



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS
ECOLÓGICOS ESTABILIZADOS CON PET (Tereftalato de
Polietileno)**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR:

BRYAN OMAR CABRERA GREFA

Riobamba - Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS
ECOLÓGICOS ESTABILIZADOS CON PET (Tereftalato de
Polietileno)**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: BRYAN OMAR CABRERA GREFA

DIRECTOR: ING. GUAMÁN LOZADA DARÍO FERNANDO, MSc.

Riobamba - Ecuador

2023

©2023, Bryan Omar Cabrera Grefa

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos por cualquier medio o procedimiento incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo Bryan Omar Cabrera Grefa, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi auditoria y los resultados del mismo son auténticos.

Los textos en el documento que provienen de otras Fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de mayo de 2023

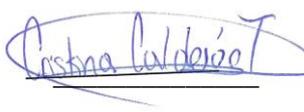


Bryan Omar Cabrera Grefa

155006392-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERIA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS ESTABILIZADOS CON PET (Tereftalato de Polietileno)** , realizado por el señor: **BRYAN OMAR CABRERA GREFA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. César Arturo Puente Guijarro, PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		23 de mayo de 2023
Ing. Darío Fernando Guamán Lozada, MsC. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		23 de mayo de 2023
Ing. Cristina Gabriela Calderón Tapia, MsC. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		23 de mayo de 2023

DEDICATORIA

Yo dedico la tesis a mi madre quien siempre me dio el apoyo necesario y ha sido un pilar fundamental para no decaer en este camino, dándome ánimos y fuerza para superarme en los malos momentos de mi vida.

Bryan

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios quien me ha cuidado y guiado para seguir adelante.

A mi madre y a mi padre quienes han estado en toda esta etapa dándome su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

Y a todas las personas que de una forma u otra me apoyaron en la realización de este trabajo.

Bryan

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	2
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	2
1.3. Justificación	3
1.4. Hipótesis	5
1.4.1. <i>Hipótesis general</i>	5
1.4.2. <i>Hipótesis alternativa</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de investigación	6
2.2. Referencias teóricas	8
2.2.1. <i>Ladrillo</i>	8
2.2.2. <i>Materiales para la elaboración del ladrillo</i>	10
2.2.2.1. <i>Arcilla</i>	10
2.2.2.2. <i>Cemento</i>	11
2.2.2.3. <i>Agua</i>	11
2.2.2.4. <i>Arena o áridos</i>	12
2.2.2.5. <i>Cal</i>	12
2.2.3. <i>Método de elaboración del ladrillo</i>	12
2.2.4. <i>Ladrillo ecológico</i>	13

2.2.5. <i>Propiedades del ladrillo ecológico</i>	13
2.2.6. <i>Plástico</i>	15
2.2.7. <i>Clasificación del plástico</i>	16
2.2.8. <i>Tereftalato de polietileno (PET)</i>	18
2.2.9. <i>El PET en la industria</i>	19
2.2.10. <i>Normas</i>	20
2.2.11. <i>Diseño de mezclas</i>	21

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	22
3.1. Enfoque de investigación	22
3.2. Alcance de investigación	22
3.3. Diseño de investigación	22
3.3.1. <i>Identificación de variables</i>	22
3.3.2. <i>Operacionalización de variables para la obtención de ladrillo ecológico con PET</i> ...	22
3.3.3. <i>Matriz de consistencia</i>	24
3.3.4. <i>Diseño experimental de la investigación</i>	26
3.4. Tipo de estudio	28
3.4.1. <i>Métodos, técnicas e instrumentos de investigación</i>	28
3.4.2. <i>Cálculo de granulometría</i>	29
3.4.3. <i>Porcentaje de absorción</i>	29
3.4.4. <i>Densidad de la arena</i>	30
3.4.5. <i>Diseño de mezclas</i>	32

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
4.1. Datos experimentales	35
4.2. Marco de resultados u discusión	36
4.2.1. <i>Resultados obtenidos en la caracterización de la materia prima</i>	36
4.2.2. <i>Cálculos granulométricos</i>	40
4.2.2.1. <i>Arena</i>	40
4.2.2.2. <i>Tereftalato de polietileno</i>	41
4.2.3. <i>Diseño de mezclas</i>	42
4.3. Precio del ladrillo obtenido	45

4.3.1. Cálculo del precio de producción del mejor ladrillo	45
4.3.2. Análisis estadístico	46

CAPÍTULO V

5.1. Conclusiones	49
5.2. Recomendaciones	50

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Tipo de ladrillos y características	9
Tabla 2-2: Comparación corteza vs arcilla.....	11
Tabla 2-3: Tipos de ladrillos ecológicos	14
Tabla 2-4: Clasificación de los plásticos.....	17
Tabla 2-5: Propiedades del PET.....	18
Tabla 3-1: Identificación de variables.....	22
Tabla 3-2: Operacionalización de variables.....	23
Tabla 3-3: Matriz de consistencia	24
Tabla 3-4: Selección del método de acuerdo con el objetivo planteado	26
Tabla 3-5: Selección del método de acuerdo al número de factores	27
Tabla 3-6: Granulometría de la arena	29
Tabla 3-7: Absorción de la arena	30
Tabla 3-8: Cálculo de la densidad de la arena.....	30
Tabla 3-9: Resistencia a la compresión.....	31
Tabla 3-10: Diseño de mezclas del ladrillo.....	32
Tabla 3-11: Restricciones en el diseño de mezclas	33
Tabla 3-12: Porcentaje de los componentes en el diseño de mezclas	34
Tabla 4-1: Datos experimentales.....	35
Tabla 4-2: Características del cemento	36
Tabla 4-3: Características de la arena	37
Tabla 4-4: Caracterización del PET	39
Tabla 4-5: Cálculos granulométricos de la arena	40
Tabla 4-6: Cálculos granulométricos del PET	41
Tabla 4-7: Resultados del diseño de mezclas.....	43
Tabla 4-8: Análisis de ladrillos que cumplen con la norma NTE INEN 294.....	44
Tabla 4-9: Precio de producción del ladrillo.....	45
Tabla 4-10: Efectos estimados del modelo completo para resistencia a la compresión (Mpa).....	46
Tabla 4-11: Resultados del modelo completo.....	46
Tabla 4-12: ANOVA para resistencia a la compresión.....	47
Tabla 4-13: Cúbico especial resultados de ajuste de modelo para resistencia a la compresión.....	47
Tabla 4-14: Optimizar respuesta	48

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Proceso de producción de ladrillos	12
Ilustración 2-2: Tipos de plásticos.....	16
Ilustración 2-3: Fórmula química del PET desarrollada.....	18
Ilustración 2-4: Norma INEN 297	20
Ilustración 3-1: Diagrama de flujo de la elaboración de ladrillos ecológicos	28
Ilustración 3-2: Gráfico para obtener la composición de las mezclas	34
Ilustración 4-1: Curva granulométrica de la arena	41
Ilustración 4-2: Curva granulométrica del PET.....	42

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA

ANEXO C: FABRICACIÓN DE LOS LADRILLOS

ANEXO D: CURADO DE LOS LADRILLOS

ANEXO E: LADRILLO OBTENIDO

ANEXO F: PRUEBAS DE COMPRESIÓN

ANEXO G: PRUEBA DE LABORATORIO DE LA ARENA

ANEXO H: PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de definir la composición óptima de ladrillos ecológicos estabilizados con PET (Tereftalato de Polietileno) mediante la ayuda de un diseño de mezclas. Para obtener el diseño de mezclas se utilizó el programa Statgraphics el cual estableció que se realicen diez mezclas diferentes y cada uno con dos repeticiones con un total de 30 ladrillos obtenidos. Este procedimiento se realizó en frío, es decir, no existió un proceso de cocción. Antes de realizar las mezclas se hizo una corrección en las cantidades de agua que debía llevar la mezcla de cada ladrillo, ya con la corrección se pudo hacer las mezclas, las cuales fueron puestas en probetas cúbicas de 5*5 cm², se aplicó una presión de moldeo de 3.489 kPa, posteriormente se dejó secar durante un tiempo de 48 horas hasta que secaran, posteriormente se retiró del molde y se realizó una curación de 28 días en agua y finalmente se secó al ambiente por 3 días. La prueba de resistencia a la compresión fue realizada a los 30 ladrillos, en donde el ladrillo que mejor resultado obtuvo fue el número 10 (10%PET, 55% de arena y 35% cemento y agua), con un valor de 24,35 Mpa, este ladrillo cumplió con la norma NTE INEN 294. Concluyendo que el PET puede utilizarse como estabilizante dentro de la formulación del ladrillo, a su vez, es importante que el porcentaje de arena y de agua con cemento estén equilibrados, ya que podrían afectar la resistencia del ladrillo. Se recomienda que el diámetro de partícula del PET debe ser similar al de la arena, ósea árido fino, esto quiere decir que debe oscilar entre 2.2 y 3.2 um, de esto dependerá la estabilidad, resistencia y homogeneidad del ladrillo.

Palabras claves: <INGENIERÍA QUÍMICA>, <LADRILLO>, <ECOLÓGICO>, <TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET)>, <GRANULOMETRÍA>, <RESISTENCIA>, <COMPRESIÓN>, <CURADO>.

1136-DBRA-UPT-2023

A handwritten signature in blue ink is written over a circular official stamp. The stamp contains the text 'UNIVERSIDAD DE CORDOBA' and 'FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA' around a central emblem.

ABSTRACT

The present work was carried out with the purpose of defining the optimum composition of ecological bricks stabilized with PET (Polyethylene Terephthalate) by means of a mix design. To obtain the mix design, the Statgraphics program was used, which established that ten different mixes should be made, each with two repetitions and a total of 30 bricks obtained. This procedure was carried out cold, that is, there was no firing process. Before making the mixtures, a correction was made in the amounts of water that the mixture of each brick should have, and with the correction it was possible to make the mixtures, which were placed in cubic specimens of 5*5 cm², a molding pressure of 3,489 kPa was applied, then they were left to dry for 48 hours until they dried, then they were removed from the mold and a 28-day curing in water was carried out and finally they were dried in the environment for 3 days. The compressive strength test was performed on 30 bricks, where the brick that obtained the best result was number 10 (10% PET, 55% sand and 35% cement and water), with a value of 24.35 Mpa, this brick complied with the NTE INEN 294 standard. In conclusion, PET can be used as a stabilizer in the formulation of the brick, but it is important that the percentage of sand and water with cement be balanced, as this could affect the brick's strength. It is recommended that the particle diameter of PET should be similar to that of sand, i.e. fine aggregate, which means that it should range between 2.2 and 3.2 um, which will determine the stability, strength and homogeneity of the brick.

Keywords: <CHEMICAL ENGINEERING>, <BRICK>, <ECOLOGICAL>, <POLYETHYLENE TERPHTHALATE (PET)>, <GRANULOMETRY>, <RESISTANCE>, <COMPRESSION>, <CURING>.



Dra. Nanci M. Inca Ch. Mgs.

0602926719

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En todo el mundo, alrededor de un millón de botellas de plástico se venden en el mercado cada minuto y generan contaminación; de los cuales solo el 9% se recicla. Debido a esto la producción de plástico ha crecido a nivel mundial más rápido que cualquier otro material industrial, cabe señalar que más del 90 % de plástico son elaborados a partir de derivados del petróleo, es por ello que el Ecuador sufre efectos del plástico al ser productor de petróleo, uno de los principales productos que sustentan la economía nacional. Según el Ministerio del Medio Ambiente, en todo el país se han detectado cuatro grupos de residuos más contaminantes, en los que se encuentran: botellas de plástico, tarrinas de comida, tapas de tarrinas de comida y colillas (López-Aguirre, et al., 2020 p. 4).

En 2010 se generaron en todo el mundo 1 300 toneladas de residuos sólidos, que se espera aumenten para 2025 a unos 2 200 millones de toneladas, y los residuos inorgánicos, incluidos plástico, papel, vidrio y otros materiales, que suman 72 % del total de residuos en países de ingresos altos y del 36 % al 6 % en los países de ingresos bajos y medianos (Muñoz, et al., 2021).

Actualmente la fabricación de ladrillos de arcilla cocida no solo afecta al medio ambiente teniendo un impacto negativo sobre él, sino que también se caracterizan por la absorción térmica y de agua. Uno de los principales problemas existentes en los países en desarrollo son los problemas sociales como la falta de vivienda y los materiales de construcción a precios asequibles, de los cuales destaca el ladrillo, siendo este uno de los materiales de mayor importancia y contaminación (Muñoz, et al., 2021).

En el Ecuador la combustión que forma parte en la producción artesanal de ladrillos tiene un deficiente manejo como infraestructura y tecnología, como consecuencia de esto emite gases y cenizas contaminantes que afectan de carácter desfavorable tanto a la salud de los seres humanos como de los animales y plantas que se encuentran alrededor de las ladrilleras; y a su vez también afectan a la composición química de la atmosfera contribuyendo con el deterioro del medio ambiente (Jaya, et al., 2012).

La contaminación provocada por la industria del cemento es otro de los puntos negativos no solo afecta al medio ambiente sino también la salud de los operarios y de las personas que viven

alrededor de estas industrias, debido a que en el proceso se elimina varios gases de combustión los cuales están compuestos por monóxido, dióxido, cetonas, sílice e hidrocarburos, esta es una de las razones principales para pensar en el uso de hormigón verde, con el objetivo de reducir la cantidad de cemento que se utiliza en la mezcla a su vez también sustituir es cemento por otros materiales que sean menos agresivos como cenizas, escoria o humo de sílice (Martins, Ferreir, Roberto, Cruz, & Gomes, 2019).

Existen alrededor de 41.000 productores de ladrillos en América Latina, con gran variación en los niveles de producción, tecnología y utilidades, que difieren de un país a otro, así como dentro de cada uno de los productores, peculiaridad estrechamente relacionada con aspectos tecnológicos, culturales, sociales y económicos, entre los más relevantes. Los países de baja tecnología son Ecuador, Argentina, México y los países centroamericanos (Venegas, 2018).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas del Censo (INEC), referente a los materiales utilizados en la construcción, el ladrillo es uno de los principales materiales utilizados en la producción de mampostería en el Ecuador, representando el 41,4% del uso después del bloque. Por lo tanto, el ladrillo es el material de mayor impacto ambiental, ya que es el más demandado de todos los materiales necesarios para la construcción (Venegas, 2018).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Definir la composición óptima de ladrillos ecológicos estabilizados con PET (Tereftalato de Polietileno) mediante la ayuda de un diseño de mezclas.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física de la materia prima.
- Definir un diseño de mezclas que permita encontrar la composición óptima que maximice las propiedades físico-mecánicas del ladrillo.
- Evaluar las propiedades físico-mecánicas y aspectos cualitativos que presenta el ladrillo ecológico añadiendo Tereftalato de Polietileno (PET) de acuerdo a la norma NTE INEN 294 para su uso en la industria de la construcción.
- Realizar una evaluación económica de la presente propuesta en comparación con los ladrillos tradicionalmente utilizados en la construcción.

1.3. Justificación

El plástico es un residuo no biodegradable siendo la principal causa de contaminación ambiental, esto se atribuye a sus fuertes enlaces químicos en la cadena de carbono gracias a que se deriva del petróleo, al ser desechados de manera incorrecta produce grandes daños en el ecosistema tales como contaminación de agua, alteración en la composición del suelo, y muerte de animales, entre otros problemas.

Es necesario entonces implementar estrategias que ayuden a disminuir los daños ambientales provocados principalmente por una mala gestión de residuos, entre los que se encuentran una gran cantidad de polímeros los cuales son desechados a basureros, botaderos, ríos, etc.

De acuerdo con Gareca, Andrade, Pool, Barrón, & Villarpando (2020), actualmente uno de los materiales más utilizados dentro del área de la construcción es el ladrillo, sin embargo, su proceso de elaboración contamina la atmósfera, razón por la cual son considerados dañinos para el medio ambiente, algunos de los combustibles que se utilizan en el proceso de cocción como: leña, madera, llantas, plásticos y textiles al ser quemados emiten una gran cantidad de gases tales como monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y partículas sólidas, estos gases son causantes de problemas de salud y contaminación ambiental, tales como la lluvia ácida, gases inflamables, calentamiento de la biosfera y humos tóxicos que afectan al ser humano.

La producción de ladrillo tiene diferentes impactos sobre el medio ambiente ya sea a nivel del agua, suelo, especies animales o especies vegetales, de acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible en el 2016, los impactos ambientales asociados con la fabricación del ladrillo han ido en aumento en los últimos años gracias a la demanda del mismo para su uso en la construcción, siendo la principal fuente de contaminación del aire, pero este no es el único recurso afectado puesto que muchos de los elementos del entorno están involucrados, los contaminantes que se liberan en esta actividad son diversos y envenenan de diferentes maneras el ambiente por ejemplo los gases y partículas tóxicas que contaminan el agua potable, los cultivos y a su vez el aire que respiran los seres humanos.

El MAE (2016) expone en su investigación que el cuerpo se contamina con el simple hecho de respirar estos gases, por lo que consumir el agua contaminada es de alto riesgo, otro de los impactos se puede evidenciar en el suelo ya que los gases alteran la composición normal; la extracción de arcilla, la tala indiscriminada y la quema del manto vegetal degradado el suelo hasta el punto de que es poco factible que se pueda recuperar estos espacios, para que el suelo recupere su fertilidad tendrían que pasar de 25 a 30 años, pero lo más probable es que no se

recuperen sus propiedades y que el suelo no sea apto para el cultivo, por otro lado el impacto sobre las especies animales y vegetales gracias a la producción de ladrillo es directamente en las plantas las cuales se ven afectadas por las partículas que se desprenden de esta actividad, provocando una reducción en el intercambio de gases, aumentando la temperatura y disminuyendo la fotosíntesis esto gracias a que las partículas bloquean la luz solar, en cuanto a los animales las partículas toxicas como el flúor o arsénico que se encuentran en las plantas y son ingeridas por los animales esto afecta la salud de estas especies, a su vez, el mayor impacto para las especies animales y vegetales es la lluvia ácida, esta es causada por los gases que se combinan con el vapor de agua y forman ácidos esta combinación regresa en forma de precipitaciones las mismas que dejarán residuos tóxicos en la tierra.

Es por eso que la presente investigación tiene como finalidad realizar un diseño de mezclas para la elaboración de ladrillos ecológicos estabilizados con PET (Tereftalato de Polietileno), con el objetivo de reducir la contaminación provocada por plásticos y los gases de combustión en el proceso de cocción del ladrillo, mediante diferentes procesos como selección de la materia prima, trituración, mezclado, en este punto se tiene la incorporación de cemento para evitar la cocción del ladrillo y así darle estabilidad disminuyendo así la contaminación por cocción, así mismo se disminuye la cantidad de arena y agua a utilizarse en el proceso ayudando así al medio ambiente. Por otro lado, se pretende brindar una solución alternativa y más económica a comparación del ladrillo convencional, con un nuevo material más ecológico y amigable con el medio ambiente teniendo las mismas propiedades mecánicas.

La importancia de esta investigación es desarrollar nuevos materiales a partir de residuos plásticos, que afectan al deterioro ambiental y recursos naturales, por un lado, se reduce la contaminación provocada por una mala gestión de residuos plásticos y por otro utilizamos los residuos sólidos para obtener un producto de valor agregado.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

- El ladrillo obtenido de acuerdo con las pruebas físico-mecánicas cumplen con la norma NTE INEN 294.

1.4.2. Hipótesis alternativa

- El ladrillo obtenido de acuerdo con las pruebas físico-mecánicas no cumplen con la norma NTE INEN 294.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

La investigación desarrollada por Gaggino, et al. (2015), presentada al Centro Experimental de la Vivienda Económica expone que, la elaboración del ladrillo convencional produce deforestación, debido a que se talan arboles de los lugares próximos para la obtención de leña necesaria para la operatividad de los hornos, sin que se repongan estos árboles. Además, se produce humo contaminado emitido por los hornos.

A su vez en el mismo artículo presentado por Gaggino, et al. (2015), trata sobre el bajo precio que tienen los ladrillos comunes y se explica que es debido a que los operarios trabajan en condiciones de informalidad y precarias, atentando contra su salud. Por lo general se utilizan emigrantes indocumentados para que la mano de obra sea muy barata, a comparación del costo del ladrillo PET el cual va a depender de la proveniencia de la materia prima, puede que sea gratis para lo cual se tendría que hacer solamente un costeo de energía eléctrica y de la mano de obra, pero también puede provenir de un distribuidor en este caso se tendría que hacer un costeo de transporte, materia prima, elaboración, energía, mano de obra entre otros. Cabe recalcar que el precio de los ladrillos no incluye los verdaderos costos que provocan en el ámbito ambiental y social.

De acuerdo con la investigación realizada por Angumba (2016), expone que en la ciudad de Cuenca el 22.7% del material desechado corresponde a plásticos para lo cual se desarrolló esta investigación con el fin de aprovechar estos desechos los cuales se arrojan a la basura sin un tratamiento. De la misma forma se caracterizó el PET para descartar que tenga efectos contaminantes al momento de que se incluya en la mezcla. En dicha investigación también se presentó el porcentaje de PET añadido donde los valores oscilan desde un 10 a un 70%, y posteriormente se efectuó varios ensayos para comparar estos ladrillos ecológicos con los de arcilla cocidos comúnmente y también comprobar que estén dentro del rango que piden las Normas Ecuatorianas. Una vez terminado los ensayos se evidenció que el mejor ladrillo fue el que tenía 25 % de adición de PET, este fue sometido a diferentes pruebas de resistencia dando como resultado niveles de calidad apto para ser utilizado en las viviendas.

De acuerdo con la investigación presentada por Piñeros (2018), la importancia de elaborar ladrillos con material reciclado como el plástico PET radica en que es un material alternativo para la

construcción de viviendas de bajo costo, liviano, fácil de movilizar que no requiere de mano de obra calificada y es amigable con el medio ambiente. Utiliza como materia prima los contaminantes como lo son los polímeros los cuales tardan entre 800 a 4000 años en descomponerse según su tipo. A su vez, el Ministerio de Medio Ambiente reveló que en el país se produce 11.6 millones de toneladas por año de desechos de estos el 17% es reciclado y se obtiene 9 % de plástico. En dicha investigación se obtuvieron excelentes condiciones para la textura, peso y forma de los ladrillos, se redujo el peso de los ladrillos a 0.785 g, a comparación de los ladrillos convencionales que su peso es de 1.075 g a su vez la adición de PET fue del 10 al 80 %, donde los ladrillos resistentes se obtuvieron con porcentajes del 10, 20 y 25% entre estos tres últimos el mejor fue al 25% de PET agregado.

La investigación presentada por Martins, et al. (2019) , detalla la producción de ladrillos ecológicos a partir de residuos de piedra ornamental y resina de poliéster donde se realizaron combinaciones de 70, 80,85 y 90 de piedra caliza y 30,20,15,10 porcentaje de polímero respectivamente, se realizaron diferentes pruebas entre ellas la de inflamabilidad ,donde la formulación de 90/10 fue la mejor, no solo no propago las llamas, sino que a su vez aumentó la resistencia a ellas, esto debido a que existe material inorgánico en el ladrillo.

En la investigación presentada por Morales (2017) , en la Universidad Lagos del Cacique, menciona que los ladrillos elaborados a base de PET desarrollan una nueva alternativa para la reutilización y aprovechamiento de los envases plásticos que han sido desechados, esto tiene como fin la implementación de un producto a base de material reciclado que sea resistente, similar a los ladrillos producidos convencionalmente, para que a futuro se pueda vivir en armonía con la naturaleza. En dicha investigación se planteó que se realizó adiciones de PET desde un 20% a 40% comparando con la muestra patrón la cual contenía un 0 % de PET, los resultados de este proyecto fueron favorables para la manejabilidad en la fabricación del ladrillo, así también, se obtuvieron buenos resultados de absorción, pero con respecto a la resistencia esta no fue favorable dependiendo del porcentaje de PET añadido, con respecto a la muestra patrón.

Finalmente, en la Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación se describe un artículo presentado por Gareca (2020), se estudió las características físico- mecánicas de los ladrillos ecológicos para lo cual se realizó un enfoque cuantitativo y se utilizó el método experimental y modelación, a su vez, técnicas de: medición, bloques al azar y registro de datos. Se utilizaron diferentes dosificaciones de materiales plásticos como PS, PP, PET y PEBD, las pruebas físico-mecánicas realizadas a los ladrillos obtenidos en esta investigación fueron favorables y estuvieron de acuerdo

a las normas colombianas, peruanas y chilenas, debido a que en Bolivia no existen normas de calidad para la elaboración de ladrillos, a su vez, se presentó la disminución de impacto en el ambiente dando como resultado de absorción de agua que disminuyó en un 22.6% con respecto al ladrillo común.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Ladrillo

La importancia del ladrillo dentro de las construcciones radica que es uno de los materiales base para el desarrollo de una vivienda para lo cual los materiales que son fabricados por la industria del ser humano ofrecen muchas más ventajas que aquellos que se emplean en su estado natural (Ceppi, 2016 p. 12).

De acuerdo con la investigación de Ceppi (2016) en donde expone los materiales que se utilizan en la producción de ladrillo y como estos en su estado natural no ofrecen muchas ventajas, tal es el caso de la madera que se corrompe, se desagregan sus fibras con el pasar del tiempo, el hierro se oxida y al existir diferencias de temperatura y otros aspectos este tiende a destruirse, a su vez la piedra es muy útil y uno de los materiales más apreciados que ofrece la naturaleza, pero suele ser de elaboración dificultosa; mientras que el ladrillo, producto de la invención del hombre, posee muchas ventajas entre las que destacan la durabilidad, apropiación y elaboración más fácil, a su vez también se puede elaborar en cantidades abundantes en todos los lugares y países.

El ladrillo es uno de los materiales que generalmente se emplea y puede en algunos casos reemplazar a otros materiales, los ladrillos convencionales y además los que son de diversos colores esmaltados se han encontrado a lo largo de la historia en ruinas como Babilonia y Nínive entre otras civilizaciones, lo cual nos indica que la bondad de este material viene desde hace siglos desconocidos, y los cuales se encuentran en estado de conservación perfecto (Ceppi, 2016 p. 18).

Los ladrillos poseen forma rectangular y sirven para la construcción de estructuras como muros, casas y entre otras construcciones, en la actualidad es un material indispensable, muchos arquitectos y diseñadores lo usan en sus construcciones constantemente.

Los ladrillos están compuestos por arcilla, este material es muy común en la naturaleza, es una roca la cual contiene partículas muy pequeñas de silicatos, hidratos de aluminio, también es conocida por contener minerales como caolín, existe también el adobe que es considerado como

la base precursora del ladrillo con diferencia que el ladrillo es una versión inamovible y se cuece a temperaturas de 350 °C, a diferencia del adobe el cual no se cuece (MATMAP, 2017 pág. 2).

En la tabla 2-1 se muestra las clases de ladrillos y sus características (MATMAP, 2017 pág. 4):

Tabla 2-1: Tipo de ladrillos y características

Tipo de ladrillo	Características
Cocido de arcilla	Este tipo de ladrillo es hecho de forma artesanal, no tiene perforaciones y sus caras son de tipo rústicas. Se usan para construcciones que no requieren de mucha resistencia, no lo hace apto para viviendas.
Macizo	Prensado o por extracción, tiene buenos acabados y sus medidas son exactas. Este ladrillo tiene huecos en su estructura.
Macizo perforado	Tiene 10% de la superficie perforada. Si este porcentaje varía se considera como otro tipo, la característica es su resistencia , se usa en fachadas de la viviendas por su peso liviano.
Hueco	Este tipo de ladrillos tiene perforaciones en el canto horizontal, por lo que su peso es rebajado, pero sin perder la resistencia. Se usan para realizar tabiques que no soporten mucha carga.
Refractario	Tiene textura homogénea y lisa, hecho de los materiales del ladrillo común, pero en distintas formulaciones. Su resistencia al calor los hace útiles para cubrir zonas que producen fuego o altas temperaturas como hornos, calderas y chimenea.
Cara vista	Son sintéticos y muy estéticos, es perfecto para decorar. Su ausencia de poros hace que soporte el agua y bajas de temperatura.
Borgoña	De 3 a 6 agujeros, muy usado para la decoración de exteriores e interiores. Mantiene sus propiedades acústicas y

	térmicas. Es accesible y fácil de colocar, además de económico y se usa en los techos y paredes.
Gresificado o clínker	Se cuecen a temperaturas altas. Tiende a absorber menos agua y más densidad, su acabado es rústico, esmaltado y gres.
Decorativo de pared estilo rústico	Se usan en casas rústicas por la originalidad y brinda aspectos rurales a las viviendas.

Fuente: (MATMAP, 2017).

La fabricación del ladrillo consta de cuatro puntos importantes que son (Ceppi, 2016 p. 19):

- La elección de la tierra
- Amasado del barro
- Secamiento del material
- Cocimiento

Dentro de esta fabricación se realiza el control de calidad del ladrillo, si se obtiene un sonido sordo y no hay ninguna manera vibrante esto quiere decir que podría fracturarse y dispersarse en pequeños trozos mostrando así un ladrillo poco compacto y nada uniforme por lo que es importante verificar la calidad del ladrillo (Ceppi, 2016 p. 12).

2.2.2. Materiales para la elaboración del ladrillo

Los principales aditivos que se utilizan en la elaboración de los ladrillos son Cemento, cal, arcillas, arena o áridos y agua, los mismos que se describen a continuación:

2.2.2.1. Arcilla

La arcilla es una roca terrosa producto de la destrucción de materiales aluminosos y silicatados antiguos, también se considera una tierra especial, formada por la acción de descomposición de rocas mediante los agentes ambientales. Las arcillas están presentes en la naturaleza, parten de la degradación de rocas ígneas o de feldespatos naturales a su vez de los depósitos eólicos o aluviales. Es por esto que están compuestas por varios minerales (Cabo, 2011 pág. 12).

La tabla 2-2. muestra la comparación entre la corteza terrestre y la arcilla roja con respecto a algunos componentes.

Tabla 1-2: Comparación corteza vs arcilla

Componente	Arcilla de tipo roja (%)	Corteza (%)
Al ₂ O ₃	19.16	15.33
SiO ₂	57.03	59.13
Fe ₂ O ₃	6.69	6.89
Na ₂ O	2.39	3.85

Fuente: (Barranzuela, 2015).

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

La naturaleza y composición de las arcillas van a determinar el valor y el uso de estas. Según sus propiedades se tienen algunos usos:

- La sílice eleva la plasticidad en su forma coloidal.
- Lo que la hace refractaria es la alúmina.
- El óxido de hierro disminuye la propiedad de fusión, actúa como colorante y fundente.
- El manganeso, hierro y aluminio brindan características plásticas.

2.2.2.2. *Cemento*

El cemento se obtiene mediante el proceso de molienda mezclado con clínker, a su vez se añade regulador de fraguado que normalmente es una piedra de yeso natural, el cemento es un conglomerante de tipo hidráulico. Dentro de la composición del clínker se puede destacar los siguientes (SC₃, SC₂, AC₃ y C₄AF), estos presentan calor de hidratación, resistencia y velocidad de fraguado. El cemento es un aditivo que presenta excelentes resultados de resistencia y durabilidad es por esto que se comercializa con éxito (Berretta, et al., 2016 p. 23).

2.2.2.3. *Agua*

Dentro de la fabricación de los ladrillos el agua se utiliza tanto para realizar la mezcla con los demás materiales como; cemento, arcilla, cal, tierra o piedra, como también, en el proceso de endurecimiento en el cual los ladrillos se sumergen 7 días dentro de la etapa de curado, posteriormente se lo deja secar de 14 a 28 días y se realizan pruebas mecánicas y físicas del ladrillo como: Resistencia, elasticidad y resistencia a la absorción entre otras (Berretta, et al., 2016 p. 24).

2.2.2.4. Arena o áridos

Existen diferentes tipos de arenas entre las que se tiene la arena Fina, gruesa y miga cada una de estas están destinadas a un uso específico, la arena se compone de partículas muy pequeñas, grandes o un poco más finas de rocas trituradas, esta se utiliza en la construcción para fabricar hormigón, mampostería, concreto, mortero y pisos. En la elaboración de ladrillos la arena aporta homogeneidad de la mezcla evitando fisuras para lo cual se utiliza la arena de tipo fina (Gareca, et al., 2020 p. 34).

2.2.2.5. Cal

La cal es un aditivo importante ya que brinda la capacidad de cementante y conglomerante, al igual que la arcilla se debe utilizar un 20% de esta en la mezcla, la cal se emplea principalmente en morteros, estrucos y pinturas por su alto contenido de calcio, es utilizado en la construcción para mejorar la compactación, mejorando y estabilizando el ladrillo reduciendo un 90% de grietas (Cabo, 2011 pág. 23).

2.2.3. Método de elaboración del ladrillo

La elaboración de ladrillo sigue el siguiente esquema:

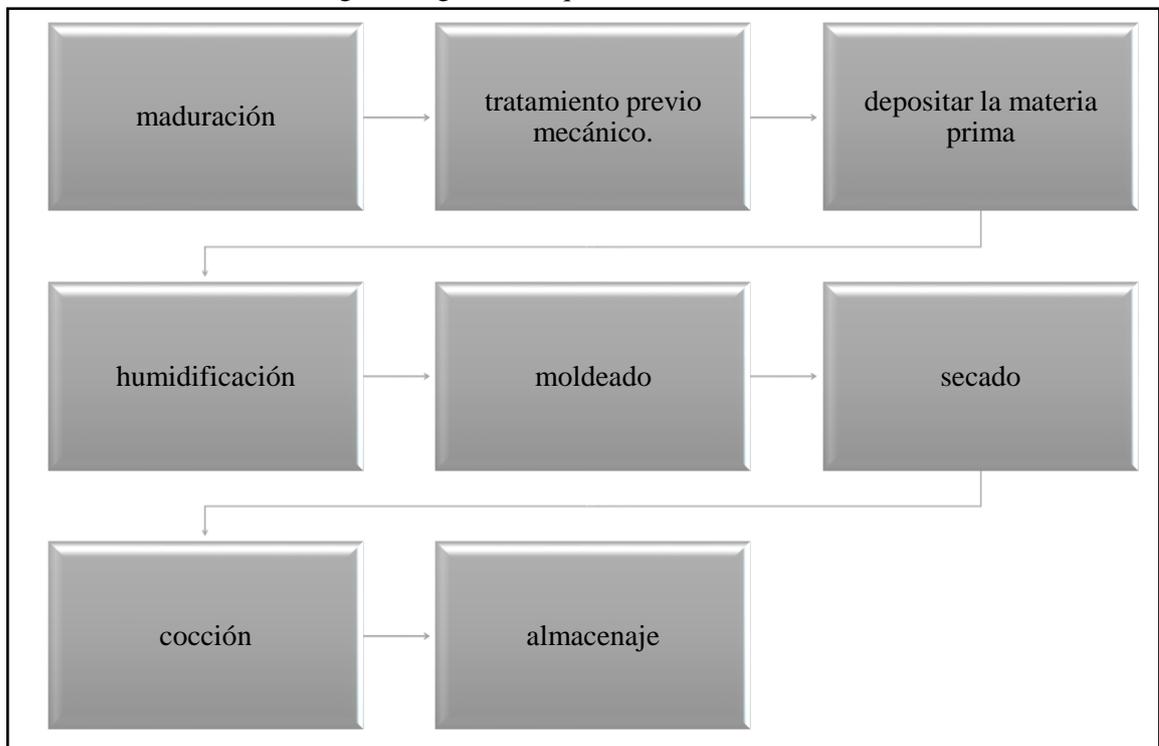


Ilustración 2-1: Proceso de producción de ladrillos

Fuente: (Berretta, et al., 2016 p. 65).

- **Maduración:** Proceso en el que se tritura y homogeniza la arcilla con el fin de obtener una consistencia ideal para la mezcla.
- **Tratamiento previo mecánico:** Proceso de refinación y purificación de la materia prima.
- **Depositar la materia prima:** se homogeniza la arcilla tanto en sus características físico-químicas como en apariencia.
- **Humidificación:** para obtener un moldeado adecuado, se añade agua y se obtiene la humedad requerida.
- **Moldeado:** Se realiza con las medidas requeridas y se compacta la mezcla según la forma.
- **Secado:** se elimina el agua del ladrillo.
- **Cocción:** se lleva a un túnel o en hornos que alcanzan temperaturas desde 900 a 1000 °C.
- **Almacenaje:** se colocan en pallets para una mejor movilidad.

2.2.4. Ladrillo ecológico

La creciente demanda por vivienda ha llevado a producir ladrillos ecológicos que ayuden a disminuir la contaminación por la generación de desechos que por lo general tienen una gestión de desechos mala o inexistente para lo cual muchos de los proyectos que se ven hoy en día van enfocados en eliminar los residuos como los plásticos que son los desechos más comunes pero más difíciles de degradar para la naturaleza, a partir de esto se quiere reciclar los desperdicios de origen rural y urbano, elaborando productos de valor agregado como es el caso del ladrillo ecológico (Berretta, et al., 2016 p. 8).

El término ladrillo ecológico radica en la utilización de material reciclado y adecuado para nuevos usos, es así que el material más utilizado para la fabricación son los plásticos los cuales pueden ser; PS, PET, PEBD, PP entre otros. En la investigación presentada por Berretta, et al. (2016) trata sobre la disponibilidad de la materia prima reciclada la misma que se la puede obtener en envases de bebidas descartables fabricadas con estos plásticos, también se expone que el plástico más desechado es el PET, el cual está presente en la elaboración de botellas para jugos y gaseosas que son las más consumidas en el mundo, por lo que se puede obtener ladrillos que ofrecen las mismas ventajas y cualidades de los ladrillos tradicionales dentro de la seguridad y confort.

2.2.5. Propiedades del ladrillo ecológico

Una de las ventajas principales de la fabricación de ladrillos ecológicos es el descarte de la emisión de gases nocivos como CO₂ a la atmósfera en el proceso de cocción en la elaboración de estos. A

su vez, se utilizan muchos residuos como aditivos que tienen una gran importancia estos pueden ser residuos de cultivos o polímeros que se ocupan en grandes cantidades en el mundo (Cabo, 2011 pág. 6).

Los residuos de cosechas se utilizan como biomasa para la creación de energía limpia, el problema principal es el proceso en el que los residuos combustionan, ya que genera cenizas y estas producen grandes impactos en el ambiente. Es por ello que al utilizar este material como materia prima para la fabricación de ladrillos estamos minimizando los costes de producción y creando un material de construcción (Cabo, 2011 pág. 43).

De acuerdo con Isan (2018), los ladrillos ecológicos o eco ladrillos pueden clasificarse y elaborarse de varias Fuentes como se observa a continuación en la tabla 2-3:

Tabla 2-3: Tipos de ladrillos ecológicos

Tipo de material utilizado	Característica del ladrillo obtenido
Ceniza de carbón	Recicla la ceniza generada por centrales que usan carbón, y se aprovechan las temperaturas altas para la fabricación.
Negro	Utiliza residuos de la industria de papel, su objetivo es conseguir un ladrillo de tipo arcilla roja, al mismo tiempo que aprovecha los desechos.
Cáñamo, cascarillas de arroz o paja cáscara de cacahuete.	Se obtiene ladrillos resistentes, aislantes y ayudan al planeta gracias a que disminuyen el uso de aire acondicionado y calefacción.
Tierra o arena comprimida.	Proporcionan un aislamiento mejor al común.
Humo congelado	Este novedoso ladrillo puede soportar hasta 160.000 veces su peso y se lo produce con impresión 3D.
Plásticos reciclados	Resistente, ideal para realizar muros o pequeñas casas, aumentan su resistencia al calor gracias a que contiene polímeros, económicos, utiliza residuos muy contaminantes para el medio ambiente.

Fuente: Isan, 2018.

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

Las principales propiedades del ladrillo ecológico son (Isan, 2018 pág. 54):

- Disminución del impacto ambiental
- Gran capacidad para aislar del calor, frío, humedad y ruido.
- Aspecto económico: Ahorro en el momento de adquirir o fabricar de forma artesanal los ladrillos a su vez también ahorro energético y de recursos como el agua.

2.2.6. Plástico

Son sustancias que se forman por macromoléculas, sus propiedades son similares a las resinas naturales, se preparan mediante síntesis como polimerización o condensación. Se les da forma mediante presión o calor, manteniendo o adquiriendo propiedades elevadas de resistencia (Universidad de Sevilla, 2018 p. 32).

De acuerdo con la Universidad de Sevilla (2018) ,los plásticos tienen un comportamiento de rigidez y elasticidad lo cual es otorgado por sus cadenas de átomos dentro de la estructura, el plástico es llamado así por el comportamiento que toma al momento de fabricarse, permitiendo el moldeo, por lo general se componen de; la carga la cual proporciona dureza y el aglutinante que va a proporcionar elasticidad y solidez en este caso la resina.

El plástico es un material que está siendo utilizado en como sustituto en algunos materiales utilizados en la construcción ya que al utilizarlo se está reduciendo el impacto generado por estos materiales de tipo pétreos así mismo se ayuda con el reciclaje de estos materiales (Gaggino, et al., 2015).

El reciclaje es un proceso que consiste en reutilizar o a su vez brindar una nueva función a los materiales que ya han cumplido con su función principal, de acuerdo con Alarcón, (2013) el reciclaje es importante debido a que se pueden conservar y ahorrar los recursos naturales, disminución en la cantidad de residuos eliminados, protege el medio ambiente, Da una nueva función a los materiales desechados y también puede mejorar la calidad de vida.

Los plásticos se fabrican a partir de materias vegetales, minerales o incluso animales, los polímeros artificiales son el núcleo de todos los plásticos que se emplean en la actualidad, el proceso de polimerización es el procedimiento por el cual los monómeros se unen en forma de suelta entre sí y forma polímeros, existen homopolímeros los cuales son a partir de un solo tipo de monómero y existen los copolímeros que se forman por la adición de dos o más monómeros diferentes (Alarcón, 2013 p. 23).

Ejemplo:

HOMOPOLIMERO

A-A-A-A-

COPOLIMERO

A-B-A-B-

Dentro de la fabricación de los polímeros se destaca el proceso general donde se tiene que es un proceso químico que se da a partir del plástico en forma de polvo, se le añade aditivos como; Plastificantes, lubricantes, colorantes y estabilizantes posteriormente se realiza un mezclado y amasado hasta obtener una mezcla homogénea llamada granza y finalmente se aplica moldeado hasta conseguir la forma deseada (Universidad de Sevilla, 2018).

Los plásticos pueden dividirse en:

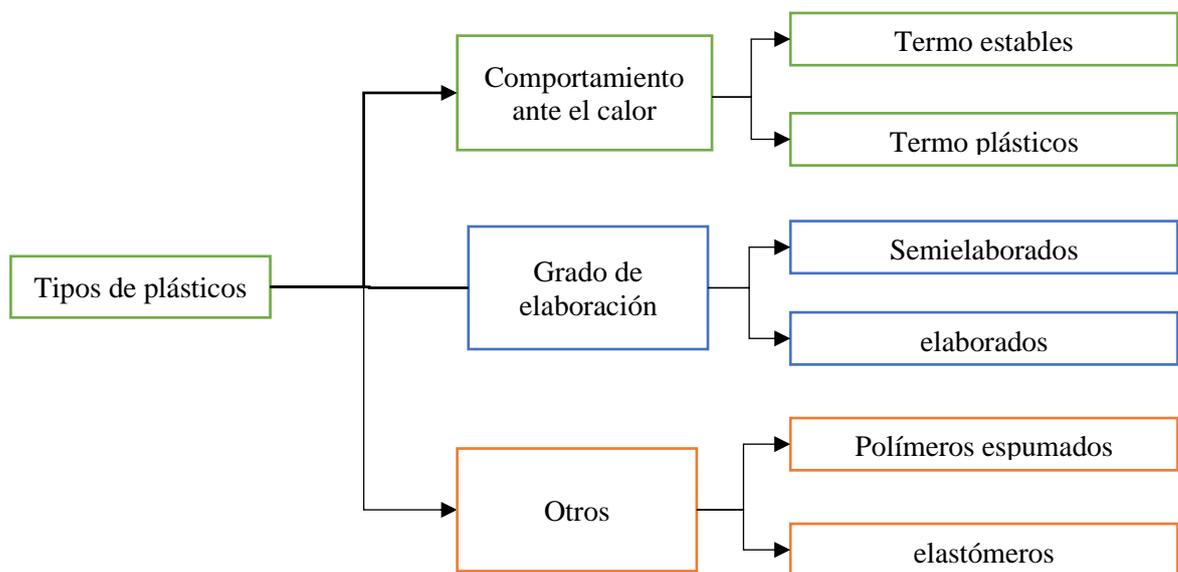


Ilustración 1-2: Tipos de plásticos

Fuente: (Cabo, 2011 p. 75)

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

Así también se tiene las propiedades de los plásticos como mecánicas las cuales son muy diversas desde rígidas hasta quebradizas o a su vez pueden ser flexibles y elásticas, densidad, eléctricas, térmicas, resistentes a la corrosión y resistentes al fuego.

2.2.7. Clasificación del plástico

Los plásticos que se pueden reciclar para la fabricación de ladrillo son los siguientes (Piñeros, 2018 pág. 11):

Tabla 2-4: Clasificación de los plásticos

Nombre	Características	Usos
Polietileno Tereftalato (PET) 	P- de fusión: 259-261 °C Densidad g/cm ³ : 1.38 Elástico de 50 al 150% Fractura y ruptura: 14.90 N/m ² Absorción de agua (ASTM): 0,15 Cond. Térmica: 0,24 W/(m*k). Buena resistencia química y térmica.	Es utilizado en envases para bebidas y en textiles.
Polietileno de alta densidad (HDPE) 	Es sencillo de reciclar Alta resistencia a los impactos químicos y temperaturas elevadas.	Se usa en plásticos para el embalaje como abones, yerba, alimentos o golosinas.
Poli cloruro de vinilo. 	Resistencia a tracción Resistencia a la compresión. Módulo de elasticidad. Muy versátil. Estable, resistente y duradero.	Se usa en juguetes, molduras, tableros para los automóviles, tuberías de protección tuberías para el agua puertas y otros.
Polietileno de baja densidad (PEBD) 	Buena resistencia química y térmica. Soporta T° de 80°C y de 95°C en un tiempo menor. Es flexible. No se puede pintar ni imprimir sobre él. Resistente al impacto	Se encuentra en manteles, envases de crema, bolsas para la basura y shampoo.
Polipropileno (PP) 	Plástico difícil para posible de reciclar. Es muy resistente y difícil de moldear	Se utiliza para residuos industriales
Poliestireno (PS) 	No se descompone lo que no constituye a la reproducción de microorganismos. Se degrada en 500 años. Es ligero Resistente a la humedad Capacidad para resistir y absorber impactos,	Se encuentra en vasos desechables, para bebidas calientes y en bandejas para cárnicos.

Fuente: Isan, 2018.

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

2.2.8. Tereftalato de polietileno (PET)

El PET es un material muy utilizado dentro de la elaboración de recipientes para bebidas, aceites, jugos y detergentes. A continuación, como se muestra en la figura 3 se puede evidenciar la unidad que se repite, mientras más alto sea el peso molecular, mejores propiedades tendrá. El PET es un polímero compuesto por cadenas largas repetidas de Hidrogeno, carbono y oxígeno, todos estos son elementos orgánicos (Angumba, 2016 p. 32).

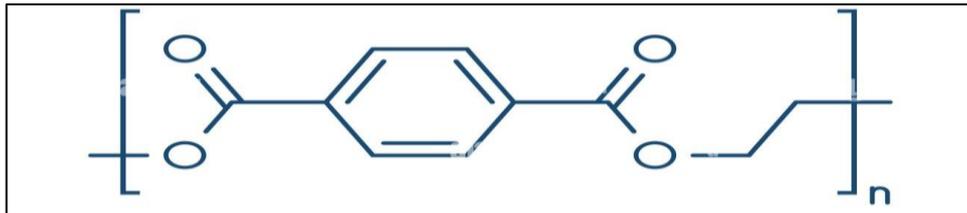


Ilustración 2-3: Fórmula química del PET desarrollada.

Fuente: (Berretta, et al., 2016).

De acuerdo con la investigación de Angumba (2016), el PET fue producido para uso de fibras sintéticas, posteriormente se utilizó en la elaboración de películas para empaquetar en los años 60 y a inicios de los años 70 se descubrió la técnica para elaborar botellas mediante la expansión de este material y empezó a producirse comercialmente. Hacer una botella de PET actualmente se ha generalizado dentro de la industria plástica, para lo cual se comienza con el paraxileno y etileno como materias primas, los derivados de estos se hacen reaccionar y es así como se obtiene la resina PET. Los pellets son cilindros pequeños que se forman de esta resina los cuales son inyectados y fundidos en un molde para darles forma. Mediante la inyección de aire a altas presiones se sopla para dar la forma de botella, el producto final es lo que se conoce como una botella ligera, transparente y fuerte (Angumba, 2016 p. 54).

En la tabla 2-5 se puede observar las propiedades del PET:

Tabla 2-5: Propiedades del PET

Propiedades mecánicas	
Peso específico	139 g/cm ³
Resistencia a la tracción fluencia	900 kg/cm ²
Resistencia a la flexión	1450 kg/cm ²
Alargamiento a la rotura	15%
Módulo de elasticidad (tracción)	37000 kg/cm ²
Resistencia al desgaste por roce	Muy buena

Propiedades térmicas	
Temperatura de fusión	255 °C
Conductividad térmica	Baja
Temperatura de deformidad por calor	170 °C
Temperatura de ablandamiento de Vicat	175 °C
Coefficiente de dilatación lineal de 23 a 100°C	0.00008 mm por °C
Propiedades eléctricas	
Absorción de humedad	0,25 %
Propiedades químicas	
Resistencia a álcalis débiles a temperatura ambiente	Buena
Resistencia a ácidos débiles	Buena
Comportamiento a la combustión	Arde con mediana dificultad
Propagación de llama	Mantiene la llama
Comportamiento al quemado	gotea

Fuente: (Barranzuela, 2015).

Realizado por: Cabrera, Bryan.2023.

La razón principal del éxito de los recipientes elaborados a base de PET es que gracias a su estructura molecular es irrompible, lo que llama mucho la atención de los consumidores, a su vez es un material de empaquetamiento ligero y transparente otras de sus propiedades que lo hacen ideal es que tiene gran libertad para el diseño de empaques lo que lo hace muy versátil dentro de una industria que desea llamar la atención de sus clientes por medio de la vista (Angumba, 2016 p. 65).

2.2.9. El PET en la industria

El PET es uno de los pocos materiales que es 100% reciclable, sin embargo no solo es esta característica que lo hace amigable con el medio ambiente sino también es que con este se fabrican envases sumamente ligeros, que también ayudan a disminuir la formación de desechos por empaques reduciendo así la emisión de contaminante durante el transporte (Angumba, 2016 p. 66).

El PET está presente en la industria de envases en muchas clases bebidas como jugos y cerveza que son sensibles a la luz, el hecho de que la luz penetre ocasionaría que se degrade el sabor ya sea de la cerveza o jugo, por lo que el PET tiene una barrera funcional que se inserta dentro de las paredes del envase o botella. El PET se debe de clasificar por medio de color, tipo de compresión

y color para poder ser reciclado, ya que cada uno de estos lleva consigo una identidad electrónica que lo reconoce, posteriormente es triturado, sus etiquetas deben ser retiradas con aire a presión y lavados intensivos (Angumba, 2016 p. 43).

El PET como material de construcción se lo utiliza para construir paredes de división, en la fabricación de mampuestos y placas utilizadas en procesos sencillos donde la maquinaria no es costosa, este tipo de plástico se utiliza en la fabricación de ladrillos los cuales son livianos por el bajo peso específico de la materia prima también tiene resistencia a la compresión tanto bloques como ladrillos, son suficientes para ser utilizados en viviendas con estructuras independientes, la absorción de agua es similar a los ladrillos convencionales y a su vez al ser expuesto a la intemperie no se ha encontrado deterioro ni alteración en sus dimensiones, por lo que el PET es un excelente materia prima para la construcción de eco ladrillos (Cabo, 2011 pág. 12).

El PET es un material que no presenta cambios químicos por lo que se lo considera material inerte, no libera energía, absorbe o almacena agua por lo que este material no se considera como ofensivo para el hormigón (Angumba, 2016 p. 69).

2.2.10. Normas

La Norma Ecuatoriana INEN 297 tiene como objetivo principal el establecimiento de requisitos que se deben cumplir para los ladrillos, a su vez el alcance que tiene esta norma es netamente para comprender sobre los ladrillos fabricados de arcilla moldeada y cocida, no comprende a los ladrillos refractarios o los que son fabricados a base de silico – calcáreos. Las características de resistencia y absorción de humedad que deben de cumplir los ladrillos se detallan a continuación en la ilustración 2-4:

Tipo De Ladrillo	Resistencia mínima a la compresión MPa* (ver nota 1)		Resistencia mínima a la flexión MPa* (Ver nota 1)	Absorción máxima de humedad %
	Promedio de 5 unidades	Individual	Promedio de 5 unidades	Promedio de 5 unidades
macizo tipo A	25	20	4	16
macizo tipo B	16	14	3	18
macizo tipo C	8	6	2	25
hueco tipo D	6	5	4	16
hueco tipo E	4	4	3	18
hueco tipo F	3	3	2	25

Ilustración 2-4: Norma INEN 297

Fuente: (Berretta, et al., 2016).

Dentro de la norma 297 se tiene las referencias normativas para determinar la resistencia a la compresión para lo cual la Norma INEN 294 muestra cómo se realiza el método de ensayo de los

ladrillos cerámicos que se emplearan en la albañilería, en esta se utiliza un equipo de compresión de tipo plato con rótula que siempre tiene que tener apoyada o entrar en contacto con la superficie para que la prueba sea correcta. Por otro lado, la norma INEN 296 tiene como objetivo principal la determinación de humedad en ladrillos empleados en la albañilería, donde las referencias normativas utilizadas son la NTE INEN 292 y 293 que complementan la utilización de este ensayo. Finalmente, la norma INEN 295 muestra que ensayos se deben de realizar para determinar la resistencia a la flexión del ladrillo en la cual podemos encontrar el procedimiento descrito en el que se basa esta norma para determinar si el ladrillo tiene no una buena flexión mediante la utilización de carga progresiva, logrando obtener la resistencia máxima que soporta el ladrillo de acuerdo a la norma (Gutiérrez, et al., 2016 p. 54).

2.2.11. Diseño de mezclas

De acuerdo con Gutiérrez, et al. (2016) un diseño de mezclas es el cual se obtiene un producto resultante de la mezcla de diferentes componentes existen muchos problemas de investigación y reales por ejemplo los medicamentos, bebidas, pinturas, resinas, detergentes, cementos y gasolinas que están formados por la mezcla de distintos componentes o ingredientes. En general la característica de calidad supone que viene dada por la mezcla correcta de los componentes y no de la calidad absoluta de los mismos.

Los objetivos de un experimento con mezclas son los siguientes (Gutiérrez, et al., 2016):

- Determinar las interacciones o mezclas de los ingredientes y cuál de ellas tiene una mayor influencia sobre las respuestas de interés ya sea uno o varias.
- En función de las proporciones de los componentes se modelará las respuestas de interés de la mezcla.
- Calcular en que porcentaje debe participar cada componente dentro de la mezcla usando dichos modelos para lograr obtener la formula con las propiedades deseadas.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

Cuando se habla de enfoque de investigación se trata sobre la naturaleza de la investigación esta puede ser mixta, cuantitativa o cualitativa, para la presente investigación experimental se empleará un enfoque cuantitativo con el fin de comprobar las hipótesis planteadas previamente.

Enfoque cuantitativo: mediante este enfoque se identificará los aspectos como resistencia mínima a la compresión mecánica, absorción máxima a la humedad, flexión y peso, con el objetivo de seleccionar un ladrillo resistente apto para ser utilizado, que sea buen aislante térmico y finalmente tenga fácil acceso y sea económico.

3.2. Alcance de investigación

En el presente trabajo de investigación se llevará a cabo diferentes análisis y ensayos tanto en la materia prima como en el ladrillo obtenido, los cuales están encaminados a encontrar una formulación óptima mediante la aplicación del diseño de mezclas para obtener un ladrillo ecológico que sea resistente, tenga buena flexión, absorbancia y sea de fácil acceso, con un material innovador como es el PET, el cual posee características que de acuerdo a la base bibliográfica mejoran las propiedades mecánicas del ladrillo ecológico.

3.3. Diseño de investigación

3.3.1. Identificación de variables

Tabla 3-1: Identificación de variables

Variables		Etapa de Proceso
Variable Independiente	Porcentaje de los componentes de la mezcla	Elaboración de ladrillo ecológico
	Porcentaje de PET	
	Porcentaje de Arena	
Variable Dependiente	Resistencia a la compresión	Obtención del ladrillo ecológico

Realizado por: Cabrera, Bryan, 2023.

3.3.2. Operacionalización de variables para la obtención de ladrillo ecológico con PET

Tabla 3-2: Operacionalización de variables

Variables Independiente/ Dependiente	Subvariable	definición operacional	Equipos	Rango	Unidad de medición
Porcentaje de componentes de la mezcla	Agua	Agua que se necesita para realizar la mezcla	Pipeta	50 - 53	Mililitros (ml)
	Cemento	El cemento dentro de la composición del clínker se puede destacar los siguientes (SC ₃ , SC ₂ , AC ₃ y C ₄ AF), estos presentan calor de hidratación, resistencia y velocidad de fraguado. El cemento es un aditivo que presenta excelentes resultados de resistencia y durabilidad es por esto que se comercializa con éxito.	Balanza industrial	30 - 40	Gramos (g)
Porcentaje de Arena	La arena es materia que se utiliza en la construcción, se forma a partir del desprendimiento de rocas y está formada por granos de minerales, se la puede encontrar en la playa, ríos o en terrenos formando capas, como materia prima ayuda a con la homogeneidad y estabilidad a las estructuras.		Balanza analítica	50 - 60	Gramos (g)
Porcentaje de PET	Porcentaje de PET alto	El Tereftalato de polietileno comúnmente se lo conoce como PET, se elabora mediante la polimerización gracias a esto se lo llama polímero, la materia prima ideal para dar resistencia al ladrillo ecológico.	Balanza analítica	5 - 15	gramos
	Porcentaje de PET medio				
	Porcentaje de PET bajo				
Resistencia a la compresión	Presión máxima que resiste un ladrillo antes de deformarse, al trabajar como ladrillo macizo de tipo A lo que se busca es que resista más de 20 Mpa.		Equipo de Compresión	20	Mega Pascal (Mpa)

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

3.3.3. Matriz de consistencia

Tabla 3-3: Matriz de consistencia

ASPECTOS GENERALES				
PROBLEMA GENERAL		OBJETIVO GENERAL		HIPÓTESIS GENERAL
<p>En todo el mundo, alrededor de un millón de botellas de plástico se venden en el mercado cada minuto y generan contaminación; de los cuales solo el 9% se recicla. Debido a esto la producción de plástico en el país ha crecido más rápido que cualquier otro material industrial, cabe señalar que más del 90 % de plástico son elaborados a partir de derivados del petróleo, es por ello que el Ecuador sufre efectos del plástico al ser productor de petróleo, uno de los principales productos que sustentan la economía nacional. Mediante esta investigación se pretende aprovechar los desechos plásticos y convertirlos en un producto de valor agregado, como lo es el ladrillo ecológico.</p>		<p>Definir la composición optima de ladrillos ecológicos estabilizados con PET (Tereftalato de Polietileno) mediante la ayuda de un diseño de mezclas.</p>		<p>El ladrillo obtenido de acuerdo con las pruebas físico-mecánicas cumplen con la norma NTE INEN 294.</p>
ASPECTOS ESPECÍFICOS				
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ALTERNATIVA	VARIABLES DE LA HIPÓTESIS ALTERNATIVA	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
<p>En el Ecuador no existe una norma que controle las emisiones provocadas por la combustión que forma parte en la producción artesanal de ladrillos por lo que este procedimiento tiene un deficiente manejo tanto en la infraestructura como en la tecnología, como consecuencia de esto emite gases y cenizas contaminantes que</p>	<p>Definir un diseño de mezclas que permita encontrar la composición optima que maximice las propiedades mecánicas del ladrillo.</p>	<p>El ladrillo obtenido de acuerdo con las pruebas físico-mecánicas no cumplen con la norma NTE INEN 294.</p>	<p>Porcentaje de los componentes de la mezcla Porcentaje de PET Porcentaje de arena</p>	<p>-Revisión bibliográfica. - Método descrito por Angumba (2016).</p>

<p>afectan de carácter desfavorable tanto a la salud de los seres humanos como de los animales y plantas, el PET es un polímero que contamina el medio ambiente además de que su degradación tarda más de 500 años.</p>				
<p>De acuerdo con las diferentes Fuentes bibliográficas consultadas en el Ecuador no existe suficiente información sobre las propiedades físico- mecánicas de los ladrillos ecológicos, por lo que no se han tomado en cuenta todavía para implementarlos en la industria.</p>	<p>Evaluar las propiedades físico- mecánicas y aspectos cualitativos que presenta el ladrillo ecológico añadiendo Tereftalato de Polietileno (PET) de acuerdo a la norma NTE INEN 294 para su uso en la industria de la construcción.</p>		<p>Resistencia a la compresión.</p>	<p>NTE INEN 294</p>
<p>No existe una industria que elabore ladrillos ecológicos solo elaboran el ladrillo común el cual es uno de los principales materiales utilizados en la producción de mampostería en el Ecuador, por lo tanto, el ladrillo es el material de mayor impacto ambiental, ya que es el más demandado de todos los materiales necesarios para la construcción.</p>	<p>Realizar una evaluación económica de la presente propuesta en comparación con los ladrillos tradicionalmente utilizados en la construcción.</p>		<p>Costo del ladrillo</p>	<p>Análisis de precio</p>

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

3.3.4. *Diseño experimental de la investigación*

Para determinar que diseño de mezclas se va a elegir primero se debe de tener en cuenta la gran variedad que existe en los diseños de experimentos por lo que se debe realizar un análisis previo antes de seleccionar el método que más conviene, a su vez se debe de tener en cuenta al momento de la elección la cantidad de factores involucrados y el objetivo que se ha planteado en la presente investigación, para lo cual se detalla en las tablas 3-4 y 3-5 la selección del método:

Tabla 3-4: Selección del método de acuerdo con el objetivo planteado

Tipo de métodos	Objetivo a perseguir
Comparativos	Se elige entre alternativas
Efectos principales	Selecciona el factor principal que afectará a la respuesta
Superficie de respuesta	Obtener una respuesta determinada. Reduce la variabilidad del experimento. Minimizar o maximizar una respuesta Crear un robusto proceso. Hallar respuestas múltiples
Diseño de mezclas	Optimizar las proporciones de ingredientes o componentes en una mezcla.
Modelos de regresión	Obtener una función matemática que represente el fenómeno.

Fuente: (Gutiérrez, et al., 2016)

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

Tabla 3-5: Selección del método de acuerdo al número de factores

Número de factores	Métodos comparativos	Efectos principales	Superficie de respuesta	Diseño de mezclas
1	Diseño completamente aleatorio	---	---	---
2-4	Diseño por bloque aleatorio	Método factorial fraccionario o completo	Central compuesto o Box– Behnken	Simplex o vértices extremos
5 o más	Diseño por bloque aleatorio	Método factorial fraccionario o Plackett Burman	Reducción del número de variables (Efectos importantes)	---

Fuente: (Gutiérrez, et al., 2016)

Realizado por: Cabrera, B. 2023.

En la tabla 3-5 se tiene la selección del método según el número de factores, de acuerdo con esto en la presente investigación se llevará a cabo un diseño de mezclas donde se variará los porcentajes de los componentes, el porcentaje de PET y porcentaje de arena, estas variables son de tipo independiente y la variable dependiente, es la resistencia a la compresión, a partir de estos 3 factores obtendremos diferentes resultados que puedan ayudar a confirmar o negar las hipótesis planteadas, a su vez el diseño de mezclas es un método utilizado para optimizar el uso de los componentes que intervienen en la mezcla, a su vez, la sumatoria de los componentes de la mezcla debe dar 100% por lo que permitirá obtener la formulación adecuada del ladrillo ecológico, en total son 10 unidades de análisis que serán las diferentes mezclas, en las cuales se variaran los porcentajes de los componentes, mismos que son la base para la elaboración del ladrillo ecológico.

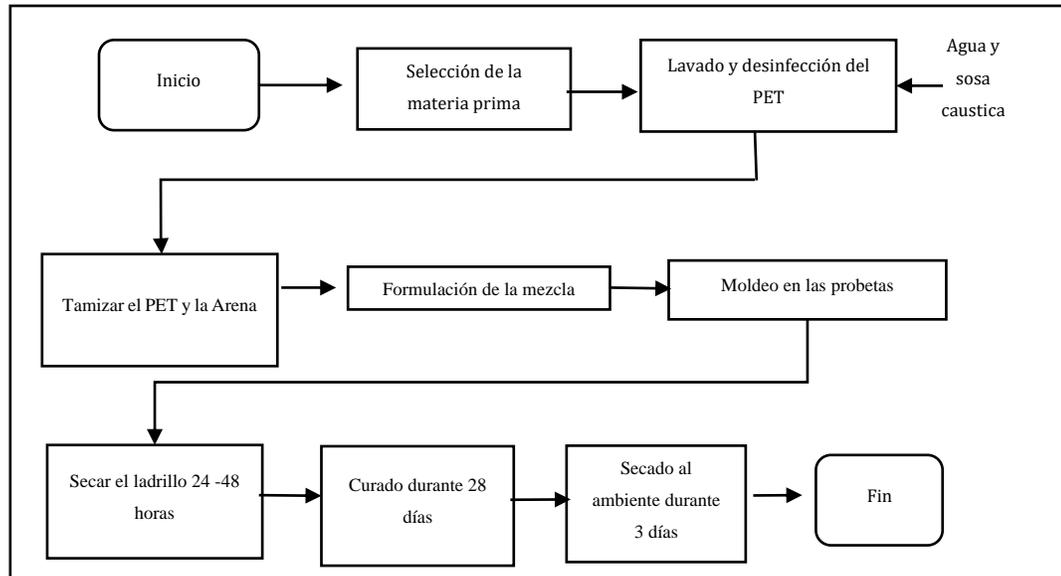


Ilustración 3-1: Diagrama de flujo del diseño de experimentos de la elaboración de ladrillos ecológicos

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

3.4. Tipo de estudio

El presente estudio es de campo, debido a que se realizan diferentes formulaciones con el fin de obtener la más eficiente, a su vez se observará datos, manipularán variables, analizarán los resultados comprobando si se cumplen las hipótesis planteadas a través del diseño de mezclas, para obtener el ladrillo ecológico.

3.4.1. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

Fuentes primarias:

Se recopilará información mediante fuentes primarias de tipo externas a través de artículos, libros, ensayos científicos y demás fuentes, a su vez también en tesis que están publicadas en distintas bibliotecas, que contengan información relacionada con el tema que se está llevando a cabo, esto ayudará a tener un amplio conocimiento de cómo desarrollar de manera correcta la investigación.

Fuentes secundarias:

Se llevarán a cabo diferentes pruebas con el fin de obtener datos que ayuden a definir cuál de los ladrillos es el mejor y tiene características similares al ladrillo común para lo cual se tiene pruebas

como: Resistencia a la compresión, flexión, absorción de humedad, peso entre otras características cualitativas como: color, textura y diámetro.

A continuación, se muestran los procedimientos a seguir en cada prueba:

3.4.2. Cálculo de granulometría

La tabla 3-6, muestra las pruebas para calcular la granulometría de la arena.

Tabla 3-6: Granulometría de la arena

Cálculo granulométrico de la arena
Materiales
<ul style="list-style-type: none"> - Arena fina - Tamices (No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No. 8, No. 4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3" y de 6")
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se pesa la arena que se va a utilizar. ➤ Se utiliza diferentes tamices desde el número 8 hasta el número 200. ➤ Se debe pesar la arena retenida para construir la tabla de peso retenido y el % de peso retenido. ➤ Se revisan los resultados obtenidos para definir cuál es el diámetro de las partículas de arena. ➤ Anotar resultados
<p>Cálculos: el módulo de finura se calcula mediante la siguiente ecuación:</p> $MF = \frac{\sum \%retenido_acumulado(6"+3"+1\frac{1}{2}"+\frac{3}{4}"+\frac{3}{8}"+N^{\circ}4+N^{\circ}8+N^{\circ}16+N^{\circ}30+N^{\circ}50+N^{\circ}100)}{100}$ <p>Donde: MF= Módulo de finura</p>

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

3.4.3. Porcentaje de absorción

La tabla 3-7, muestra las pruebas para calcular la absorción de la arena.

Tabla 3-7: Absorción de la arena

Absorción del agregado	
Materiales	
-	Arena fina
-	agua
Procedimiento	
➤	Se pesa la arena que se va a utilizar.
➤	Se pone en contacto con el agua
➤	Se sumerge la arena durante un periodo prolongado (24 ± 4 horas)
➤	Anotar resultados
Cálculos: El cálculo de la capacidad de absorción se calcula mediante la siguiente ecuación:	
$CA\% = \frac{M_{SSS} - M_{seco}}{M_{seco}} \times 100\%$	
Donde:	
M _{SSS} = Masa en estado saturada superficie seca de la muestra	
M _{Seco} = Masa seca al horno de la muestra	

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

3.4.4. Densidad de la arena

La tabla 3-8, muestra las pruebas para calcular la densidad de la arena.

Tabla 2-8: Cálculo de la densidad de la arena

Peso específico de la arena	
Materiales	
-	Arena fina
-	picnómetro
Procedimiento	
➤	Se realiza primero la masa de arena SSS (Saturada superficie seca).
➤	Posteriormente se realiza el volumen desalojado o volumen de la arena seca.
➤	Finalmente se calcula la densidad de la arena.

Cálculos: El cálculo de la densidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

Masa de arena SSS

$M_{SS} = (\text{Masa del picnómetro} + \text{arena SSS}) - (\text{Masa del picnómetro})$

Volumen de la arena en SSS

$V = (\text{Masa del picnómetro calibrado}) - (\text{Masa del picnómetro}) - (\text{Masa del picnómetro} + \text{Arena en SSS} + \text{Agua}) - (\text{Masa del picnómetro} + \text{arena en sss})$

Densidad

$$\text{Densidad} = \frac{M_{SS}}{V}$$

Donde:

M_{SS} = Masa en estado saturada superficie seca de la muestra

V = volumen de la arena

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

La tabla 3-9, muestra las pruebas para calcular la resistencia a la compresión del ladrillo.

Tabla 3-9: Resistencia a la compresión

MÉTODO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTE INEN 294)
Materiales
- Ladrillo ecológico - Máquina de compresión
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none">➤ Las muestras que se utilizarán en la prueba son mitades de ladrillos con las caras paralelas y planas obtenidas de 5 ladrillos que estén secos, enteros y sin defectos, cortados mediante una maquina adecuada, evitando dañar las aristas.➤ En caso de tener irregularidades se debe someter a un tratamiento de preparación:<ol style="list-style-type: none">a) Cubra la superficie de la muestra en contacto con la máquina con una capa que consista en una mezcla que contenga 40% a 60% de azufre o (en masa) arcilla u otro material inerte.b) Una vez aplicada la capa de mezcla de azufre, se deja enfriar durante al menos dos horas.c) Cuando aparezcan vacíos en la superficie de la muestra, llénela con cemento, déjela reposar durante 24 horas y luego aplique el recubrimiento.

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Las muestras se colocan en el centro con respecto a la rótula y de manera que la carga se aplique en la dirección de su menor dimensión. ➤ La carga máxima se aplica hasta la mitad y a cualquier velocidad, la carga restante se aplica en un tiempo no mayor a dos minutos y no menor a un minuto.
<p>Cálculos: la resistencia a la compresión se calcula mediante la siguiente ecuación:</p> $C = \frac{P}{A}$ <p>Donde: C= La resistencia a la compresión, en Mega pascales. P= La carga de rotura, en Newtones. A= Área de la sección en milímetros cuadrados.</p>
<p>La superficie A se calcula por la siguiente ecuación:</p> $A = a \times l$ <p>a= ancho de la muestra, en milímetros l= largo de la muestra, en milímetros</p>

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

3.4.5. *Diseño de mezclas*

La tabla 3-10, muestra el diseño de mezclas para la elaboración del ladrillo.

Tabla 3-10: Diseño de mezclas del ladrillo

Diseño de mezclas y análisis estadístico
Procedimiento
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Seleccionar el tipo de diseño a emplearse ➤ Insertar el número de variables de respuestas y el número de componentes ➤ Insertar la información de cada uno de los componentes a ser variados ➤ Colocar la información que requiere ➤ Seleccionar el tipo de diseño de mezclas ➤ Seleccionar las opciones del diseño ➤ Guardar el archivo de diseño
Cálculo:
Calcular los resultados con la ayuda del software Statgraphics

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

La tabla 3-11, muestra las restricciones del diseño de mezclas.

Tabla 3-11: Restricciones en el diseño de mezclas

Restricciones en el diseño de mezclas		
Tipo de aditivo	Restricción (menor, mayor)	Motivo
Porcentaje de PET	5 – 15	Si se coloca grandes cantidades de PET, el ladrillo ecológico pierde adherencia y se deshace, en cambio sí se coloca un valor menor a lo establecido no se estaría cumpliendo con el objetivo planteado.
Porcentaje de Arena	50 – 60	Este componente otorga homogeneidad, pero si se excede del porcentaje podría hacer que el ladrillo pierda resistencia, por otro lado, si se coloca una cantidad menor a lo establecido no existirá homogeneidad según bibliografía.
Porcentaje de componentes (Agua y cemento)	30 – 40	El agua es importante para que se produzca una mezcla homogénea y el cemento por otro lado se utiliza para dar estabilidad así que mediante bibliografía se ha evidenciado que el porcentaje para que una mezcla sea adecuada es desde el 30 al 40 % de la mezcla entre el cemento y el agua.
Nota: Las restricciones fueron tomadas a partir de una amplia revisión bibliográfica que ayudo a determinar los porcentajes que podrían ser idóneos para que el ladrillo ecológico tenga una buena resistencia a la compresión.		

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

La tabla 3-12, muestra el porcentaje de los componentes en el diseño de mezclas.

Tabla 3-12: Porcentaje de los componentes en el diseño de mezclas

Número de mezcla	PET %	Arena %	Cemento y agua %
1	15	55	30
2	15	50	35
3	5	60	35
4	10	50	40
5	5	55	40
6	15	52,5	32,5
7	12,5	57,5	30
8	7,5	60	32,5
9	5	57,5	37,5
10	10	55	35

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

A continuación, se muestra la ilustración para la obtención de las composiciones de las mezclas

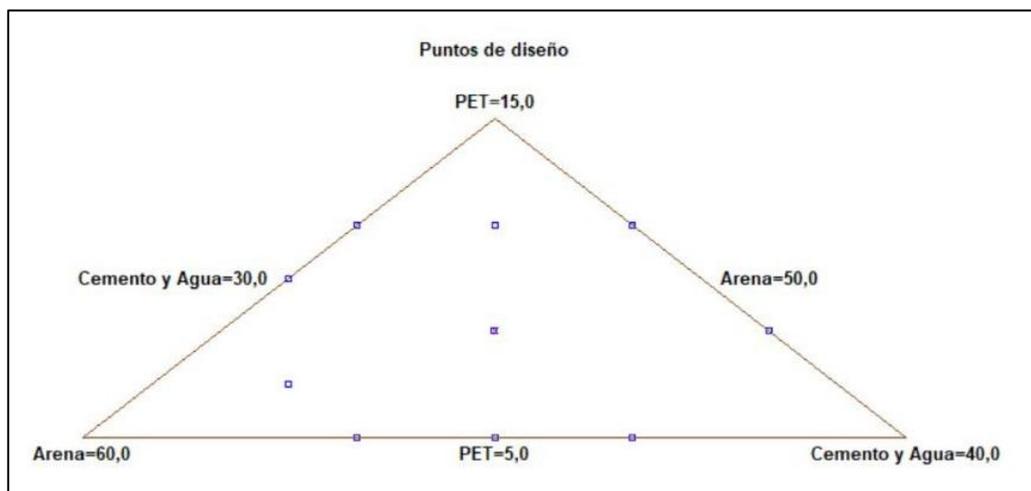


Ilustración 3-2: Gráfico para obtener la composición de las mezclas

Fuente: Statgraphics Centurion 16.

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Datos experimentales

Tabla 4-1: Datos experimentales

Número de mezcla	Número de Repeticiones	PET %	Arena %	Cemento y agua %	PET (g)	Arena (g)	Cemento (g)	Agua (ml)	Volúmen (cm ³)	Tiempo de secado (horas)
1	Tres repeticiones para cada mezcla de ladrillo	15	55	30	34,5	126,5	69	35,03	125	48
2		15	50	35	34,5	115	80,5	41,64		
3		5	60	35	11,5	138	80,5	41,91		
4		10	50	40	23	115	92	47,39		
5		5	55	40	11,5	126,5	92	47,53		
6		15	52,5	32,5	34,5	120,75	74,75	38,83		
7		12,5	57,5	30	28,75	132,25	69	36,1		
8		7,5	60	32,5	17,25	138	74,75	39,04		
9		5	57,5	37,5	11,5	132,25	86,25	44,72		
10		10	55	35	23	126,5	80,5	41,78		

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

4.2. Marco de resultados u discusión

4.2.1. Resultados obtenidos en la caracterización de la materia prima

A continuación, la tabla 4-2 muestra los resultados de la caracterización del cemento.

Tabla 4-2: Características del cemento

Características	Resultado	Rango típico	Norma NTE INEN 2380
Físicas	Expansión en autoclave (%)	0,418	0,80 Max.
	Fraguado Vicat inicial (minuto)	140- 160	45 min.
	Fraguado Vicat Final (minuto)	200 – 260	420 Max.
	Finura	15- 45 um	45 um
	Densidad	2.760	A (no es obligatorio, pero debe informarse cuál es la densidad)
Compresión	3 días	13- 16	13 min
	7 días	20-25	20 min
	28 días	28-30	28 min
Químicas	SiO ₂	35.53 %	NE
	Al ₂ O ₃	6.67%	NE
	Fe ₂ O ₃	2,68 %	NE
	CaO	41.69%	NE
	MgO	0,97%	NE
	SO ₃	1,89%	NE
	Na ₂ O	0,40%	NE
	K ₂ O	1,52%	NE
TiO ₂	0,28%	NE	

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

Fuente: Cemento Chimborazo, 2019.

En la tabla 4-2 se muestran los resultados de las características físicas, químicas y de compresión para el cemento ocupado en la elaboración de los ladrillos, estos resultados fueron obtenidos de la ficha técnica por lo tanto son específicos para el cemento utilizado en este proyecto, el cual fue hidráulico tipo GU, proveniente de la cementera Chimborazo, estos datos se encuentran de acuerdo a la norma INEN 2380, si se compara esta información con la investigación realizada por Angumba (2016), se puede encontrar que se utilizó un cemento similar, ya que el autor expone que el cemento utilizado fue de tipo GU hidráulico, el cual se lo utiliza generalmente para la elaboración de ladrillos, ya que cumple con las normas requeridas, con todo lo antes mencionado el cemento hidráulico utilizado en la presente investigación cumple con las normas de calidad y a su vez con los requisitos para ser utilizado en la elaboración del ladrillo.

En la tabla 4-3, se exponen las características de la arena utilizada en la elaboración de ladrillos.

Tabla 4-3: Características de la arena

Característica		Resultado
Químico	Elemento	Porcentaje
	Mg	1,823 %
	Al	7,470 %
	Si	25,079 %
	P	0,044 %
	S	0,092 %
	K	1,070 %
	Ca	3,570 %
	Ti	0,427 %
	V	0,016 %
	Cr	0,007 %
	Mn	0,076 %
	Fe	4,785 %
	Ni	0,005 %
	Cu	0,007 %
	Zn	0,010 %
	As	0,001 %
Rb	0,005 %	
Sr	0,077 %	

	Zr	0,015 %
	Sn	0,001 %
	Co	<LOD
	Se	<LOD
	Ag	<LOD
	Cd	<LOD
	Sb	<LOD
	Ba	0,084 %
	Hg	<LOD
	Tl	<LOD
	Pb	<LOD
Físicos	Densidad	1,5 g/cm ³
	Capacidad de Absorción	1,21 %

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

La tabla 4-3 muestra la composición química de la arena. En esta tabla se puede observar que se tiene como resultado un alto contenido de sílice “Si” con 25.079%, seguido de Aluminio “Al” 7,470%, posteriormente Hierro “Fe” 4.785%, Calcio “Ca” 3.576%, Magnesio “Mg” 1.823% , Potasio “K” 1.070% y otros componentes cuyo porcentaje es menor al 0,05%, Al comparar estos resultados con la investigación de Llenera (2020), se puede observar que el porcentaje de “Si” obtenido fue 21.72%, esta información refleja que el resultado es similar al obtenido y no se tiene una diferencia mayor entre estos. Así también, se tiene “Al” 8,76 %, “Ca” 3,84 %, “Fe” 2,97%, “K” 1.47% y “Mg” 1,42%, estos resultados tienen una diferencia, respecto a la cantidad en la que se presentan los componentes.

El aluminio es el componte que luego del silicio tiene más presencia, seguido del calcio, hierro, potasio y finalmente el magnesio. De acuerdo con esto López (2019), detalla en su investigación que, la composición de la arena y de cómo se presenten sus diferentes elementos va a depender directamente de la roca de origen y de las condiciones climáticas. En la presente investigación la arena fue proveniente del sector Penipe, ubicado a 30 min de la provincia de Chimborazo, a diferencia de la arena utilizada en la investigación de Llenera (2020), la cual se obtuvo de una mina de la provincia de Cotopaxi, es por esto que el porcentaje de los elementos de la arena reflejan una mínima diferencia.

Por otro lado, el porcentaje de absorción obtenido fue de 1.21 % , este resultado puede ser comparado con el obtenido en la investigación de Morales et al. (2017), quien detallo un valor de 5.70% se puede observar que existe una diferencia significativa , por lo tanto nos indica que la arena utilizada en la presente investigación no absorbe altas cantidades de agua, esto es una ventaja ya que al tratarse de un ladrillo, lo que interesa es que se mantenga seco, con la finalidad de que soporte la humedad ambiental.

A continuación, en la tabla 4-4 se tiene la caracterización del PET utilizado en la presente investigación.

Tabla 4-4: Caracterización del PET

Característica	Resultado	Unidades
Temperatura fusión	255	°C
Densidad	1,40	G/cm ³
Absorción de humedad	0,25	%
Resistencia a la rotura	900	Kg/cm ²
Resistencia a la flexión	1450	Kg/cm ²
Comportamiento a la combustión	Arde con dificultad media	

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

Fuente: (Cabo, 2011).

La tabla 4-4 muestra las características químicas del PET en esta se detallan las consideraciones más importantes al momento de realizar un ladrillo ecológico, al comparar estos resultados con los obtenidos por Ceppi (2016), se puede observar que se tiene mucha similitud en los resultados, ya que el autor obtuvo una densidad de 1,39 g/cm³ y en el presente proyecto se obtuvo 1,40 g/cm³ lo que nos indica que no existe una diferencia entre resultados, a su vez, la temperatura de fusión y otros datos como resistencia y absorción de humedad obtenidos fueron de 255 °C, 893 kg/cm² y 0,24 respectivamente, por lo que estos resultados nos dan una clara información que se encuentra dentro del rango.

4.2.2. Cálculos granulométricos

4.2.2.1. Arena

Tabla 4-5: Cálculos granulométricos de la arena

Tamiz #	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
Nº10	2	0	0	0	100
Nº35	0,5	70	6,99300699	6,993006993	93,006993
Nº50	0,355	82	8,19180819	15,18481518	84,8151848
Nº60	0,25	67	6,69330669	21,87812188	78,1218781
Nº120	0,125	626	62,5374625	84,41558442	15,5844156
Fondo		156	15,5844156	100	———
Masa Final		1001	100	———	———
Masa inicial	1002	Módulo de Finura	2,3	% Pérdida	0,10

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

De acuerdo a la tabla 4-5 el módulo de finura de la arena ocupado para realizar los ladrillos fue de 2,3 ,este resultado se lo obtuvo luego de utilizar varios tamices y hacer pasar la arena por estos para finalmente calcular el % de retenidos , % que pasa y el % de perdida, este resultado se lo puede comparar con la investigación realizada por Angumba (2016), en donde se utilizó un módulo de finura de 2,09 para la arena, esta información nos indica que el módulo de finura se encuentra dentro de los límites establecidos por la Norma ASTM 136-06, la cual expresa que un árido fino está dentro del rango de 2.2 a 3,2 um.

En la ilustración 4-1 se muestra la curva granulométrica obtenida para la arena, para la elaboración de esta curva se utilizó el número de tamiz y el % que pasa.

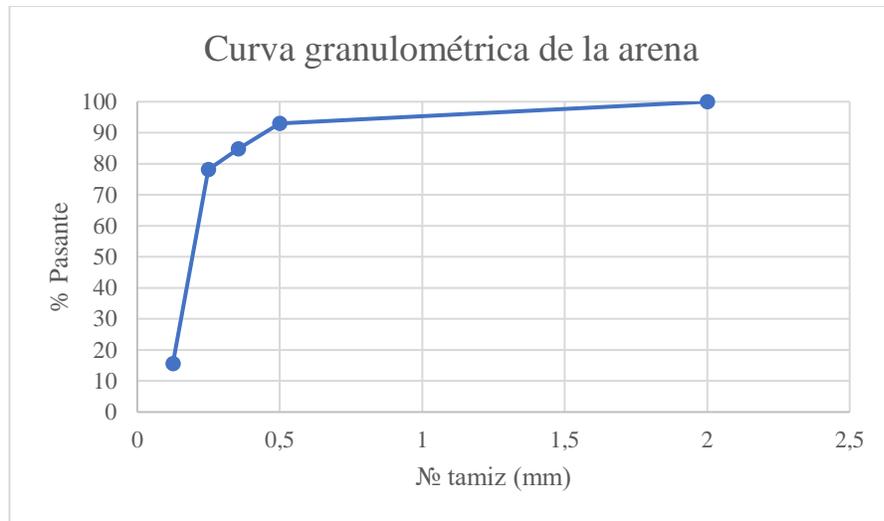


Ilustración 4-1: curva granulométrica de la arena

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

4.2.2.2. Tereftalato de polietileno

Tabla 4-6: Cálculos granulométricos del PET

Tamiz #	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
Nº5	4	17,9694	22,215299	22,21529903	77,784701
Nº10	2	40,4994	50,0687993	72,28409828	27,7159017
Nº35	0,5	18,6206	23,0203678	95,30446608	4,69553392
Nº60	0,25	1,7102	2,11429454	97,41876062	2,58123938
Nº120	0,125	1,4712	1,81882244	99,23758306	0,76241694
Nº230	0,063	0,4219	0,52158863	99,75917169	0,24082831
Fondo		0,1948	0,24082831	100	———
Masa Final		80,8875	100	———	———
Masa inicial	81	Módulo de Finura	5,9	% Pérdida	0,14

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

En la tabla 4-6 se muestran los cálculos granulométricos del PET en donde se muestra que el módulo de finura utilizado para la elaboración de ladrillos fue de 5,9 mm, este resultado se lo puede comparar con la investigación realizada por Gareca (2020), en donde se utilizó un módulo de finura de 4,32mm por lo que la diferencia con el resultado obtenido es de 1,58 mm, esto se debe al tipo de maquina ocupada para triturar el PET, pero este resultado no afecta en la elaboración del ladrillo, ya que los 5,9 mm se encuentra dentro del límite fino y grueso establecido por la ASTM 33.

En la ilustración 4-2 se tiene la curva granulométrica del PET la cual muestra el % que pasa vs la abertura en mm de cada tamiz utilizado para esta operación.

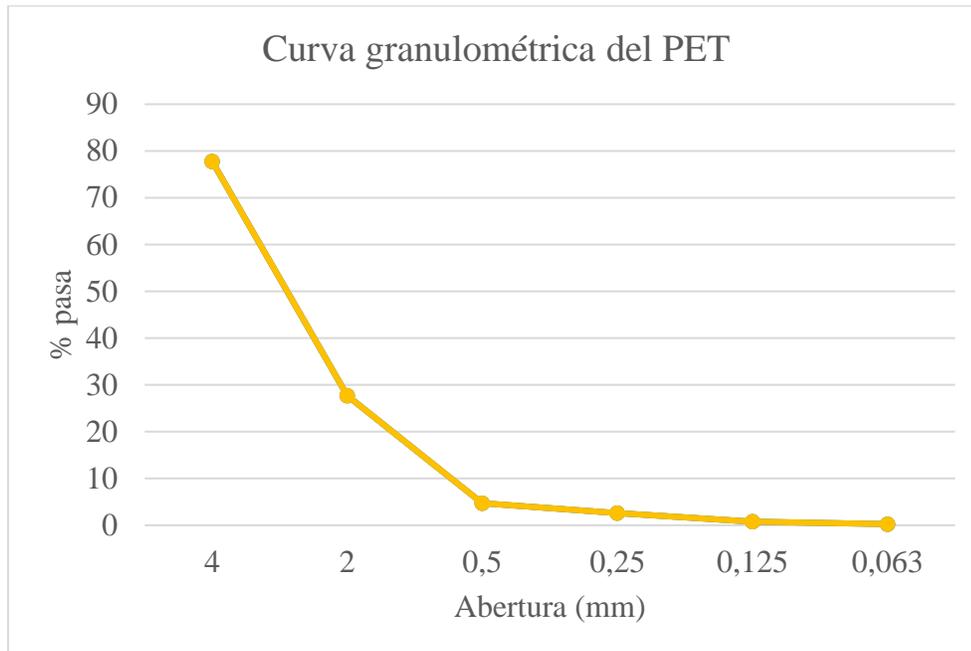


Ilustración 4-2: curva granulométrica del PET

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

4.2.3. *Diseño de mezclas*

Para la fabricación de los ladrillos ecológicos se utilizó una presión de moldeo la cual fue calculada como se muestra a continuación:

DATOS:

P4 = 890.175 g **AM** = 5*5 = 25 cm²

P4= el peso utilizado.

AM= el área del molde utilizado.

Fórmula:

Presión = $\frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = 3489,486 \text{ N/m}^2$ transformando este resultado se obtiene: 3,489 kPa

A continuación, la tabla 4-24 muestra los resultados de diseños de mezclas obtenidos en la presente investigación. Los ladrillos fueron evaluados conforme al valor de resistencia del ladrillo macizo Tipo A, en donde el valor mínimo es 20 Mpa.

Tabla 3-7: Resultados del diseño de mezclas

número	bloque	Repetición	% de PET	presión de moldeo (kPa)	Peso del ladrillo (g)	densidad (g/cm ³)	Resistencia a la compresión (MPa)
1	1	R1	15	3,489	233,13	1,87	22,13
2		R2			221,91	1,78	22,34
3		R3			242	1,94	22,76
4	2	R1	15		241,78	1,93	22,2
5		R2			239,73	1,92	21,96
6		R3			240,25	1,92	22,92
7	3	R1	5		258,63	2,07	18,28
8		R2			250,88	2,01	18,36
9		R3			241,8	1,93	17,76
10	4	R1	10		234,59	1,88	23,96
11		R2			246,04	1,97	23,36
12		R3			237,98	1,90	23,5
13	5	R1	5		257,1	2,06	19,6
14		R2			255,32	2,04	19,3
15		R3			244,14	1,95	19,5
16	6	R1	15		247,49	1,98	21,56
17		R2			238,82	1,91	21,32
18		R3			240,99	1,93	22,28
19	7	R1	12,5		234,11	1,87	21,92
20		R2			233,8	1,87	22,31
21		R3			227,52	1,82	22,43
22	8	R1	7,5		246,69	1,97	20,31
23		R2			251,49	2,01	20,47
24		R3			240,9	1,93	20,96
25	9	R1	5		243,44	1,95	18,68
26		R2			252,5	2,02	19,16
27		R3			243,36	1,95	19,04
28	10	R1	10		251,1	2,01	24,92
29		R2			247,83	1,98	24,12
30		R3			256,51	2,05	24,02

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

De manera general al realizarse un análisis de los valores de resistencia a la compresión obtenidos en la tabla 4-7 se tiene que los ladrillos que cumplen con lo que dice la norma NTE INEN 294 para el ladrillo macizo Tipo A son los siguientes:

Tabla 4-8: Análisis de ladrillos que cumplen con la norma NTE INEN 294

Bloque	% PET	Arena %	Cemento y agua %	Presión de moldeo (kPa)	Promedio de resistencia a la compresión (Mpa)	Estado
1	15	55	30	3,489	22,41	cumple
2	15	50	35		22,36	cumple
3	5	60	35		18,13	no cumple
4	10	50	40		23,60	cumple
5	5	55	40		19,46	no cumple
6	15	52,5	32,5		21,72	cumple
7	12,5	57,5	30		22,22	cumple
8	7,5	60	32,5		20,58	cumple
9	5	57,5	37,5		18,96	no cumple
10	10	55	35		24,35	cumple

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

En la tabla 4-8 se muestra el resultado del diseño de mezclas en donde la presión de moldeo en kPa fue de 3,498, de acuerdo con Gaggino, et.al, (2015), quien expone en su investigación que la presión de moldeo fue de manera manual con el uso de un martillo por lo que no se tiene un dato de este proceso, a diferencia del resultado obtenido el cual fue de forma manual, pero para el cálculo de la presión de moldeo se utilizó el peso de 4 ladrillos y el área, con la finalidad de obtener un dato. A su vez, la investigación propuesta por Angumba (2016), también detalla que la presión de moldeo no se obtuvo, ya que se realizó de forma manual por lo que, al comparar este resultado se evidencia que el método ocupado fue el correcto, además de que se obtuvieron datos de presión de moldeo que otros autores no calcularon.

Para la resistencia a la compresión se evidenció que 3 mezclas de ladrillos no cumplen con lo especificado por la norma NTE INEN 294, en donde se dice que el valor para que un ladrillo sea considerado macizo es de mínimo 20 Mpa, se puede observar así, que los ladrillos 3, 5 y 9 no cumplen debido a que obtuvieron valores menores a 20 Mpa. Por otro lado, se puede constatar que 7 mezclas de ladrillos obtuvieron un valor mayor a 20 Mpa, siendo el ladrillo número 10 (10% PET, 55% de arena y 35% cemento-agua) el de mayor valor, con un promedio de 24,35 Mpa, al comparar este resultado con la investigación de Angumba (2016) se puede observar que el autor expresó un valor de 23,046 Mpa, cuando trabajó con un 10% de PET, esta información indica que no existe una diferencia significativa, así también, los ladrillos obtenidos en la presente investigación son muy resistentes y pueden aguantar presiones altas, por lo que pueden ser considerados de tipo A.

4.3. Precio del ladrillo obtenido

4.3.1. Cálculo del precio de producción del mejor ladrillo

Tabla 4-9: Precio de producción del ladrillo

Material	Peso Total (gr)	Precio	Peso utilizado en la elaboración de ladrillo	Precio del ladrillo de 5*5*5 cm ³	Precio unitario del ladrillo en tamaño normal
ARENA	40000	\$ 1,50	126,5	\$ 0,02	\$ 0,20
CEMENTO	50000	\$ 8,20	80,5		
AGUA	20000	\$ 2	41,78		
PET	1000	\$ 0,30	23		

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

En la tabla 4-9 se muestra cómo se calculó el precio de producción del ladrillo, para lo cual se utilizó los datos del ladrillo que obtuvo mejores resultados en las pruebas mecánicas, esto con la finalidad de conocer cuánto costaría la producción de este ladrillo de calidad. Como resultado de este cálculo se obtuvo un precio de 0,02 centavos, es importante tener en cuenta que el ladrillo tiene un volumen de 125 cm³, debido a esto se realizó un cálculo con las dimensiones de un ladrillo común para obtener la cantidad de material que se utilizaría, dando como resultado que el precio de un ladrillo convencional sería de 0,20 centavos, pero su precio de venta al público sería de 0,22 centavos, con un 10% de ganancias. En la investigación desarrollada por Angumba (2016), se obtuvo un precio de producción de 0.30 centavos. Por lo que este resultado tiene una diferencia significativa con el obtenido en esta investigación.

Dado estos resultados se puede observar que el precio de producción del ladrillo con PET se encuentra bajo el precio con respecto al del ladrillo convencional, ya que el ladrillo convencional en la actualidad, dependiendo del material y del uso que se le quiera dar tiene un precio que oscila entre los 0,25 centavos y 1 dólar. La investigación realizada por Angumba (2016), expresa que, sería importante agregar otras materias primas como cascarilla de arroz, carbón, vidrios y cascaras de cebada, con la finalidad de disminuir la contaminación y a su vez de disminuir el costo de producción, Así también los comerciantes venden el ladrillo a 0,25 centavos, por lo que este resultado tiene una mínima diferencia con el obtenido en la presenta investigación.

4.3.2. Análisis estadístico

Para llevar a cabo el análisis estadístico se ocupó los resultados descritos en la tabla 4-7.

A continuación, la tabla 4-10, muestra los resultados para el diseño de mezclas obtenidas mediante el software estadístico STATGRAPHICS Centurion 64.

Tabla 4-10: Efectos estimados del modelo completo para resistencia a la compresión (Mpa)

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Media	4571,47	1	4571,47		
Lineal	20,3785	2	10,1893	4,21	0,0632
Cuadrático	15,7753	3	5,25842	17,74	0,9400
Cúbico Especial	0,00263591	1	0,00263591	0,01	0,0089
Cúbico	1,18293	3	0,39431		
Error	1,93567E-12	0	0		
Total	4608,81	10			

Fuente: STATGRAPHICS Centurion 64

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

La tabla 4-10 describe los resultados de ajustar diferentes modelos a los datos de resistencia a la compresión. En donde se puede observar que de todos estos datos el modelo cúbico especial obtuvo un valor- P= 0,0089, al ser este valor menor a 0,05 prueba que el modelo es estadísticamente significativo, en comparación a los otros modelos. También se puede afirmar que este modelo agrega términos que involucran productos de tres componentes.

A continuación, la tabla 4-11 muestra los resultados del modelo completo.

Tabla 4-11: Resultados del modelo completo

<i>Modelo</i>	<i>ES</i>	<i>R-Cuadrada</i>	<i>R-Cuadrada Ajd.</i>
Lineal	1,55659	54,58	41,60
Cuadrático	0,544419	96,82	90,50
Cúbico Especial	0,627941	96,83	92,86
Cúbico		100,00	0,00

Fuente: STATGRAPHICS Centurion 64

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

En la tabla 4-11, se muestran los resultados del modelo completo en donde se puede observar que el valor de R-Cuadrada Ajd del modelo cúbico especial es mayor con un valor de 92,86 respecto a los demás modelos, lo cual confirma la selección de este modelo ya que presenta el valor más alto.

A continuación, en la tabla 4-12 se presenta la tabla ANOVA para la resistencia a la compresión.

Tabla 4-12: ANOVA para resistencia a la compresión

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo Cúbico Especial	36,1564	6	6,02607	15,28	0,0237
Error total	1,18293	3	0,39431		
Total (corr.)	37,3393	9			

Fuente: STATGRAPHICS Centurion 64

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

En la tabla 4-12 se tiene el análisis de varianza respecto al modelo cúbico especial, dado que el valor-P para este modelo es menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre resistencia a la compresión y los componentes, con un nivel de confianza del 95,0%.

A continuación, la tabla 4-13 muestra el modelo cúbico para la resistencia a la compresión ajustado.

Tabla 4-13: Cúbico especial resultados de ajuste de modelo para resistencia a la compresión

<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error Estándar</i>	<i>Estadístico T</i>	<i>Valor-P</i>
A:PET	13,8455	3,18847		
B:ARENA	13,2545	3,24707		
C:Cemento Y Agua	17,8689	3,69272		
AB	36,4661	13,2547	2,75118	0,0070
AC	31,7236	14,9971	2,11531	0,1247
BC	14,2962	14,435	0,990386	0,3950
ABC	-3,03936	37,1736	-0,0817611	0,0089

Fuente: STATGRAPHICS Centurion 64

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

En la tabla 4-13, se tiene el análisis de varianza respecto al modelo cúbico especial, dado que el valor-P= 0,0089 por lo que resulta ser menor que 0,05, existe una relación estadísticamente significativa entre resistencia a la compresión y los componentes (PET, ARENA, Cemento y Agua), con un nivel de confianza del 95,0%.

El programa STATGRAPHICS Centurion 64, muestra la combinación ideal de los componentes para obtener un valor óptimo de resistencia a la compresión la cual se muestra a continuación en la tabla 4-31.

Tabla 4-14: Optimizar respuesta

<i>Factor</i>	<i>Bajo %</i>	<i>Alto %</i>	<i>Óptimo %</i>	<i>Valor óptimo de resistencia</i>
PET	5,0	15,0	11,1136	24,378
ARENA	50,0	60,0	52,9031	
Cemento Y Agua	30,0	40,0	35,9833	

Fuente: STATGRAPHICS Centurion 64

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

La tabla 4-14 muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza la resistencia a la compresión sobre la región indicada, con esta combinación se obtendrá un valor más alto para la resistencia a la compresión, siendo este valor de 24,378 Mpa.

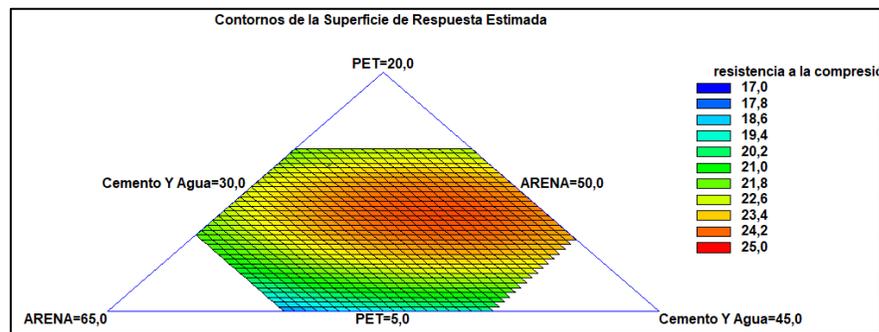


Ilustración 2-4: Contornos de la superficie de respuesta estimada.

Realizado por: Cabrera, Bryan. 2023.

La ilustración 9-4 muestra que los ladrillos con mejores valores de resistencia son los que se encuentran entre 10 y 12.5% de PET, 50 y 55% de Arena y finalmente entre 30-35% de cemento y agua.

CAPÍTULO V

5.1. Conclusiones

En el presente proyecto se definió la composición óptima para la elaboración de ladrillos por medio de un diseño de mezclas, con 10 composiciones diferentes las cuales tuvieron 3 repeticiones, teniendo un total de 30 muestras con las que se realizaron los ensayos de compresión.

Se realizó la caracterización de materia prima en donde los datos del cemento están en la tabla 4-19, en el cual están descritas las características físicas, químicas y de compresión. Por otro lado, la arena utilizada obtuvo valores de 1.21 % de capacidad de absorción, 1.5 g/ml de densidad y respecto a su composición química se obtuvo valores de Si 25.079%, Al 7.47%, Fe 4.785% y Ca 3.576% entre los más importantes. Finalmente, al caracterizar el PET se obtuvieron parámetros importantes que deben considerarse al momento de elaborar ladrillos, por ejemplo; la absorción de humedad fue de 0.25%, resistencia a la rotura 900 Kg/ cm², resistencia a la flexión 1450 Kg/ cm².

Se definió un diseño de mezclas el cual permitió realizar un análisis estadístico para encontrar la composición óptima que maximice las propiedades físico-mecánicas, teniendo como resultado una composición de 11.11% de PET, 52.9% de Arena y 35.9% de Cemento y Agua.

Se evaluaron las propiedades físico-mecánicas de las 30 muestras, donde los resultados de compresión oscilaron de 18 Mpa hasta 24.5 Mpa y el mejor resultado obtenido fue la muestra número 10, con una composición de 10% PET, Arena 55 % y la mezcla de componentes de agua y cemento 35%, este ladrillo cumple con la norma NTE INEN 294, ya que el ladrillo obtuvo una resistencia a la compresión de 24.35Mpa, esto quiere decir que cumple con el rango de resistencia a la compresión establecido por la norma para ladrillos macizos tipo A, con esta información se puede concluir que la hipótesis planteada se acepta. Además, la muestra 10 tenía buen aspecto, con aristas rectas, ángulos rectos y sin desconchados en sus caras y aristas.

El precio del ladrillo obtenido en la presente investigación es de 0,20 centavos, este resultado fue comparado con tiendas distribuidoras de ladrillos y con otros autores, en donde el precio del ladrillo osciló entre los 0.25 a 0.38 centavos.

5.2. Recomendaciones

Fabricar más ladrillos cuya elaboración no involucre cocción, ya que el horno utilizado para este quemado genera grandes emisiones de contaminantes como CO y mucho material particulado.

Utilizar PET producto de la basura de consumo diario, con la finalidad de disminuir la contaminación por este polímero. Así también se debe utilizar un diámetro de partícula parecido al de la arena, el rango debe estar entre 2.2 y 3.2 μm .

Trabajar con el porcentaje de PET de 5 a 20% ya que si se utiliza porcentajes altos, el ladrillo pierde sus propiedades de resistencia a la compresión y la homogeneidad.

Ocupar moldes adecuados que permitan la fácil extracción, de lo contrario se podría provocar irregularidades en el ladrillo lo que disminuirá la resistencia a la compresión del ladrillo.

BIBLIOGRAFÍA

ALARCÓN, Carlos. Empleo de bloques con basura en la construcción como una alternativa de reciclaje [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Nacional Autónoma de México, México. 2013. pp. 15-54. [Consulta: 2022-10-16]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6187/tesis.pdf?sequence=1>.

ANGUMBA, Pedro. Ladrillos elaborados con plásticos reciclado (PET), para mampostería no portante [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2016. pp. 10-60. [Consulta: 2022-10-15]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25297>

BARRANZUELA, Joyce. Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la región Piura [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad de Piura, Piura, Perú. 2015. pp. 20-77. [Consulta: 2022-10-05]. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1755/ICI_199.pdf.

BERRETTA, Horacio; et al. *Ladrillos de plástico reciclado* [En línea]. 2ª ed. Buenos Aires-Argentina: Nobuko, 2016. [Consulta: 28 de septiembre 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/esepoch/77712?page=8>.

CABO, María. Ladrillos Ecológico como material sostenible para la construcción [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Pública de Navarra, Navarra, España. 2011. pp. 20-110. [Consulta: 2022-10-15] Disponible en: <http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/4504/577656.pdf>.

CEPPI, Horlando. *El Ladrillo*. Santiago - Chile : En Anales del Instituto de Ingenieros de Chile, 2016. pp. 12-501.

GAGGINO, R., et al. "Emprendimiento de Fabricación de ladrillos con plásticos reciclado involucrando actores públicos y privados". Area [en línea], 2015, (Argentina) 21, pp. 3-13. [Consulta: 16 octubre 2022]. ISSN 0328-1337. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/56370>

GARECA, M., et al. "Nuevo Material Sustentable: Ladrillos Ecológicos a Base de Residuos inorgánicos". *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, vol. 18 (2020), (Bolivia) pp. 25-61.

GUTIÉRREZ, Humberto; & SALAZAR, Román. *Análisis y diseños de experimentos*. 2ª ed. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A, 2016, pp. 2-500.

Ecuador. Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Ladrillos cerámicos, requisitos*. NTE INEN 297. Quito, Ecuador: INEN, 1977.

ISAN, Ana. *Ladrillos ecológicos, tipos y ventajas* [blog]. España : Ecología Verde, 2018. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/ladrillos-ecologicos-que-son-tipos-y-ventajas-456.html>.

JAYA, Jorge., & GOMEZCOELLO, José. Análisis comparativo de la contaminación atmosférica producida por la combustión en ladrilleras artesanales utilizando 3 tipos de combustibles [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2012. pp. 17-80. [Consulta: 2022-10-15]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6359/1/UPS-CT002924.pdf>.

LLENERA, Ayrton. Diseño de un mortero con arena de río de la provincia de Cotopaxi, utilizando cemento portland tipo I y he incluido cal hidráulica para el uso de impresoras 3d [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2020. pp. 2-54. [Consulta: 2022-11-01]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/6589>.

LÓPEZ, Jhonathan. Comportamiento mecánico de un mortero elaborado con cemento tipo I y HE, incluido bicarbonato de sodio [En línea] (Trabajo de titulación). (Pregrado) Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 4-70. [Consulta: 2022-10-19]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/6145/1/TESIS%20JONATHAN.pdf>

LÓPEZ AGUIRRE, José., et al. "Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de Riobamba". *Polo del conocimiento* [En línea], 2020, (Ecuador) 5(12), pp. 725-742. [Consulta: 17 octubre 2022]. ISSN 2550-682X. Disponible en: <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2139/4263>.

MARTINS, M., et al. "Ecological bricks from dimension stone waste and polyester resin". *Construction and Building Materials* [en línea], 2019, (Brasil) vol. 232, pp. 1-9. [Consulta: 19 octubre 2022]. ISSN 0950-0618. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117252>

MATMAP. *Tipos de ladrillos y sus usos* [blog]. España: Matmap.com, 2017. [Consulta: 05 septiembre 2022]. Disponible en: <https://matmap.com/info/tipos-de-ladrillos-y-sus-usos/>.

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. *Guía de calidad de aire y educación ambiental*. Chile: Division de Educación ambiental y participación ciudadana, 2016, pp. 6-60.

MORALES, R., & LEÓN, H. "Diseño y elaboración de ladrillos con Adición de pet (material reciclado), para núcleos rurales del socorro". *El Centauro*, vol. 8, nº 11 (2017), (Colombia) pp. 9-20.

MUÑOZ, Sócrates., et al. "Elaboración de ladrillos ecológicos en muros no estructurales: una revisión". *Cultura Científica y Tecnológica* [en línea], 2021, (Perú) 18(1), pp. 1-9. [Consulta: 15 octubre 2022]. ISSN 2007-0411. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7773786>

PIÑEROS, Ernesto. Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados plásticos reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Católica de Colombia, Bogotá - Colombia. 2018. pp. 9-100.

UNIVERSIDAD DE SEVILLA. *Plásticos* [blog]. Sevilla-España: E.U.A.T de Sevilla, 2018. [Consulta: 02 septiembre 2022]. Disponible en: <http://asignatura.us.es/materialesII/Carpetas/Apuntes/plastico/plasticos.pdf>.

VENEGAS, Andrés. Evaluación de la energía contenida, emisiones de CO2 y material particulado en la fabricación del ladrillo semi mecanizado [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2018. pp. 12-62. [Consulta: 2022-11-02]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/29319/1/MscArqAndr%C3%A9sVenegas.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA



a)



b)



c)



d)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">ELABORADO POR: Bryan Omar Cabrera Grefa</p>	DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS ESTABILIZADOS CON PET (Tereftalato de Polietileno)		
<p>a) Pesaje de la arena b) Tamizaje de la arena c) Prueba de densidad d) Prueba de Fluorescencia</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar</p>		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	19-12-2022

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA



a)



b)



c)



d)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR:	DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS ESTABILIZADOS CON PET (Tereftalato de Polietileno)		
a) Masa del picnómetro con agua. b) Masa del picnómetro con arena y agua. c) Filtrado de la muestra. d) Muestra seca	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	19-12-2022

ANEXO C: FABRICACIÓN DE LOS LADRILLOS

					
a)	b)	c)	d)		
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Bryan Omar Cabrera Grefa </p>	DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS ESTABILIZADOS CON PET (Tereftalato de Polietileno)		
a) Pesaje de la arena para mezclas b) Pesaje del plástico para mezclas c) Mezcla de componentes d) Moldeo de ladrillos	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		1	1:1	26-12-2022	

ANEXO D: CURADO DE LOS LADRILLOS



a)



b)



c)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Bryan Omar Cabrera Grefa	DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS ESTABILIZADOS CON PET (Tereftalato de Polietileno)			
a) Ladrillos en molde. b) Ladrillos obtenidos en cada tratamiento. c) Curado de ladrillos	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA	
			1	1:1	22-01-2023	

ANEXO E: LADRILLO OBTENIDO



a)



b)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Bryan Omar Cabrera Grefa	DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS ESTABILIZADOS CON PET (Tereftalato de Polietileno)		
a) Ladrillo curado durante 28 días b) Ladrillo seco final	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			1	1:1	22-01-2023

ANEXO F: PRUEBAS DE COMPRESIÓN



a)

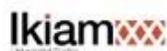


b)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA ELABORADO POR: Bryan Omar Cabrera Grefa	DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS ESTABILIZADOS CON PET (Tereftalato de Polietileno)			
a) Equipo para pruebas de compresión. b) Prueba de compresión a muestra de mortero.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA	
			1	1:1	24-01-2023	

ANEXO G: PRUEBA DE LABORATORIO DE LA ARENA

UNIVERSIDAD REGIONAL AMAZÓNICA
IKIAM



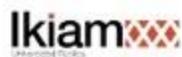
LABORATORIO DE GEOCIENCIAS

03757-Soil.pdz	AssayTime: 11/1/2023 11:06:13	ElapsedTime: 48
----------------	-------------------------------	-----------------

Alloy 1:	Match No:
----------	-----------

Field Info			
Operator	User	Name	Penipe-%1
ID	Soil	Field1	ABSR
Field2	Laboratorio Investi...		

Element Name	Min	%	Max	+/- [*2]
Mg	0	2,016	0	0,484
Al	0	7,376	0	0,119
Si	0	24,760	0	0,080
P	0	0,046	0	0,005
S	0	0,092	0	0,009
K	0	1,064	0	0,013
Ca	0	3,574	0	0,018
Ti	0	0,424	0	0,006
V	0	0,016	0	0,001
Cr	0	0,007	0	0,001
Mn	0	0,074	0	0,002
Fe	0	4,785	0	0,030
Ni	0	0,006	0	0,002
Cu	0	0,008	0	0,001
Zn	0	0,010	0	0,001
As	0	0,001	0	0,000
Rb	0	0,006	0	0,001
Sr	0	0,077	0	0,001
Zr	0	0,015	0	0,001
Sn	0	0,001	0	0,001
Co	0	< LOD	0	0,003
Se	0	< LOD	0	0,000
Ag	0	< LOD	0	0,001
Cd	0	< LOD	0	0,002
Sb	0	< LOD	0	0,004



03757-Soil.pdz	AssayTime: 11/1/2023 11:06:13	ElapsedTime: 48
----------------	-------------------------------	-----------------

Alloy 1:	Match No:
----------	-----------

Element Name	Min	%	Max	+/- [*2]
Ba	0	0,093	0	0,016
Hg	0	< LOD	0	0,001
Tl	0	< LOD	0	0,001
Pb	0	< LOD	0	0,001

Revisado por: Miguel Herrera, PhD

ANEXO H: PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN
Control de Calidad para tus Proyectos

RUC: 0602243255001

INFORME DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO

DATOS GENERALES DEL PROYECTO

INSTITUCIÓN: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	SOLICITANTE: SR. BRYAN OMAR CABRERA GREFA	TUTOR: ING. DARIO GUAMÁN
PROYECTO: DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS ESTABILIZADOS CON PET (TERELTALATO DE POLIETILENO)		
UBICACIÓN: PARROQUIA PUNGALÁ - CANTÓN RIOBAMBA - PROVINCIA DE CHIMBORAZO	FECHA DE ENTREGA DEL INFORME: 26 DE ENERO DE 2023	NÚMERO DE INFORME: 040 - M - 2023 HOJA 1 DE 3

DATOS DEL ENSAYO

No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área BRUTA de Ensayo (mm²)	Área NETA de Ensayo (mm²)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo BRUTO de compresión (MPa)	Esfuerzo NETO de compresión (MPa)	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	Edad de la muestra (Días)	OBSERVACIONES	NORMA: ASTM C109
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)										
1	15% PET, 55% ARENA Y 30% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	55325	22.13	22.13	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO	
2	15% PET, 55% ARENA Y 30% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	55850	22.34	22.34	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO	
3	15% PET, 55% ARENA Y 30% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	56900	22.76	22.76	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO	
4	15% PET, 50% ARENA Y 35% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	55500	22.20	22.20	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO	
5	15% PET, 50% ARENA Y 35% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	54900	21.96	21.96	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO	
6	15% PET, 50% ARENA Y 35% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	57300	22.92	22.92	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO	
7	5% PET, 60% ARENA Y 35% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	45700	18.28	18.28	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO	
8	5% PET, 60% ARENA Y 35% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	45900	18.36	18.36	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO	
9	5% PET, 60% ARENA Y 35% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	44400	17.76	17.76	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO	
10	10% PET, 50% ARENA Y 40% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	59900	23.96	23.96	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO	

Nota: Los especímenes NO han sido elaborados por el personal Técnico de LIC, NO han sido curados en las instalaciones de LIC.
ESTE DOCUMENTO NO PUEDE SER REPRODUCIDO NI TOTAL NI PARCIALMENTE EN SU CONTENIDO NI FORMATO SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DE ESTE LABORATORIO LIC - MB.

TÉCNICO RESPONSABLE:





LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN

Control de Calidad para tus Proyectos

RUC: 0602243255001

INFORME DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO

DATOS GENERALES DEL PROYECTO

INSTITUCIÓN: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	SOLICITANTE: SR. BRYAN OMAR CABRERA GREFA	TUTOR: ING. DARIO GUAMÁN
PROYECTO: DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS ESTABILIZADOS CON PET (TERELTALATO DE POLIETILENO)		
UBICACIÓN: PARROQUIA PUNGALÁ - CANTÓN RIOBAMBA - PROVINCIA DE CHIMBORAZO	FECHA DE ENTREGA DEL INFORME: 26 DE ENERO DE 2023	NÚMERO DE INFORME: 040 - M - 2023 HOJA 2 DE 3

DATOS DEL ENSAYO

NORMA:

ASTM C109

No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área BRUTA de Ensayo (mm ²)	Área NETA de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo BRUTO de compresión (MPa)	Esfuerzo NETO de compresión (MPa)	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	Edad de la muestra (Días)	OBSERVACIONES
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
11	10% PET, 50% ARENA Y 40% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	58400	23.36	23.36	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
12	10% PET, 50% ARENA Y 40% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	58750	23.50	23.50	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
13	5% PET, 55% ARENA Y 40% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	49000	19.60	19.60	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
14	5% PET, 55% ARENA Y 40% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	48250	19.30	19.30	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
15	5% PET, 55% ARENA Y 40% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	48750	19.50	19.50	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
16	15% PET, 52.5% ARENA Y 32.5% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	53900	21.56	21.56	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
17	15% PET, 52.5% ARENA Y 32.5% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	53300	21.32	21.32	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
18	15% PET, 52.5% ARENA Y 32.5% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	55700	22.28	22.28	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
19	12.5% PET, 57.5% ARENA Y 30% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	54800	21.92	21.92	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
20	12.5% PET, 57.5% ARENA Y 30% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	55775	22.31	22.31	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO

Nota: Los especímenes NO han sido elaborados por el personal Técnico de LIC, NO han sido curados en las instalaciones de LIC.

ESTE DOCUMENTO NO PUEDE SER REPRODUCIDO NI TOTAL NI PARCIALMENTE EN SU CONTENIDO NI FORMATO SIN LA

APROBACIÓN ESCRITA DE ESTE LABORATORIO LIC - MB.

TÉCNICO RESPONSABLE:



ING. CAROLINA BARRIGAS
LABORATORISTA LIC



LABORATORIO INTEGRAL DE LA CONSTRUCCIÓN

Control de Calidad para tus Proyectos

RUC: 060224325001

INFORME DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO

DATOS GENERALES DEL PROYECTO

INSTITUCIÓN: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	SOLICITANTE: SR. BRYAN OMAR CABRERA GREFA	TUTOR: ING. DARIO GUAMÁN
PROYECTO: DISEÑO DE MEZCLAS PARA LA ELABORACIÓN DE LADRILLOS ECOLÓGICOS ESTABILIZADOS CON PET (TERELTALATO DE POLIETILENO)		
UBICACIÓN: PARROQUIA PUNGALÁ - CANTÓN RIOBAMBA - PROVINCIA DE CHIMBORAZO	FECHA DE ENTREGA DEL INFORME: 26 DE ENERO DE 2023	NÚMERO DE INFORME: 040 - M - 2023 HOJA 3 DE 3

DATOS DEL ENSAYO

NORMA: ASTM C109

No	Descripción	Forma de la muestra	Dimensiones			Área BRUTA de Ensayo (mm ²)	Área NETA de Ensayo (mm ²)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo BRUTO de compresión (MPa)	Esfuerzo NETO de compresión (MPa)	FECHA DE MUESTRA	FECHA DE ENSAYO	Edad de la muestra (Días)	OBSERVACIONES
			Lado B (mm)	Lado L (mm)	Altura h (mm)									
21	12,5% PET, 57,5% ARENA Y 30% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	56075	22.43	22.43	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
22	7,5% PET, 60% ARENA Y 32,5% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	50750	20.31	20.31	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
23	7,5% PET, 60% ARENA Y 32,5% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	51750	20.47	20.47	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
24	7,5% PET, 60% ARENA Y 32,5% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	52400	20.96	20.96	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
25	5% PET, 57,5% ARENA Y 37,5% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	46700	18.68	18.68	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
26	5% PET, 57,5% ARENA Y 37,5% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	47900	19.16	19.16	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
27	5% PET, 57,5% ARENA Y 37,5% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	48500	19.40	19.40	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
28	10% PET, 55% ARENA Y 35% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	62300	24.92	24.92	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
29	10% PET, 55% ARENA Y 35% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	60300	24.12	24.12	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO
30	10% PET, 55% ARENA Y 35% CEMENTO Y AGUA	CUBO	50	50	50	2500.0	2500.0	60050	24.02	24.02	27/12/2022	26/01/2023	30	SECO

Nota: Los especímenes NO han sido elaborados por el personal Técnico de LIC, NO han sido curados en las instalaciones de LIC.

ESTE DOCUMENTO NO PUEDE SER REPRODUCIDO NI TOTAL NI PARCIALMENTE EN SU CONTENIDO NI FORMATO SIN LA

APROBACIÓN ESCRITA DE ESTE LABORATORIO LIC - MB.

TÉCNICO RESPONSABLE:



ZOLA CAROLINA
BARRIGAS ESPINOZA

ING. CAROLINA BARRIGAS
LABORATORISTA LIC

Dir.: Venezuela 1 y La Paz – Barrio Bellavista / Telf.: 03 2966388 – 0988863062 / e-mail: lic_laboratorio@yahoo.com / RIOBAMBA - ECUADOR



epoch

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 10 / 07 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Bryan Omar Cabrera Grefa
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1136-DBRA-UPT-2023