiza la toma de una muestra representativa del material a partir de una cantidad máxima y poco homogénea de la muestra que oscila entre los 5 y 6 Kg, una vez seleccionada la muestra base se la coloca sobre un plástico amplio y limpio que facilite el proceso de división del material en cuatro partes iguales, seleccionando cualesquiera de las dos partes que se oponen diametralmente para repetir el procedimiento y siguiente a esto obtener una muestra aceptable para realizar el ensayo granulométrico. Este método (Método B – Cuarteo Manual) se realiza de forma manual contemplando las especificaciones que se encuentran presentes en la norma INV E-202- 13, dentro del manual del Instituto Nacional de Vías.

Este procedimiento se realiza en el Laboratorio de Materiales de la sede Alvernia de la Universidad Mariana, se inicia determinando la masa de la muestra del material en cuestión, la cuál es de 6 Kg para objetivo de esta investigación como se puede observar en la figura 3.

**Figura 3**

*Masa inicial GCR*



**Figura 4**

*Muestra de grano homogeneizada*



Se procede a mezclar el material durante un tiempo determinado, lo cual asegura una correcta homogeneización de la muestra (Figura 4) para luego proceder a realizar el cuarteo sobre una lona

impermeable para que la humedad no afecte en el momento de hacer el respectivo proceso de división del material, como se muestra en la Figura 5.

**Figura 5**

*Primer cuarteo*



**Figura 6**

*Diagonal seleccionada de GCR para segundo cuarteo*



Se selecciona la diagonal deseada desechando el resto de muestra (Figura 6) y se repite el proceso de cuarteo con el material seleccionado, con el fin de obtener la cantidad necesaria para llevar a cabo el ensayo de granulometría que para este caso tiene una masa de 3 Kg como se evidencia en la Figura 7.

**Figura 7**

*Muestra final*



**1.5.5.2 Tamizaje.** Es un proceso físico mecánico en el cual se separan las partículas sólidas con el fin de caracterizar el material al conocer su distribución de tamaño de partículas y posteriormente a eso comparar esta granulometría con la del suelo de la ladrillera que fue tamizado con anterioridad para poder determinar el tamaño de partícula que será usado durante la investigación. Este proceso se realiza de manera mecánica en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Mariana, como se evidencia en la Figura 8.

**Figura 8**

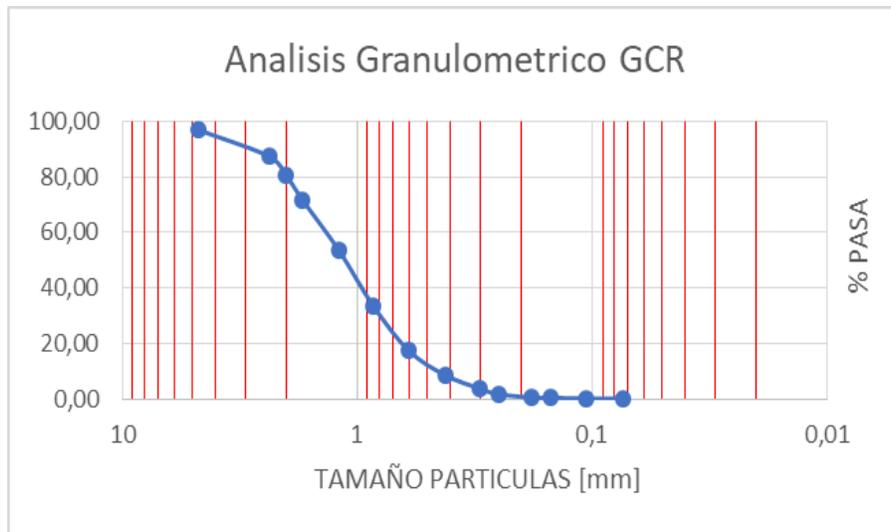
*Tamices*



Una vez realizado el proceso de tamizaje, se pesa el material retenido en cada uno de los tamices tanto para el GCR como para el suelo arcilloso de la ladrillera y se organiza los datos en tablas para así poder graficar la curva granulométrica de cada material como se evidencia en las figuras 9 y 10.

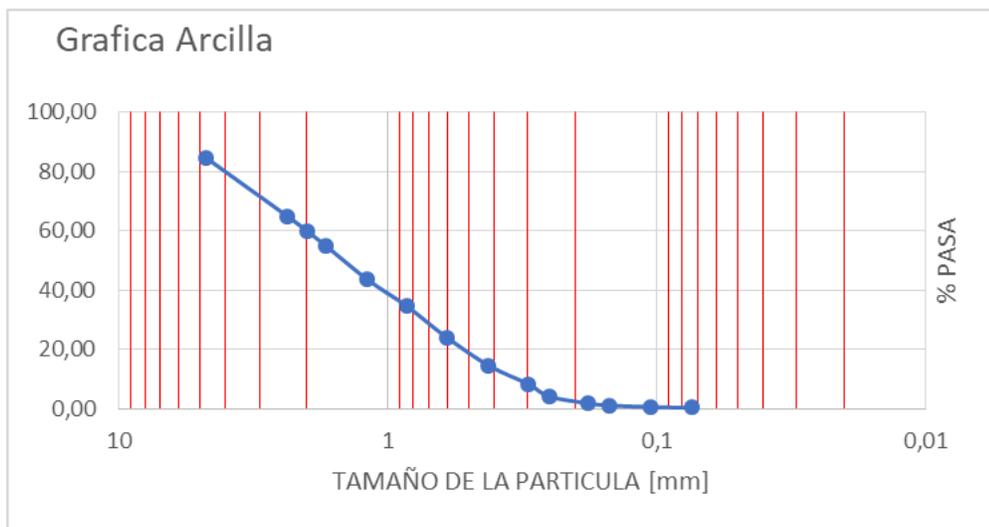
**Figura 9**

*Curva granulométrica GCR*



**Figura 10**

*Curva granulométrica Arcilla*



A partir de lo anterior se escoge un tamaño de partícula de GCR que pase el tamiz #40 y sea retenido en el tamiz #50, esto debido a que en el momento de comparar la granulometría del GCR y la del suelo de la ladrillera se tiene que este tamaño de partícula es el único del material que es

fino y del que se puede sacar la suficiente cantidad como para realizar todos los mampuestos, ya que lo más óptimo sería que el tamaño de partícula escogido sea pasante del tamiz #200 pero debido a la caracterización del GCR esto no resulta factible.

**1.5.5.3 Gravedad Específica.** Se realiza este procedimiento basándose en la norma INV E-128-13 para determinar la densidad de la partícula de GCR y así poder establecer la masa correcta que será usada para cada mampuesto debido a que las dosificaciones se calcularon a partir del volumen y no a partir de la masa de este, puesto que al ser la arcilla y el GCR materiales disímiles poseen diferentes densidades y no resulta posible asignar la dosificación con base en datos de cantidad de materia.

De este procedimiento se obtuvieron datos de densidad relativa promedio de 1203 Kg/m<sup>3</sup> para el GCR y de cantidad necesaria de masa como se evidencia en la Figura 11.

**Figura 11**

*Datos de cantidad de masa por dosificación*

|  |    |   |       |
|--|----|---|-------|
| <b>Densidad GCR establecida Kg/m<sup>3</sup></b> |    | 1203  |       |
| Volumen ladrillo macizo m <sup>3</sup>           |    | 0.00198   |       |
| Porcentaje de aporte GCR (%)                     | 20 | Masa necesaria de GCR para cada dosificación (Kg) | 0.476 |
|  | 30 |   | 0.714 |
|  | 40 |   | 0.952 |
|  | 50 |   | 1.191 |

### ***1.5.6 Construcción de las Unidades de Mampostería***

El ladrillo es uno de los elementos de construcción más ancestrales, que se elabora a partir de la cocción de cerámica o arcilla, ha sido una presencia constante y esencial en la industria de la albañilería a lo largo de la historia. Su distintiva configuración en forma de prisma rectangular no solo le otorga una apariencia reconocible, sino que también le dota de notables propiedades que

garantizan su excepcional capacidad para soportar fuerzas de compresión, lo que lo convierte en un material de elección en diversas aplicaciones constructivas.

**1.5.6.1 Procesos constructivos.** Para la fabricación de los mampuestos con GCR lo primero que se realiza es el molde artesanal en madera de dimensiones: 11 x 20 x 9 cm de alto, largo y ancho respectivamente como se muestra en la figura 12. Debido a la complejidad en la fabricación de los ladrillos haciendo uso de la maquinaria convencional, se hace uso de este método manual de prensado ya que de otra manera no se podría asegurar la exactitud de la dosificación de material de aporte en cada mezcla de mampuesto y además sería posible que exista una pérdida de material en el momento de la prensada del ladrillo usando la máquina prensadora.

### **Figura 12**

*Molde artesanal (11 x 20 x 9) cm*



Posteriormente se procede a realizar la mezcla de arcilla y grano de caucho de manera que se consiga una homogeneización adecuada como se muestra en la Figura 13.

**Figura 13**

*Preparación de material*



Asimismo, al producto obtenido es necesario agregarle una cantidad aproximada de 100 ml de agua para que la mezcla sea fácilmente manipulable y logre obtener una mayor compactación en el molde utilizado como se muestra en la figura 14, sin permitir que se desmorone cuando este sea retirado para posterior secado del espécimen, cabe resaltar que este procedimiento se realiza en todos (15) los mampuestos fabricados.

**Figura 14**

*Compactación*



Al terminar la fabricación de los mampuestos, estos se organizan para realizar su primer secado a temperatura ambiente, evitando el contacto directo con la luz solar o con alguna partícula encontrada en el ambiente que pueda contaminar el mampuesto y afecte su comportamiento (Figura 15).

**Figura 15**

*Mampuestos antes del secado*



Se espera un tiempo aproximado de 15 días para garantizar que el espécimen este seco y así continuar a realizar el proceso de quemado del ladrillo que dura aproximadamente entre 7 y 10 días. Esto se evidencia en las Figuras 16 y 17.

**Figura 16**

*Mampuestos secos después de 15 días*



**Figura 17**

*Mampuestos después del proceso de quemado*

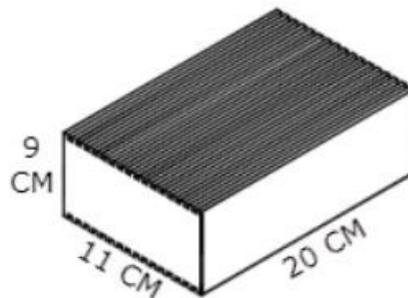


**1.5.7 Ensayo de unidades de mampostería**

El tipo de bloque fabricado en esta investigación se clasifica como un bloque macizo de arcilla sin perforaciones de dimensiones (11 x 20 x 9) cm, como se identifica en la Figura 18. Para esta investigación se obtuvieron 12 mampuestos en total, 3 de cada porcentaje de dosificación y aparte se realizaron 3 mampuestos convencionales más. (Tabla 11)

**Figura 18**

*Bloque macizo de arcilla sin perforaciones*



Con los bloques de mampostería ya quemados, se procede a realizar un ensayo de compresión en la maquina universal, ubicada en los laboratorios de la Universidad Mariana (Sede Alvernia). (Figura19)

**Figura 19**

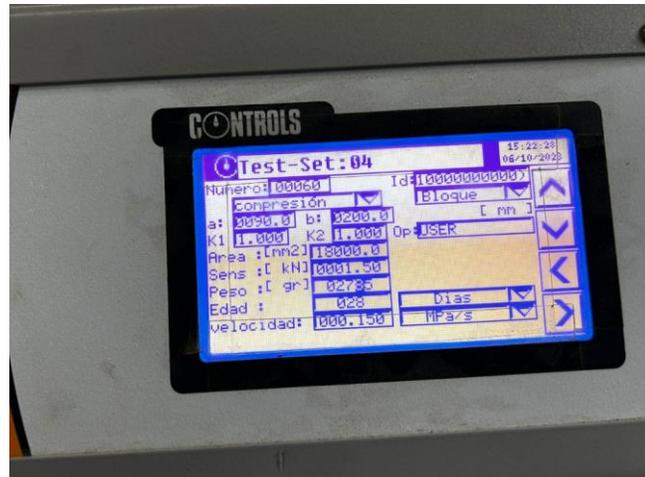
*Maquina Universal*



Se inicia con la configuración de datos de los mampuestos para así dar inicio al procedimiento de compresión, en el panel se ingresan datos como el peso del mampuesto, dimensiones (ancho por altura), la edad de los mampuestos y el tipo de ensayo que se va a realizar como se observa en la Figura 20.

**Figura 20**

*Configuración de datos*



Para garantizar el recubrimiento total del bloque de mampostería y que así se obtenga un esfuerzo a compresión uniforme en todo el bloque se realizan los ensambles de platinas en forma de viga que cuenten con una dimensión mayor a la del mampuesto, como se puede observar en la Figura 21.

**Figura 21**

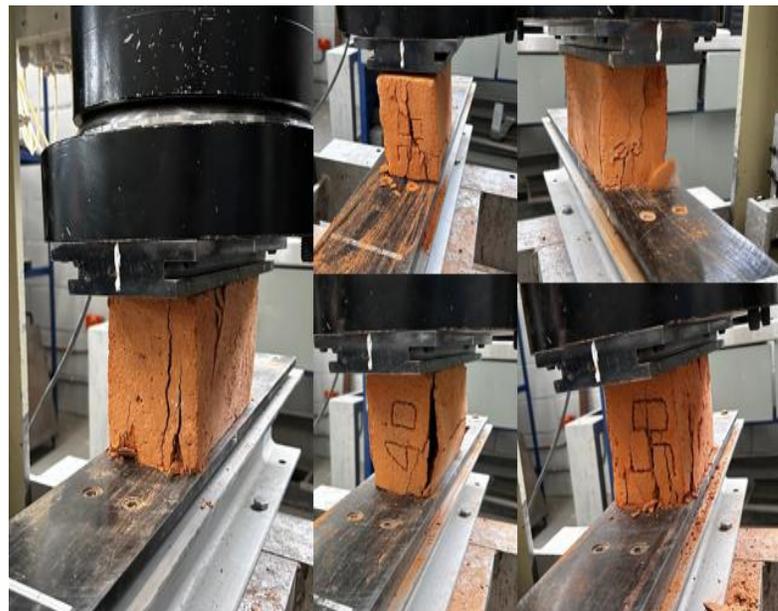
*Viga base*



El ensayo finaliza una vez hayan fallado las unidades de mampostería y la maquina universal se detenga para que permita observar el estado del mampuesto, teniendo como resultado la compresión que se ejerció en el ladrillo. En la Figura 22 se muestran algunos de los mampuestos fallados.

**Figura 22**

*Mampuestos fallados*



## **2. Presentación de Resultados**

A partir de la metodología realizada en esta investigación se obtuvieron los siguientes datos.

### **2.1 Procesamiento de la Información**

La elección del tamaño de partícula del material de aporte (GCR) que se utilizó para llevar a cabo esta investigación fue determinada por el análisis granulométrico realizado a cada material en cuestión, (GCR y arcilla), de esto se obtuvo que la partícula predominante en el suelo de la ladrillera era la partícula que pasaba por el tamiz #200, por lo tanto el tamaño de partícula que debía escogerse para el GCR debía asemejarse a la predominante en la arcilla pero este material en su gran mayoría contenía partículas que superaban por mucho su tamaño, teniendo que el tamaño de partícula que predominaba en este material (GCR) era el retenido en el tamiz #4 y #8, por lo tanto al ser este tamaño superior al necesario para el procedimiento se escoge la partícula que pasa por el tamiz #40 y se retiene en el #50 ya que este era el único tamaño de partícula del cual se podía conseguir la suficiente cantidad para realizar todos los mampuestos.

El volumen de un ladrillo de arcilla cocida convencional es de  $0.00198 \text{ m}^3$ , a partir de este valor se determina cada porcentaje de dosificación para luego proceder a realizar el cálculo correspondiente para encontrar la masa que será necesaria para cada mampuesto. Para esto se realiza el ensayo de gravedad específica de las partículas sólidas empleando un picnómetro con agua y se determina que la densidad del GCR es de  $1203 \text{ Kg/m}^3$ . Conseguido este resultado se calcula la masa para cada porcentaje de dosificación multiplicando el valor de la densidad por el obtenido de cada porcentaje de volumen, resultando en valores de 0.476 Kg para el 20 %, de 0.714 Kg para el 30%, de 0.952 Kg para el 40% y de 1.191 Kg para los mampuestos del 50% de dosificación (Figura 11).

Una vez realizado el proceso de fabricación de los mampuestos con las cantidades de GCR ya mencionadas se procede a realizar el ensayo de compresión para evaluar su comportamiento y resistencia, lo cual resultó en valores de resistencia promedio de  $21.176 \text{ kgf/cm}^2$  para los mampuestos convencionales, de  $14.123 \text{ kgf/cm}^2$  para los mampuestos realizados con el 20%, de

11.064 kgf/cm<sup>2</sup> para los mampuestos realizados con el 30%, de 10.112 kgf/cm<sup>2</sup> para los mampuestos realizados con el 40% y de 9.856 kgf/cm<sup>2</sup> para los mampuestos realizados con el 50%. (Tabla 11)

Se realizó el presupuesto de la elaboración de 15000 ladrillos convencionales, teniendo en cuenta cuánto cuesta realizar las diferentes actividades constructivas para llevar a cabo su fabricación y se obtuvo que un ladrillo convencional cuesta aproximadamente \$398 COP en el mercado regional. De manera similar se realizó el presupuesto para el GCR con un porcentaje de dosificación del 20% y se observó que tan solo en la mano de obra para obtener la cantidad necesaria de material de aporte para los mismos 15000 ladrillos se debe realizar una inversión de aproximadamente 80 millones, lo cual resulta en que cada ladrillo salga al mercado con un valor de aproximadamente \$ 5.200 COP.

A continuación, se muestra la metodología para procesamiento de información establecida mediante gráficos y tablas.

**Tabla 2**

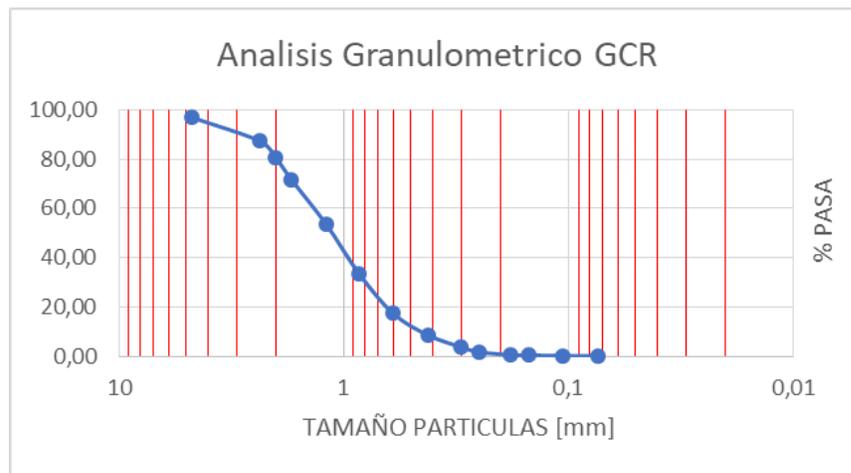
*Tamaño de abertura*

| No de Tamiz | Tamaño de abertura [mm] | Peso que pasa [g] | % Retenido | % Pasa |
|-------------|-------------------------|-------------------|------------|--------|
| 4           | 4,75                    | 93                | 3,04       | 96,96  |
| 8           | 2,36                    | 295               | 9,65       | 87,31  |
| 10          | 2                       | 210               | 6,87       | 80,44  |
| 12          | 1,7                     | 272               | 8,90       | 71,54  |
| 16          | 1,19                    | 556               | 18,19      | 53,35  |
| 20          | 0,85                    | 610               | 19,95      | 33,40  |
| 30          | 0,6                     | 491               | 16,06      | 17,34  |
| 40          | 0,42                    | 267               | 8,73       | 8,60   |
| 50          | 0,3                     | 146               | 4,78       | 3,83   |
| 60          | 0,25                    | 62                | 2,03       | 1,80   |
| 80          | 0,18                    | 36                | 1,18       | 0,62   |
| 100         | 0,15                    | 3                 | 0,10       | 0,52   |
| 140         | 0,105                   | 9                 | 0,29       | 0,23   |
| 200         | 0,074                   | 3                 | 0,10       | 0,13   |

Se elaboró la tabla previa con el fin de permitir la elaboración de la curva granulométrica del material (Figura 21). Esta curva es indicativa de la calidad del proceso de ensayo de granulometría, ya que su forma refleja si el ensayo se ha realizado correctamente. En este caso, la forma de la gráfica es adecuada, lo que señala que el ensayo ha sido realizado de manera correcta y precisa.

**Figura 23**

*Gráfico granulométrico GCR*



Después de realizar la curva granulométrica se realiza el cálculo de los diámetros efectivos de las partículas D10 (Tabla 3), D30 (Tabla 4) y D60 (Tabla 5), correspondientes a los pasantes del 10%, 30% y 60% de la muestra del GCR.

**Tabla 3**

*Diámetro Efectivo D10*

| Diámetro Efectivo D10 |      |
|-----------------------|------|
| Abertura 1            | 0,42 |
| Abertura 2            | 0,3  |
| Pasante 1             | 8,6  |
| Pasante 2             | 3,3  |
| Resultado             | 0,39 |

**Tabla 4**

*Diámetro Efectivo D30*

| Diámetro Efectivo D30 |       |
|-----------------------|-------|
| Abertura 1            | 0,85  |
| Abertura 2            | 0,6   |
| Pasante 1             | 33,4  |
| Pasante 2             | 17,34 |
| Resultado             | 0,797 |

**Tabla 5**

*Diámetro Efectivo D60*

| Diámetro Efectivo D60 |       |
|-----------------------|-------|
| Abertura 1            | 1,7   |
| Abertura 2            | 1,19  |
| Pasante 1             | 71,54 |
| Pasante 2             | 53,34 |
| Resultado             | 1,377 |

Posteriormente a la obtención de los diámetros efectivos se determinan los coeficientes de curvatura como también los de uniformidad, según lo establecido en la norma INV-181-13, se puede observar los valores en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Coefficientes Cu y Cc*

| Coeficientes |      |
|--------------|------|
| <b>Cu</b>    | 3,55 |
| <b>Cc</b>    | 1,19 |

Según los resultados obtenidos del ensayo de granulometría, se puede concluir que el porcentaje de muestra en el tamiz N° 200 no es significativo (Tabla 2). Además, se observa que no se tomaron en cuenta los tamices que podrían clasificar el material con partículas gruesas.

Adicionalmente, al analizar los valores de los coeficientes en la Tabla 6, se puede afirmar correctamente que la muestra contiene menos del 5% de partículas finas. Como consecuencia de esto, la muestra de grano de caucho no presenta buenas características y se clasifica como un material mal graduado.

**Tabla 7**

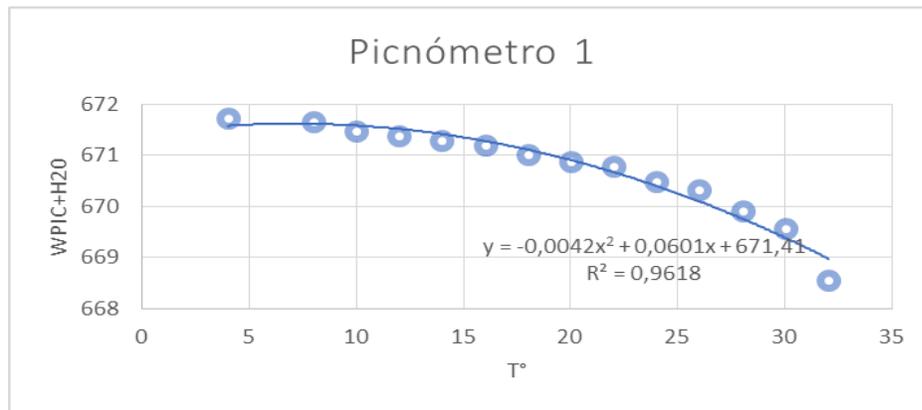
*Tamaño de abertura 2*

| No de Tamiz | Tamaño de abertura [mm] | Peso que pasa [g] | % Retenido | % Pasa |
|-------------|-------------------------|-------------------|------------|--------|
| 4           | 4,75                    | 565,6             | 15,17      | 84,83  |
| 8           | 2,36                    | 739,3             | 19,82      | 65,01  |
| 10          | 2                       | 183               | 4,91       | 60,10  |
| 12          | 1,7                     | 187,5             | 5,03       | 55,07  |
| 16          | 1,19                    | 426               | 11,42      | 43,65  |
| 20          | 0,85                    | 333               | 8,93       | 34,72  |
| 30          | 0,6                     | 400,5             | 10,74      | 23,98  |
| 40          | 0,42                    | 350,3             | 9,39       | 14,59  |
| 50          | 0,3                     | 230,3             | 6,18       | 8,41   |
| 60          | 0,25                    | 158,1             | 4,24       | 4,18   |
| 80          | 0,18                    | 85,04             | 2,28       | 1,89   |
| 100         | 0,15                    | 26,5              | 0,71       | 1,18   |
| 140         | 0,105                   | 21,15             | 0,57       | 0,62   |
| 200         | 0,074                   | 7,88              | 0,21       | 0,41   |
| Fondo       |                         | 15,22             | 0,41       | 0,00   |



|    |        |
|----|--------|
| 26 | 670,33 |
| 28 | 669,92 |
| 30 | 669,57 |
| 32 | 668,55 |

**Figura 25**  
*Picnómetro 1*

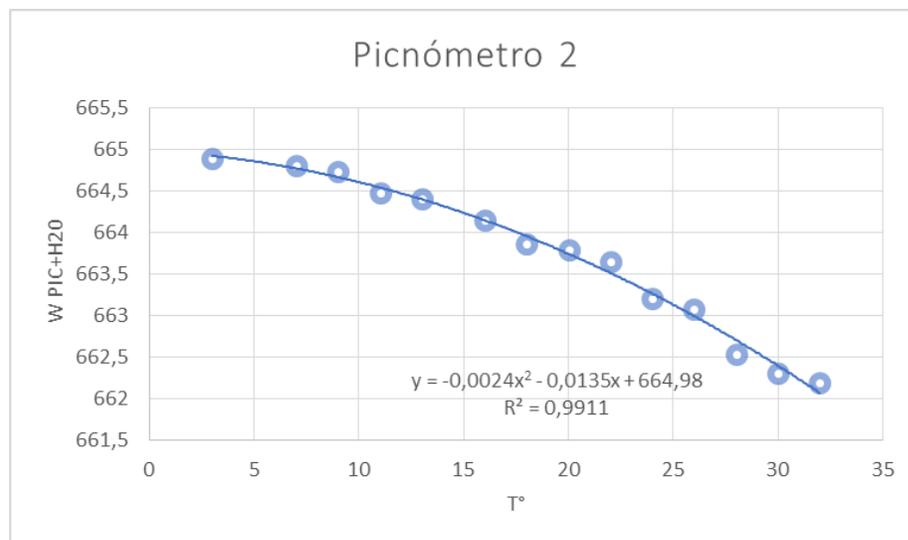


**Tabla 9**  
*Picnómetro 2*

| Picnómetro 2                    |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Temperatura de calibración [°C] | Peso Agua + Picnómetro Wpa [g] |
| 3                               | 664,89                         |
| 7                               | 664,80                         |
| 9                               | 664,73                         |
| 11                              | 664,48                         |
| 13                              | 664,40                         |
| 16                              | 664,15                         |
| 18                              | 663,87                         |
| 20                              | 663,79                         |

|    |        |
|----|--------|
| 22 | 663,65 |
| 24 | 663,21 |
| 26 | 663,08 |
| 28 | 662,54 |
| 30 | 662,31 |
| 32 | 662,20 |

**Figura 26**  
*Picnómetro 2*



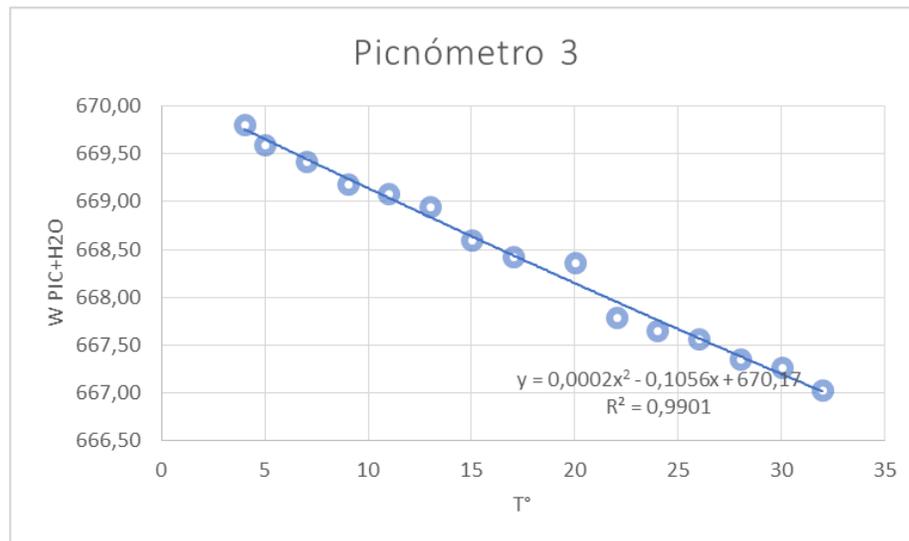
**Tabla 10**  
*Picnómetro 3*

| Picnómetro 3                    |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Temperatura de calibración [°C] | Peso Agua + Picnómetro Wpa [g] |
| 4                               | 669,80                         |
| 5                               | 669,59                         |

|    |        |
|----|--------|
| 7  | 669,42 |
| 9  | 669,19 |
| 11 | 669,08 |
| 13 | 668,95 |
| 15 | 668,60 |
| 17 | 668,43 |
| 20 | 668,36 |
| 22 | 667,79 |
| 24 | 667,65 |
| 26 | 667,57 |
| 28 | 667,36 |
| 30 | 667,27 |
| 32 | 667,03 |

**Figura 27**

*Picnómetro 3*



**Tabla 11**

*Tabla de fuerzas aplicadas en kgf/cm<sup>2</sup>*

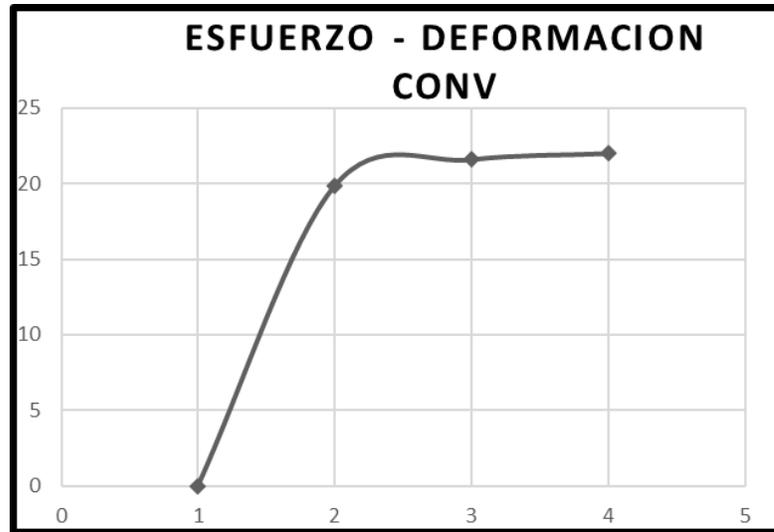
|                  | <b>Mampuesto<br/>Convencional</b> | <b>Mampuesto<br/>20 %</b> | <b>Mampuesto<br/>30 %</b> | <b>Mampuesto<br/>40 %</b> | <b>Mampuesto<br/>50 %</b> |
|------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>Muestra 1</b> | 22,03                             | 18,25                     | 9,07                      | 9,18                      | 10,02                     |
| <b>Muestra 2</b> | 21,62                             | 9,99                      | 13,05                     | 11,22                     | 9,69                      |
| <b>Muestra 3</b> | 19,88                             | 0                         | 0                         | 9,94                      | 0                         |
| <b>Promedio</b>  | 21,18                             | 14,12                     | 11,06                     | 10,11                     | 9,86                      |

En la Tabla 11 se puede observar los esfuerzos a los cuales los mampuestos fueron sometidos hasta presenciar el límite de rotura.

Las gráficas esfuerzo vs deformación representa gráficamente la variación del esfuerzo en función de la deformación para un tipo de carga determinado, el ensayo de compresión tiende a darnos un valor de resistencia a la rotura. En este caso la curva eventualmente alcanzará un punto máximo de esfuerzo antes de que el material falle o se fracture, esto implica que se presencien deformaciones irreversibles en el mampuesto y que permita identificar las propiedades mecánicas del material, a continuación, se presenta las gráficas con el límite de rotura del mampuesto convencional y los mampuestos modificados con GCR. Ver Figuras 26, 27, 28, 29 y 30.

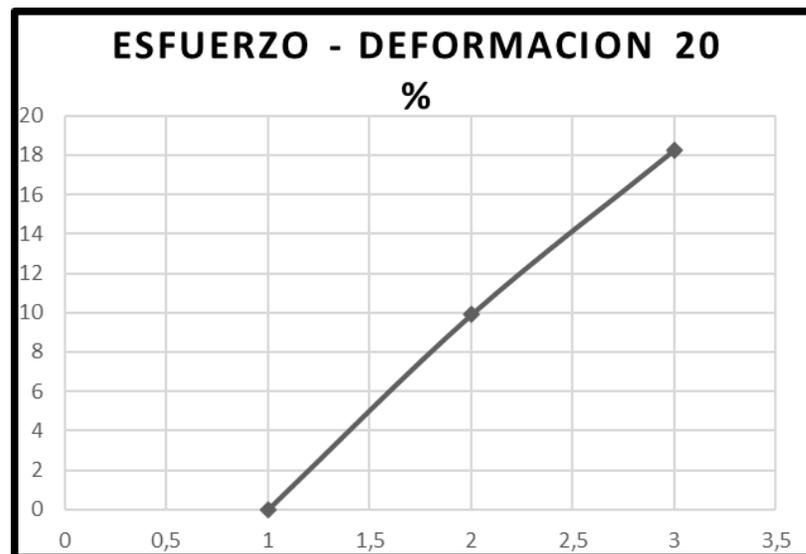
**Figura 28**

*Esfuerzo – Deformación mampuestos convencionales*



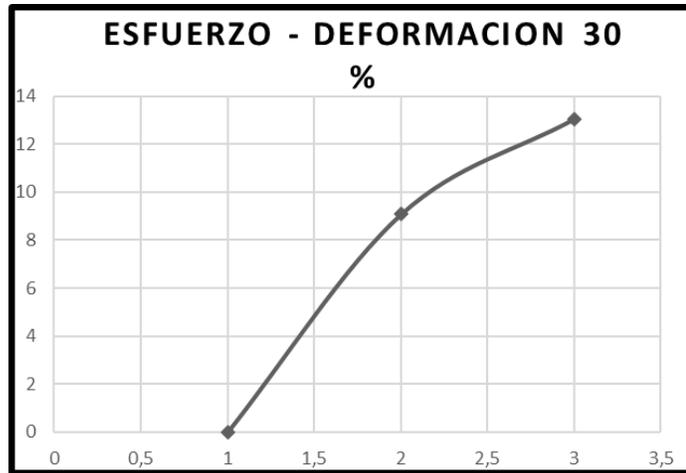
**Figura 29**

*Esfuerzo – Deformación 20%*



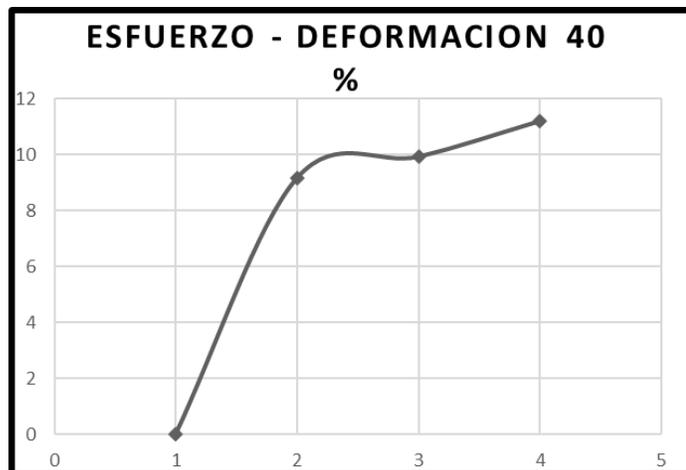
**Figura 30**

*Esfuerzo – Deformación 30%*



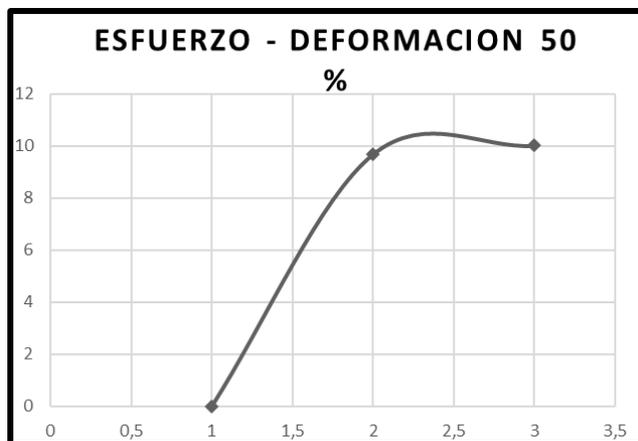
**Figura 31**

*Esfuerzo – Deformación 40%*



**Figura 32**

*Esfuerzo – Deformación 50%*



A continuación, se observa el presupuesto realizado para la elaboración de 15000 ladrillos con el método convencional debido a que esta es la capacidad límite del horno (Tabla 12).

**Tabla 12**

*Presupuesto elaboración mampuestos convencionales*

| LADRILLOS CONVENCIONALES                       |           |          |                     |                 |              |
|--|-----------|----------|---------------------|-----------------|--------------|
| ELABORACIÓN DE 15.000 LADRILLOS CONVENCIONALES |           |          |                     |                 |              |
| DESCRIPCION                                    | UND       | CANTIDAD | CANTD M.O (OBREROS) | PRECIO UNITARIO | COSTO TOTAL  |
| Viaje de tierra                                | volqueta  | 6        |                     | \$ 90,000       | \$ 540,000   |
| <b>MOLIDA DE TIERRA</b>                        |           |          |                     |                 |              |
| Mano de obra                                   | día       | 6        | 4                   | \$ 45,000       | \$ 1,080,000 |
| Máquina moledora                               | galon/día | 5        |                     | \$ 60,000       | \$ 300,000   |
| <b>PRENSADA DEL LADRILLO</b>                   |           |          |                     |                 |              |
| Mano de obra                                   | día       | 1        | 10                  | \$ 45,000       | \$ 450,000   |
| Tractor  | día       | 1        |                     | \$ 130,000      | \$ 130,000   |
| Máquina prensadora                             | día       | 1        |                     | \$ 150,000      | \$ 150,000   |
| <b>ENGALLADO DEL LADRILLO</b>                  |           |          |                     |                 |              |
| Mano de obra                                   | día       | 2        | 3                   | \$ 45,000       | \$ 270,000   |
| <b>ARMADA DE HORNO</b>                         |           |          |                     |                 |              |
| Mano de obra                                   | día       | 4        | 6                   | \$ 45,000       | \$ 1,080,000 |
| <b>QUEMADA DEL LADRILLO</b>                    |           |          |                     |                 |              |
| Mano de obra                                   | día       | 3        | 1                   | \$ 65,000       | \$ 195,000   |
| Leña   | m         | 30       |                     | \$ 50,000       | \$ 1,500,000 |
| <b>OTROS GASTOS</b>                            |           |          |                     |                 |              |
| Agua   |           |          |                     |                 | \$ 80,000    |
| Mantenimiento maquinaria                       |           |          |                     |                 | \$ 200,000   |
| TOTAL  |           |          |                     |                 | \$ 5,975,000 |

| VALOR DE PRODUCCION DE LADRILLO CONVENCIONAL |          |                |
|--|----------|----------------|
| DESCRIPCION                                  | CANTIDAD | VALOR UNITARIO |
| LADRILLOS CONVENCIONALES                     | 15000    | \$ 5,975,000   |
|  | 3000     | \$ 1,195,000   |
|  | 1        | \$ 398         |

**Tabla 13**

*Presupuesto mano de obra obtención del material de aporte*

| GRANO DE CAUCHO RECICLADO COMO MATERIAL DE APORTE |
|---|
|---|

\*Para un 20% de grano de caucho se usan 476 gramos de partícula retenida en el tamiz #50

| GRANO DE CAUCHO |       |          |                     |                 |             |
|-----------------|-------|----------|---------------------|-----------------|-------------|
| DESCRIPCION     | UND   | CANTIDAD | CANTD M.O (OBREROS) | PRECIO UNITARIO | COSTO TOTAL |
| GRANO DE CAUCHO | Bulto | 1        |                     | \$ 10,000       | \$ 10,000   |

| MANO DE OBRA PARICULA TAMIZ #50 POR BULTO DE GRANO DE CAUCHO                        |       |          |                     |                 |                  |
|---|-------|----------|---------------------|-----------------|------------------|
| *POR CADA BULTO DE GRANO DE CAUCHO SE REUNE 7 Kg DE PARTICULA RETENIDA EN TAMIZ #50 |       |          |                     |                 |                  |
| DESCRIPCION   | UND   | CANTIDAD | CANTD M.O (OBREROS) | PRECIO UNITARIO | COSTO TOTAL      |
| TAMIZAJE  |       |          |                     |                 |                  |
| Grano de caucho   | Bulto | 1        |                     | \$ 10,000       | \$ 10,000        |
| Personal  | Hora  | 14       | 1                   | \$ 4,833        | \$ 67,662        |
| <b>TOTAL</b>  |       |          |                     |                 | <b>\$ 77,662</b> |

| PRESIO UNITARIO DE GRANO DE CAUCHO |        |          |              |
|------------------------------------|--------|----------|--------------|
| DESCRIPCION                        | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO TOTAL |
| GRANO DE CAUCHO                    | kg     | 1        | \$ 11,095    |
|                                    | g      | 1        | \$ 11.09     |

| VALOR DE PARTICULA PARA LA FABRICACION DE MAMPUESTOS NO ESTRUCTURALES |     |          |           |                 |               |
|---|-----|----------|-----------|-----------------|---------------|
| DESCRIPCION   | UND | CANTIDAD | CANTD GCR | PRECIO UNITARIO | COSTO TOTAL   |
| 15000 LADRILLOS CON GCR   |     |          |           |                 |               |
| Particula #50   | g   | 7140000  |           | \$ 11.09        | \$ 79,215,240 |
| 300 LADRILLOS CON GCR   |     |          |           |                 |               |
| Particula #50   | g   | 142800   |           | \$ 11.09        | \$ 1,584,305  |
| 1 LADRILLO CON GCR  |     |          |           |                 |               |
| Particula #50   | g   | 476      |           | \$ 11.09        | \$ 5,281      |

## 2.2 Análisis e interpretación de resultados

La estimación de la viabilidad y el comportamiento de uso de GCR en unidades de mampostería de arcilla es un aspecto importante de la investigación. Esta investigación también contempla la mitigación del impacto ambiental asociado con la extracción de materiales pétreos y la gestión de residuos de caucho, tal como se menciona en la descripción del problema. El uso de GCR en

unidades de mampostería contribuye a la reducción de residuos de caucho y promueve prácticas más sostenibles en la construcción.

### **2.2.1 *Análisis Objetivo 1***

El fin de la realización de este objetivo es determinar la cantidad de material ideal para reemplazar la arcilla en la fabricación de los mampuestos, es por ello que se realiza un cuarteo en referencia con la norma INVIAS y adicional a esto se hace el diseño de la curva granulométrica del material de estudio, así mismo se continúa con el análisis granulométrico de la arcilla perteneciente de la ladrillera, después de realizar estos pasos se logró escoger la partícula a reemplazar que fue el retenido en tamiz 50, para dar certeza de que se logra el retenido en el tamiz 50, por ende, se tiene en cuenta el estudio del análisis de la gravedad específica del GRC, el material al ser descendente de agregados pétreos no logra una homogenización efectiva con el agua, ya que este en su composición química presenta partículas con aceite que genera rechazo de estos dos materiales, se desarrolla la calibración de los picnómetros oscilando temperaturas desde -3 grados centígrados hasta la temperatura ambiente hasta 30 grados centígrados.

Por otra parte, se ejecuta el uso del tamizador eléctrico con el fin de generar el material en su totalidad sea fino, para lograr la cantidad necesaria que son 14 kilos de GCR.

Finalmente se logra la clasificación a su 100%, ya que para el porcentaje del 20% se necesitaron 476 gramos de GCR, el porcentaje del 30% se necesitan 714 gramos en el del 40% se necesitan 952 gramos y por último en el del 50% se necesitan 1.200 gramos aproximadamente.

### **2.2.2 *Análisis objetivo 2***

Después de realizar el procedimiento de la clasificación de los porcentajes anteriormente mencionados se prosigue con la elaboración de los mampuestos en la ladrillera, en el proceso de construcción de los especímenes se realizaron a través del uso de una formaleta para facilitar la homogenización del material de estudio con la arcilla presente en el sitio de elaboración.

En el diseño de mezcla se hace el uso agua con el fin de que las partículas encuentren un punto de unión y fortalecer su estabilidad en el proceso constructivo, por lo tanto, se continua con el diseño con los porcentajes de GCR anteriormente mencionados, en la ejecución se pudo observar que el material de estudio al ser un derivado perteneciente de los agregados pétreos no se combina con el agua fácilmente por tal motivo se dificultó la homogenización entre los dos suelos. Mas, sin embargo, después de haber terminado con la fabricación de los especímenes, se logró apreciar que algunos de los mampuestos experimentales comienzan a presentar fracturas a lo largo de su estructura minutos de su fabricación.

El fraguado de las probetas experimentales 8 días posteriores en los porcentajes 20 y 50 de grano de caucho reciclado se evidenciaron totalmente fracturados antes de realizar el fallo a compresión.

### **2.2.3 *Análisis objetivo 3***

El propósito de este tercer objetivo es realizar el procedimiento en la maquina universal ubicada en los laboratorios de la Universidad Mariana, el ensayo de compresión simple es una técnica comúnmente utilizada para evaluar la resistencia de materiales como los ladrillos de arcilla. En este procedimiento, se aplica una fuerza axial (compresión) de manera controlada al material y se mide la carga ejercida en función de la deformación para determinar su resistencia a la compresión. Los ladrillos de arcilla son uno de los materiales de construcción más antiguos y ampliamente utilizados en la construcción de edificios. Su resistencia a la compresión es un parámetro crítico que determina su idoneidad para diferentes aplicaciones en la construcción.

Por consiguiente, se realiza la investigación de la resistencia a la compresión de ladrillos de arcilla NO estructurales mediante una máquina universal, con el objetivo de comprender mejor su calidad y aplicabilidad en proyectos de construcción. El bloque fabricado corresponde a bloque macizo de arcilla sin perforaciones, la ubicación de los bloques se la hace transversalmente ya que los mampuestos no estructurales no están preparados para absorber cargas excepto su propio peso.

Para iniciar con el ensayo a compresión se aplicó la norma NTC 4205 (unidades de mampostería de arcilla cocida. ladrillos y bloques cerámicos).

Se procede a realizar los ensambles de unas platinas para así garantizar el recubrimiento total del bloque de mampostería para que así tenga una compresión uniforme en todo el bloque.

Se inicia con la configuración de datos de los mampuestos para así dar inicio al procedimiento de compresión, se completan datos como el peso del mampuesto en gramos, el área donde se va a ejercer la fuerza (base por altura), la edad de los mampuestos, en este caso la edad de nuestros mampuestos es de 28 días y el tipo de ensayo que se va a realizar.

Cada muestra de ladrillo se colocó en la máquina universal y se aplicó una carga de compresión gradual y continua hasta que el ladrillo se fracturó. Durante el ensayo, se registraron tanto la carga aplicada como la deformación de la muestra, se realizaron múltiples ensayos para obtener resultados representativos y minimizar el efecto de las variaciones en las muestras.

Una vez el ensayo finalizó se puede observar que los porcentajes de 30 % a 50% tuvieron una resistencia a la compresión muy por debajo del promedio ya que al incluir mayor porcentaje de GCR debilita las propiedades físico-químicas que posee la arcilla, uno de los mayores problemas de esta mezcla fue el aumento de la porosidad haciéndola más débil de lo convencional, por parte del mampuesto con 20% de GCR logra cumplir la resistencia mínima e igual que el convencional serían adecuados para aplicaciones específicas de mampostería no estructural, como muros divisorios y muros de cierre.

#### **2.2.4 *Análisis objetivo 4***

Se realizaron una secuencia de actividades para el desarrollo de este objetivo, en las cuales se elaboraron tres especímenes de unidades de mampostería no estructural con material de aporte (grano de caucho reciclado, GCR) para cada porcentaje de dosificación (20, 30, 40 y 50). Cada muestra fue fabricada siguiendo los procesos de producción manual debido a que por su composición no fue posible usar el método estándar.

Estos mampuestos fueron sometidos a pruebas de resistencia de acuerdo con la normativa establecida en la NTC 4205, que rige las especificaciones técnicas de bloques y ladrillos de arcilla

cocida. Los resultados de las pruebas revelaron que solamente las muestras con el 20% de material de aporte alcanzaron una resistencia de 14.12 kg-f/cm<sup>2</sup>, satisfaciendo así los parámetros de resistencia mínima definidos por la norma.

Se realizó un análisis presupuestal para determinar los costos de producción de las unidades de mampostería con GCR y compararlas con la producción de unidades de mampostería convencionales, de este se observó que el proceso para la obtención del material de aporte es complicado debido a que no se encuentra la suficiente cantidad de llantas recicladas a nivel regional, debido a que cada vez son más las opciones de reciclado que se puede ofrecer para combatir este desecho y a que se necesita una partícula muy pequeña de GCR, lo cual dificulta la obtención de esta partícula y resulta poco rentable y menos económica en contraste al proceso de elaboración utilizado para los ladrillos convencionales. Se observó que el costo del proceso constructivo de las unidades de mampostería con grano de caucho reciclado es mucho mayor que el costo del proceso constructivo de mampuestos convencionales, superándolo por más del 100%.

Con base en los datos obtenidos se determinó que la incorporación del grano de caucho reciclado (GCR) en unidades de mampostería no estructural para la construcción de obras civiles resulta posible desde un punto de vista técnico y sostenible, siempre y cuando se utilice una dosificación del 20%. Sin embargo, basado en criterios económicos, la obtención de GCR para la producción de este mampuesto resulta menos eficiente y rentable en comparación a la producción de ladrillos convencionales y mucho más costosa. Por ende, se asume que la fabricación de estos mampuestos no es viable para ser usada en el ámbito constructivo.

### **2.3 Discusión**

Los resultados de esta investigación y su relevancia para abordar el problema planteado comenzaron con la clasificación de dosificaciones de grano de caucho reciclado (GCR) en porcentajes del 20, 30, 40 y 50, se determinaron las proporciones óptimas para la fabricación de las unidades de mampostería de arcilla con GCR como material de aporte. Los resultados indicaron que, en términos de viabilidad técnica, el GCR se comporta de manera favorable en estas

dosificaciones específicas, esto respalda la sostenibilidad del uso de GCR en la construcción, ya que permite la reutilización de un material que de otro modo causaría problemas ambientales.

Respecto a lo dicho por Ayala et al. (2022): “Como resultado final, en la mampostería de arcilla modificada, se observó que las dos cantidades del 10% y 15% de adición de grano de caucho fueron idóneas ya que, a mayor porcentaje de este material de aporte, mayor la resistencia, incrementándose hasta en un 38.1% y 60.2% más que la resistencia de la mampostería convencional.

Cabe resaltar que estos valores de incremento se los determina con las resistencias promedio en cada tipo de adición.” se observa que aunque se encuentra similitudes en las investigaciones, los resultados que se obtuvieron fueron diferentes, en esta investigación la resistencia no aumenta a medida que aumenta el porcentaje de dosificación, sino por el contrario esta disminuye a medida que se aumenta la cantidad de GCR en el mampuesto, e incluso se reduce en un 33.33% respecto a la resistencia que posee un mampuesto convencional en el caso de la dosificación del 20% que fue la única que cumplió con lo requerido en la normativa.

La fabricación de mampuestos experimentales con GCR implicó algunos desafíos debido a la composición de este material. A pesar de los obstáculos, se logró desarrollar mampuestos que incorporaban GCR en las diferentes dosificaciones. Esto demuestra que, es factible utilizar GCR en la producción de unidades de mampostería; los resultados de las pruebas de resistencia en las unidades de mampostería construidas son concretamente convincentes. Los mampuestos que contenían un 20% de GCR fueron los únicos que superaron los requisitos de resistencia establecidos por la norma (NTC 4205), lo que indica que son adecuadas para su uso en aplicaciones de construcción no estructurales. Esto refuerza la viabilidad del uso de GCR en la construcción de mampostería no estructural y sugiere que pueden desempeñar un papel importante en la reducción de la dependencia de los materiales pétreos tradicionales.

En el trabajo de grado denominado “Evaluación de la resistencia a compresión en mampostería no estructural modificada con grano de caucho reciclado (GCR)” se utiliza una partícula de tamaño de GCR diferente a la usada en esta investigación debido a que el análisis realizado para la

obtención de este fue totalmente diferente. Mientras en la investigación trabajada por Ayala et al., se utilizó el tamaño de partícula retenido en el tamiz #30, en esta investigación esa determinación se realizó en base al análisis granulométrico realizado, lo cual llevó a escoger la partícula retenida en el tamiz #50 para llevar a cabo la fabricación de los mampuestos.

De las dos investigaciones se puede inferir que es posible la implementación de GCR en unidades de mampostería en porcentajes de hasta el 15% cuando se cuenta con un tamaño de partícula de 0.6mm (tamiz #30) y en porcentajes del 20% cuando se tiene una partícula igual a 0.3mm (tamiz #50).

### **3. Conclusiones**

Este ensayo proporciona una evaluación objetiva de la resistencia de los ladrillos de arcilla cocida, lo que es crucial para garantizar la durabilidad y seguridad de las estructuras construidas con este material.

El uso de grano de caucho reciclado puede reducir el peso de las estructuras de mampostería, lo que es especialmente relevante en proyectos donde se busca minimizar la carga sobre las bases y cimientos, lo que convierte esta propuesta en una idea innovadora. Se reduce aproximadamente un 27.15% el peso del mampuesto convencional cuando se aplica una dosificación del 20%, un 28.08% con una dosificación del 30%, un 28.29% cuando se presencia una dosificación del 40% y un 31.20% con una dosificación del 50%.

Los datos obtenidos en el ensayo mostraron que la resistencia a la compresión disminuye a medida que aumenta la cantidad de GCR en los mampuestos, teniendo un valor de 21.18 kgf/cm<sup>2</sup> para los mampuestos convencionales, un valor de 14.12 kgf/cm<sup>2</sup> para mampuestos con el 20% de dosificación, un valor de 11.06 kgf/cm<sup>2</sup> para mampuestos con el 30% de dosificación, un valor de 10.11 kgf/cm<sup>2</sup> para mampuestos con el 40% de dosificación y un valor de 9.86 kgf/cm<sup>2</sup> para mampuestos con el 50% de dosificación

Los ladrillos que superaron el estándar mínimo de resistencia, es decir los que presentan una dosificación del 20% de GCR son adecuados para aplicaciones específicas, mientras que los que no cumplen con estos requisitos es decir los mampuestos de 30%, 40% y 50% de dosificación no son óptimos para ser implementados en alguna obra civil ya que carecen de propiedades mecánicas y físicas que los haga capaces de resistir las fuerzas a las que puedan ser sometidos.

Los resultados señalan que, desde una perspectiva técnica y en términos de cumplimiento de la normativa, el uso de GCR con el 20% de dosificación es viable y ofrece una alternativa sostenible, sin embargo, presenta desafíos económicos en la obtención del material para la producción de los mampuestos, esto nos lleva a cuestionar la rentabilidad de esta propuesta de investigación, por lo

cual se definió que la implementación de este material en unidades de mampostería de arcilla cocida NO es viable frente a las unidades de mampostería convencionales

#### **4. Recomendaciones**

En el transcurso de esta investigación, se ha observado la importancia de realizar una serie de recomendaciones con base en los hallazgos. En primer lugar, se sugiere llevar a cabo un mayor número de ensayos en ladrillos de arcilla con un porcentaje de grano de caucho reciclado (GCR) entre el 15 al 20%. Los resultados obtenidos hasta ahora muestran mejoras significativas a medida que se aumenta la cantidad de GCR en la mezcla. Además, se aconseja de seguir explorando un tamaño de partícula diferente al utilizado en esta investigación (tamiz número 50). No obstante, es importante tener en cuenta que estos tamaños no deben exceder los de las partículas presentes en otros materiales, ya que la interacción con partículas de gran tamaño tiende a provocar fisuras en las unidades de mampostería de arcilla.

En concordancia con lo anterior, es esencial considerar la realización de otros ensayos requeridos por la normativa vigente, como la absorción. Esto permitirá determinar qué otros aspectos pueden mejorarse mediante la incorporación del grano de caucho reciclado en la fabricación de ladrillos de arcilla.

Por último, se plantea la necesidad de llevar a cabo un estudio ambiental exhaustivo en el municipio de Pasto para evaluar los niveles de contaminación en las áreas donde se produce la mampostería de arcilla. Esto proporcionará información crucial sobre la cantidad de contaminantes generados durante el proceso de cocción de estas unidades.

## **Referencias**

- Angeles, S. (2017). *Elaboración de ladrillos a partir de neumáticos de reusó*. <https://tesis.ipn.mx/>.  
<https://tesis.ipn.mx/handle/123456789/20674>
- Ayala, K., Tutistar., M y Valencia, L. (2022). *Evaluación de la resistencia a compresión en mampostería no estructural modificada con grano de caucho reciclado (GCR)*.
- Construval Ingeniería. (2021). *Materiales Pétreos*. <https://construvaling.com/nosotros>
- Diaz, C., y Castro, L. (2017). *Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá*.
- Espinosa, E., Terán, A., Zúñiga, O., y Perilliat, R. (2014). *Consideraciones para el diseño sísmico de edificios altos de mampostería confinada ubicados en zonas sísmicas*. *Ingeniería sísmica*, (90), 88-109. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2014000100004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2014000100004&lng=es&tlng=es).
- Hernández, J., y Parra, A. (2016). *Evaluación del uso de elementos prefabricados de GRC en la construcción de fachadas*. Universidad EIA.
- ICONTEC. (2016). Norma Técnica Colombiana 4076. Ingeniería Civil Y Arquitectura. Unidades (Bloques Y Ladrillos) De Concreto, Para Mampostería No Estructural Interior Y Chapas De Concreto
- INVIAS E-136. (s.f.). Normas y especificaciones Determinación De Las Masas Unitarias Máxima Y Mínima Para El Cálculo De La Densidad Relativa
- INVIAS E-213. (s.f.). Normas y especificaciones. Análisis Granulométrico De Los Agregados Gruesos Y Finos.

INVIAS E-222. (s.f.), Normas y especificaciones Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y Absorción Del Agregado Fino.

Martillo, J., & Martínez, J. (2020). *Mortero tradicional con caucho reciclado para recubrimiento de mampostería*. (trabajo de pregrado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil). <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/3998>

MinAmbiente (2022). *Llantas Usadas*. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/llantas-usadas>.

Montoya, J (s. f.). *Desarrollo sostenible en Colombia*. Desarrollo Sustentable. <https://www.desarrollosustentable.co/2013/06/desarrollo-sostenible-en-colombia.html>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura-UNESCO. (2021), *Sobre la organización*. <http://www.unesco.org/new/es/>

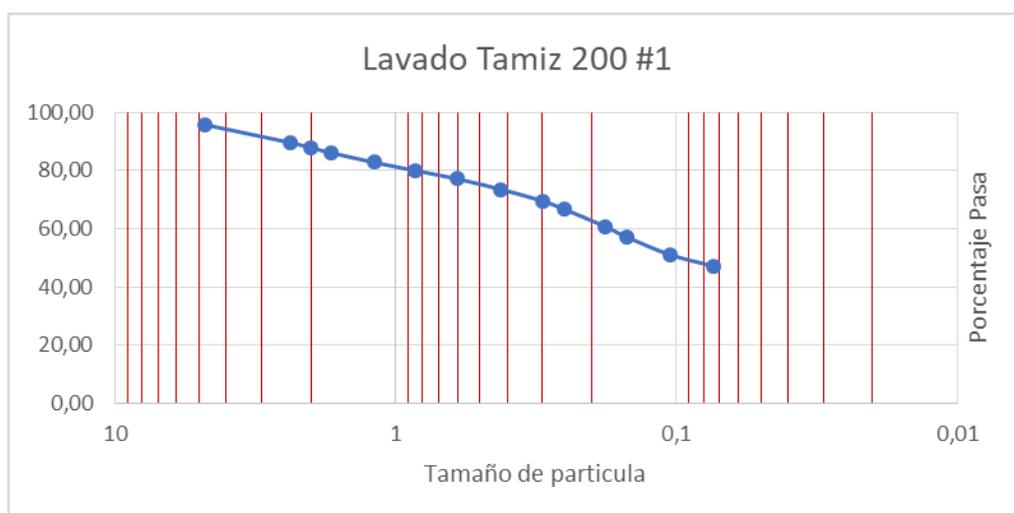
Petroenergía. (2021). *Impacto Ambiental*. <https://www.petroenergia.info>

Sociedad colombiana de ingenieros. (2019). *La Ingeniería y el desarrollo sostenible del país*. SCI. <https://sci.org.co/la-ingenieria-y-el-desarrollo-sostenible-del-pais/>

## **Anexos**

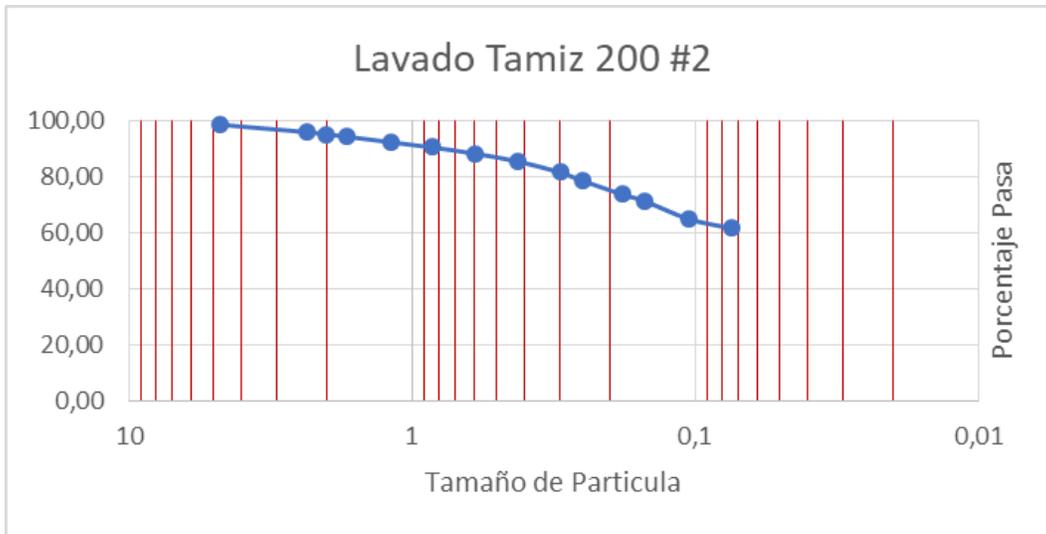
**Anexo A. Tamaño de abertura y tamiz 1**

| No de Tamiz | Tamaño de abertura [mm] | Peso que pasa [g] | % Retenido | % Pasa |
|-------------|-------------------------|-------------------|------------|--------|
| 4           | 4,75                    | 45,32             | 4,24       | 95,76  |
| 8           | 2,36                    | 66,03             | 6,17       | 89,59  |
| 10          | 2                       | 18,28             | 1,71       | 87,89  |
| 12          | 1,7                     | 18,07             | 1,69       | 86,20  |
| 16          | 1,19                    | 35,86             | 3,35       | 82,84  |
| 20          | 0,85                    | 29,96             | 2,80       | 80,04  |
| 30          | 0,6                     | 31,1              | 2,91       | 77,14  |
| 40          | 0,42                    | 38,42             | 3,59       | 73,55  |
| 50          | 0,3                     | 42,36             | 3,96       | 69,59  |
| 60          | 0,25                    | 30,89             | 2,89       | 66,70  |
| 80          | 0,18                    | 62,17             | 5,81       | 60,89  |
| 100         | 0,15                    | 39,68             | 3,71       | 57,18  |
| 140         | 0,105                   | 65,48             | 6,12       | 51,06  |
| 200         | 0,074                   | 40,44             | 3,78       | 47,28  |
| Fondo       |                         | 518,85            | 48,49      | -1,21  |



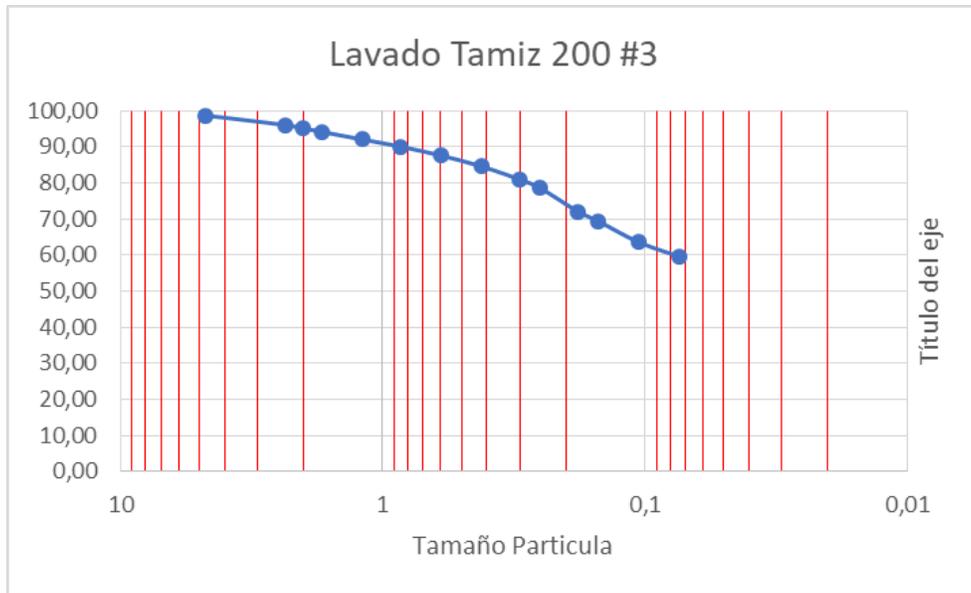
**Anexo B. Tamaño de abertura y tamiz 2**

| No de Tamiz | Tamaño de abertura [mm] | Peso que pasa [g] | % Retenido | % Pasa |
|-------------|-------------------------|-------------------|------------|--------|
| 4           | 4,75                    | 14,91             | 1,49       | 98,51  |
| 8           | 2,36                    | 26,25             | 2,63       | 95,88  |
| 10          | 2                       | 7,85              | 0,79       | 95,10  |
| 12          | 1,7                     | 8,66              | 0,87       | 94,23  |
| 16          | 1,19                    | 19,49             | 1,95       | 92,28  |
| 20          | 0,85                    | 18,59             | 1,86       | 90,43  |
| 30          | 0,6                     | 22,15             | 2,22       | 88,21  |
| 40          | 0,42                    | 28,75             | 2,88       | 85,34  |
| 50          | 0,3                     | 38,35             | 3,84       | 81,50  |
| 60          | 0,25                    | 29,76             | 2,98       | 78,52  |
| 80          | 0,18                    | 49,11             | 4,91       | 73,61  |
| 100         | 0,15                    | 24,34             | 2,43       | 71,18  |
| 140         | 0,105                   | 63,02             | 6,30       | 64,88  |
| 200         | 0,074                   | 33,31             | 3,33       | 61,55  |
| Fondo       |                         | 581,41            | 58,14      | 3,41   |



**Anexo C. Tamaño de abertura y tamiz 3**

| No de Tamiz | Tamaño de abertura [mm] | Peso que pasa [g] | % Retenido | % Pasa |
|-------------|-------------------------|-------------------|------------|--------|
| 4           | 4,75                    | 12,19             | 1,22       | 98,78  |
| 8           | 2,36                    | 26,63             | 2,66       | 96,12  |
| 10          | 2                       | 9,26              | 0,93       | 95,19  |
| 12          | 1,7                     | 10,08             | 1,01       | 94,18  |
| 16          | 1,19                    | 21,14             | 2,11       | 92,07  |
| 20          | 0,85                    | 19,84             | 1,98       | 90,09  |
| 30          | 0,6                     | 24,31             | 2,43       | 87,66  |
| 40          | 0,42                    | 30,06             | 3,01       | 84,65  |
| 50          | 0,3                     | 36,36             | 3,64       | 81,01  |
| 60          | 0,25                    | 24,38             | 2,44       | 78,58  |
| 80          | 0,18                    | 64,42             | 6,44       | 72,13  |
| 100         | 0,15                    | 27,33             | 2,73       | 69,40  |
| 140         | 0,105                   | 58,47             | 5,85       | 63,55  |
| 200         | 0,074                   | 38,73             | 3,87       | 59,68  |
| Fondo       |                         | 546,65            | 54,67      | 5,02   |



**Anexo D.      Peso promedio de los mampuestos**

| Mampostería NO Estructural |          |
|----------------------------|----------|
| Tipo                       | Peso (g) |
| Convencional               | 2785     |
| 20%                        | 2029     |
| 30%                        | 2003     |
| 40%                        | 1997     |
| 50%                        | 1916     |

|                               |
|-------------------------------|
| Promedio de peso x 3 unidades |
|-------------------------------|