

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE BLOQUES LEGO A BASE DE MATERIAL PLÁSTICO
RECICLADO EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR – CESAR**



ANGEL DAVID SAENZ RAMOS

WENDY JOHANA ZABALETA ALVARADO

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA & TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR / CESAR

2022

**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE BLOQUES LEGO A BASE DE MATERIAL PLÁSTICO
RECICLADO EN LA CIUDAD DE VALLEDUPAR – CESAR**

ANGEL DAVID SAENZ RAMOS

WENDY JOHANA ZABALETA ALVARADO

JOSE LUIS RODRIGUEZ

MSc. CIENCIAS AMBIENTALES

DIRECTOR

UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR

FACULTAD DE INGENIERÍA & TECNOLOGÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

VALLEDUPAR / CESAR

2022

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
1. Planteamiento Del Problema	2
2. Justificación	3
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo General.....	5
3.2. Objetivos Específicos	5
4. Marco Referencial.....	6
4.1. Antecedentes	6
4.2. Marco Teórico.....	12
4.2.1. <i>Residuos Sólidos</i>	12
4.2.2. <i>Plástico</i>	13
4.2.3. <i>Cemento Portland</i>	17
4.2.4. <i>Prensa Hidráulica De Bloques</i>	19
4.2.5. <i>Bloques Lego A Base De Pet</i>	19
4.2.6. <i>Ensayos Físicos Y Mecánicos</i>	20
4.3. Marco Contextual	23
4.4. Marco Conceptual.....	21
4.5. Marco Legal.....	24
5. Hipótesis.....	27
6. Marco Metodológico	28
6.1. Tipo De Investigación	28
6.2. Diseño De Investigación	28
6.3. Población y Muestra.....	28
6.4. Diseño Metodológico	28
6.5. Estructura De Recolección De Datos	29
7. Resultados Y Análisis.....	33

7.1.	Fase 1: Construcción De Prensa Hidráulica Compactadora Para La Creación De Bloques Lego.	33
7.1.1.	<i>Planos De Diseño Y Especificaciones Técnicas De La Prensa Hidráulica.</i>	33
7.1.2.	<i>Planos Del Diseño De La Máquina Compactadora De Bloques Estructurales:</i>	36
7.1.3.	<i>Ensamblaje De Prensa Y Pruebas Técnicas De Funcionamiento.</i>	43
7.2.	FASE 2: Análisis Mediante Ensayos Físicos Y Mecánicos De Las Propiedades De Los Bloques Lego HDPE Con Base En La Normativa Sismo Resistente (NSR10).	47
7.2.1.	<i>Selección De La Muestra De Bloques:</i>	47
7.2.2.	Granulometría del agregado fino (plástico HDPE triturado) y preparación de la mezcla (mortero).	48
7.2.3.	Ensayo De Temperatura De Los Bloques.	49
7.2.4.	Ensayo de resistencia a la compresión.	50
7.3.	FASE 3: Establecimiento de la dosis óptima de materia prima para la elaboración de Bloque HDPE.	54
7.3.1.	<i>Presentación de los resultados con sus inferencias respectivas.</i>	54
7.3.2.	<i>Diseño experimental y prueba de hipótesis.</i>	55
7.3.3.	Presentación De La Dosis Óptima De Materia Prima.	58
7.4.	FASE 4: Comparación De Los Resultados De Propiedades Físicas Y Mecánicas Con Los Bloques De Ladrillo Convencional.	59
7.4.1.	Análisis bloque LEGO HDPE con respecto a Ladrillo de Arcilla Convencional, bloques de cemento y otras investigaciones similares.	59
8.	Conclusiones	65
9.	Recomendaciones	66
10.	Referencias	67
	ANEXOS	72

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tipos de resinas aprovechables	14
Ilustración 2. Proceso de fabricación de PET	15
Ilustración 3. Fabricación del Cemento Portland	17
Ilustración 4. Ciudad de Valledupar	24
Ilustración 5. Planos específicos de la máquina CETA – RAM.	34
Ilustración 6. Primera parte de la máquina CETA-Ram.	35
Ilustración 7. Cuerpo de la máquina.	36
Ilustración 8. Máquina compactadora de bloques estructurales.	37
Ilustración 9. Plano de la vista lateral, en planta e isométrica de la máquina compactadora.	37
Ilustración 10. Vista en planta, frontal, lateral e isométrica del cuerpo de la máquina.	38
Ilustración 11. Vista lateral, en planta e isométrica del brazo de la máquina..	39
Ilustración 12. Vista lateral, en planta e isométrica de la base de la máquina..	40
Ilustración 13. Vista lateral, en planta e isométrica de la tapa de la máquina.	41
Ilustración 14. Toma de medidas y cortes de las primeras planchas..	42
Ilustración 15. Partes de la máquina..	42
Ilustración 16. Partes de la máquina..	43
Ilustración 17. Construcción de la máquina..	44
Ilustración 18. Proceso de pintura de la máquina.	44
Ilustración 19. Máquina Compactadora Construida.	45
Ilustración 20. Bloque desmoronado al salir de la compactadora..	46
Ilustración 21. Bloque compactado en la máquina.....	46
Ilustración 22. Tipos de plásticos.....	48
Ilustración 23. Trituradora.....	51
Ilustración 24. Plástico triturado..	52
Ilustración 25. Cilindros para ensayos.	52
Ilustración 26. Peso del bloque cilíndrico.....	53
Ilustración 27. Bloque cilíndrico fallado en la máquina de compresión..	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los Residuos Sólidos.....	12
Tabla 2. Características técnicas del PET.....	16
Tabla 3. Procedimiento obtención del Cemento Portland.....	18
Tabla 4. Ensayos Físico-mecánicos.....	20
Tabla 5. Niveles de las variables de estudio	31
Tabla 6. Matriz Experimental	32
Tabla 7. Temperatura de los bloques durante 7 días.	50
Tabla 8. Ensayos a compresión tiempo de curado de 14 días bajo los diferentes tratamientos ..	54
Tabla 9. Ensayos a compresión tiempo de curado de 28 días bajo los diferentes tratamientos ..	55
Tabla 10. Resistencias de compresión en términos MPa de muestras de mortero bajo los factores de porcentajes de dosificación de mezclas (A) y los tiempos de curado (B)	56
Tabla 11. Análisis de Varianza ANOVA	57
Tabla 12. Análisis comparativo de las principales propiedades físicas y mecánicas entre los diferentes ladrillos	63

Resumen

En el presente proyecto se estudió una estrategia para la reutilización del plástico por medio de la elaboración de elementos estructurales a partir del Polietileno de Alta Densidad (HDPE, por sus siglas en inglés **High Density Polyethylene**), usado en mezclas asfálticas o en la elaboración de losas así como como en la elaboración de bloques que sustituyen a la perfección los ladrillos convencionales de arcilla. Para ello, se seleccionaron 40 bloques, se ensayaron 5 muestras constituidas de 8 bloques cada una con diferentes distribuciones de cemento y agregados, los cuales a su vez fueron fallados a los 14 y 28 días, con el fin de obtener su resistencia a compresión. La muestra que logró alcanzar la resistencia deseada (que es la que se asemeja a los ladrillos tradicionales) fue aquella constituida por 70% cemento y 30% agregado, los cuales estaban compuestos a su vez de partes iguales de arena y HDPE triturado, esta muestra llegó a los 6 Mpa, ensayada a los 28 días de curado.

Palabras claves: Resistencia, HDPE, plástico, curado.

In the present project, a strategy for the reuse of plastic was studied through the elaboration of structural elements from High Density Polyethylene (HDPE), used in asphalt mixtures or in the elaboration of slabs as well as in the production of blocks that perfectly replace conventional clay bricks. For this, 40 blocks were selected, 5 samples consisting of 8 blocks each with different distributions of cement and aggregates were tested, which in turn were failed at 14 and 28 days, in order to obtain their compressive strength. The sample that managed to achieve the desired resistance (which is the one that resembles traditional bricks) was the one made up of 70% cement and 30% aggregate, which in turn were composed of equal parts of sand and crushed HDPE, reached 6 Mpa, tested after 28 days of curing.

Keywords: Strength, HDPE, plastic, cured.

Introducción

En los últimos años se han realizado investigaciones exhaustivas con la finalidad de disminuir las grandes cantidades de plástico post consumo, es decir, la cantidad de materiales derivados de los residuos sólidos. El plástico ha inundado nuestra vida diaria, en tan solo unas décadas ha pasado a ser omnipresente en todo tipo de objetos y materiales por sus características flexibilidad, durabilidad ligereza y bajo precio (GREENPEACE 2016). Como es acelerado el proceso de contaminación, la tasa de producción de polímeros es igual a la tasa de impacto ambiental y esto es visible al rastrear los diversos caminos que tienen los polímeros luego de ser desechados. El 20% de los desechos plásticos se queda en la tierra, el otro 80% contamina los océanos. Cada segundo más de 200 kilos de basura va a parar a los océanos, estimando unos 5 a 50 billones de fragmentos de plástico, sin incluir los trozos que hay en el fondo marino o en las playas (GREENPEACE 2016).

Las alternativas de solución como las políticas públicas buscan cambiar comportamientos para lograr dar vuelta a situaciones percibidas como problemáticas. Sin embargo, hay diversas concepciones culturales, sociales y económicas que entienden la problemática de diferentes maneras (Téllez Maldonado 2012), lo que ha conllevado a la creación de estrategias que permiten transformar los residuos plásticos en elementos útiles, los cuales reemplazan a otros por sus beneficios en cuanto a sus características y los servicios que prestan.

Una estrategia de la reutilización del plástico es la elaboración de elementos estructurales a partir de polietileno de alta densidad, usado en mezclas asfálticas o en la elaboración de losas así como en la elaboración de bloques que sustituyen a la perfección los ladrillos convencionales de arcilla, pues las propiedades relacionadas en cuanto a daño ambiental, sismo-resistencia y condiciones climatológicas son ventajosas cuando se utiliza plástico en vez de ladrillos de arcilla o bloques de concreto.

1. Planteamiento Del Problema

Los residuos plásticos, aunque no son considerados peligrosos, tienen implicaciones ambientales significativas y hacen parte de una problemática de gran impacto ambiental. El plástico es uno de los materiales que más tarda en descomponerse y al mismo tiempo es uno de los más utilizados en las sociedades actuales; está presente en infinidad de productos de uso cotidiano a esto se suma el consumismo y la cultura del uso y desecho. Se estima que el material plástico dependiendo de su procedencia tiene un tiempo estimado para degradación entre 100 a 1000 años (González y Manhini 2003). Entonces ¿Cómo darle un óptimo aprovechamiento de manera sostenible a este material?

Otra problemática ambiental es la suma de los procesos existentes para la realización de ladrillos de construcción artesanal, los principales impactos que genera la actividad de fabricación de ladrillos son la deforestación y la calidad del aire, debido principalmente al proceso de extracción de arcilla como materia prima y las emisiones de humo procedentes de los hornos en la etapa de cocción. Estos causan efectos directos e indirectos sobre la flora, la fauna y los cuerpos de agua cercanos. ¿Cómo obtener un ladrillo para construcción aprovechando los residuos de HDPE (polietileno de alta densidad) y minimizando el uso de energía?

Estos son los interrogantes de mayor importancia dentro del proyecto de los cuales se derivarán beneficios como la creación de un bloque-ecológico que sea capaz de cumplir con los requerimientos técnicos de la norma NTC 4205, como también un diseño innovador que facilite la construcción.

2. Justificación

Es inminente que el mercado industrial oferte y demande grandes cantidades de material HDPE como materia prima para sus procesos y actividades económicas, sobre todo la industria alimentaria para sus actividades de procesamiento y conservación de los alimentos motivados por su bajo costo (Universidad UNE 2018), pero esto genera grandes acumulaciones de este residuo en centros urbanos, produciendo contaminación de suelos, daño al paisaje y proliferación de enfermedades; adicionalmente el HDPE y en general los plásticos son de difícil disposición y degradación por ende se requiere de alternativas diferentes a las existentes para su aprovechamiento (Universidad UNE 2018).

La realización de este proyecto con base a la utilidad del material HDPE posconsumo como materia prima para la fabricación de bloques ecológicos trae como resultado implementar una alternativa que ayude a minimizar los riesgos potenciales que se generan por la acumulación del HDPE y la alteración sobre los recursos naturales.

La presente investigación se realiza para incentivar una tecnología sencilla en la transformación del plástico por medio de su reutilización, con fines de traer a la ciudad de Valledupar experiencias amigables con el ambiente que se han aplicado en otros lugares del país.

Este estudio sirve como estrategia / alternativa de disminución de problemáticas en referencia al plástico posconsumo (en específico el HDPE) y con fines de emprendimiento empresarial.

Obteniendo ladrillos HDPE de bajo costo y de muy fácil elaboración se pueden reemplazar los elementos estructurales como ladrillos de arcilla y de cemento (que generan un alto impacto ambiental) y así siendo el ejemplo más ideal en cuanto a la abismal diferencia que separa el área civil y la ambiental.

Muchos de estos bloques HDPE pueden ser utilizados para la realización de estructuras de obras sociales y civiles, como parques y viviendas, y entre otras muchas aplicaciones; de esta manera se puede impactar a los ciudadanos de Valledupar con resultados alentadores que motivan a la investigación y el apoyo incondicional al cuidado del medio ambiente.

En la ciudad de Valledupar no se cuenta con sitios especializados en la transformación del plástico HDPE (destacando principalmente el proceso del triturado y molienda) y entre más proyectos o metodologías con aplicación relacionados a este tipo de estudios existan, se incentiva a las buenas prácticas y manejo de estos residuos. La utilidad de las máquinas compactadoras convencionales solo se basa en un modelo único y monótono en cuanto al diseño esperado. La presente investigación pretende proporcionar un modelo de prensa hidráulica que moldea un bloque HDPE único en sus características. El desarrollo de bloques plásticos con la metodología del presente documento estudiará la posibilidad de obtener un resultado óptimo en cuanto a costos, eficiencia de elaboración y mínimas proporciones de las materias primas necesarias.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Diseñar y fabricar Bloques Lego a base de material plástico reciclado en la ciudad de Valledupar – Cesar.

3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y construir una prensa hidráulica compactadora para la creación de Bloques Lego HDPE.
- Analizar mediante ensayos físicos y mecánicos las propiedades de los Bloques Lego HDPE en base a la Normativa Sismo Resistente (NSR10) título D (Mampostería estructural).
- Establecer la dosis óptima de materia prima para la elaboración de los Bloques Lego HDPE.
- Comparar los resultados de propiedades físicas y mecánicas con los bloques de ladrillo convencional.

4. Marco Referencial

4.1. Antecedentes

La siguiente recopilación son estudios y experiencias que suman información de gran interés para el desarrollo teórico y metodológico del proyecto.

Diseño y desarrollo experimental de materiales de construcción utilizando plástico reciclado”

(Autor: Arq. Guillermo José Zavala Arteaga - Santa Tecla, enero 2015)

El siguiente informe presenta la investigación realizada sobre el diseño de mortero hidráulico para construcción, elaborado con la mezcla de cemento portland, arena, agua y HDPE (Polietileno de alta densidad). Dicha mezcla pretende ser un modelo para implementarlo como una nueva tendencia en la construcción; considerando al mismo tiempo la utilización de un material no biodegradable que es desechado y que genera una alta contaminación ambiental.

Al mismo tiempo la investigación desarrolló un modelo de construcción más sostenible, buscando mantener el potencial y capacidad de cubrir las necesidades actuales y futuras de la sociedad.

Para la elaboración de los cubos de ensayo se utilizaron cuatro (4) proporciones, las cuales fueron la de 1:0.25, 1:0.50, 1:0.75 y la de 1:1 considerando que lo que se iba aumentando era la cantidad del agregado arena-plástico

La geometría irregular de las partículas plásticas influye directamente en el comportamiento de la mezcla; por tanto, entre más fina sea la partícula habrá mayor adherencia, afectando la cantidad de agregado fino en la mezcla de mortero generada.

El aporte de esta investigación para el presente proyecto es muy importante, ya que brinda bases teóricas sobre el diseño de un mortero hidráulico para construcción y así mismo, muestra distintas proporciones utilizadas en la elaboración de los cubos de ensayo.

Incorporation of Fine Plastic Aggregates in Rendering Mortars

(Autor: Alexandra M. Da Silva, Jorge De Brito, Rosario Veiga, 2014)

Este trabajo forma parte de una investigación que se ha desarrollado en el Instituto Superior Técnico (IST) de la Universidad de Lisboa y en el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil (LNEC), en Portugal, con el objetivo de estudiar las implicaciones de la incorporación de residuos como agregados en hormigón Y morteros, contextualizando acorde al desarrollo sostenible, considerando una nueva aplicación para los residuos plásticos y estudiando los efectos de su incorporación en morteros. Se han considerado tres relaciones de sustitución de plástico reciclado para el agregado natural, 5%, 10% y 15%. Esta sustitución se realizó en volumen y sólo en la fracción de 1-2 mm. Esta investigación también estudió dos tipos de agregados de PET (polietileno tereftalato), PP (polipropileno) y PF (Fenol formaldehído) agregados que representan pellets de plástico y copos de plástico.

Los morteros se hicieron con: cemento Portland (CEM II / B-L 32.5N); Arena silícea del río Tajo; Y dos tipos de residuos de plástico granulado, PP y agregados PF, La información sobre los dos tipos de agregados reciclados de PET se recogió de Selenis, una planta de reciclaje de plástico ubicada en Portalegre, Portugal. Los agregados de PF se fabricaron triturando botellas de PET de desecho a tamaños de 1 - 4 mm y se produjeron agregados de PP en tamaños de 1 - 4 mm, aplicando un proceso térmico a partículas de botellas de PET desmenuzadas.

Los resultados muestran que, aunque la incorporación de agregados de plástico condujo a un peor rendimiento en algunas propiedades, en otros los morteros modificados revelaron un rendimiento significativamente mejorado en comparación con el mortero de control (sin plástico).

El aporte de esta investigación para el proyecto es significativo, ya que muestran la influencia de los agregados plásticos en el rendimiento de algunas propiedades de los bloques construidos.

Diseño y Fabricación de Ladrillo Reutilizando Materiales a Base de PET.

(Autor: Alejandro David Martínez Amariz - Mónica Liliana Cote Jiménez, noviembre 2014)

En este trabajo se muestra la utilización de las escamas de PET junto con el cemento como insumos principales en la fabricación de un ladrillo comercial. Este material es una nueva

alternativa para producir ladrillos de construcción que podrían competir con los ladrillos usados normalmente en el sector de la construcción. las ventajas radican en que es un producto con un impacto ambiental menor, que genera un proceso de producción limpia, ya que se eliminaría la etapa de cocido en el mismo.

En la fabricación de los ladrillos es indispensable tomar en cuenta y calcular las densidades del cemento y del PET, debido a que se tomó como referencia un vaso dosificador de 5 onzas en ambos materiales; por esta razón se obtendrá la misma proporción en cada material mas no la misma masa, ya que estos materiales tienen densidades diferentes y es necesario conocer el dato exacto del peso para sacar costos de los ladrillos fabricados.

De acuerdo con resultados similares obtenidos en [80%]. El peso aproximado de cada ladrillo de PET y comparándolos entre sí con los ladrillos de arcilla a los cuales se les realizo la prueba, se observa que la mezcla con mayor contenido de PET es la ideal.

El aporte de esta investigación para el proyecto es importante, ya que comparan el comportamiento del ladrillo con plástico frente a los ladrillos de arcilla, por tanto, brinda orientación sobre las dosis que se deberían manejar para obtener un comportamiento ideal.

Ladrillos Elaborados con Plástico Reciclado (PET), para mampostería no portante.

(Autor: Arq. Pedro Javier Angumba Aguilar, Julio 2016)

En el presente trabajo se investigó el uso de plástico reciclado para la fabricación de ladrillos para construcción de mampostería no portante. En primer lugar, se realiza la caracterización de los residuos sólidos que se generan en la ciudad de Cuenca, donde el 22,7% del total recolectado es material plástico, que se desechan libremente sin un tratamiento previo. De la misma manera se investigan las características del plástico, Polietileno Tereftalato (PET) para descartar efectos nocivos al momento de incluirlos en la mezcla con los materiales tradicionales como son el cemento y agua, agregado fino.

Se elaboraron ladrillos con dimensiones de 20x10x6cm con adición de PET al 10, 25, 40, 55, 65 y 70% en sustitución del árido fino. Luego se efectuaron diversos ensayos con la finalidad de compararlos con los ladrillos de arcilla cocida de uso común en la región y analizar el material para mampostería no portante según los lineamientos establecidos por las Normas Ecuatorianas.

Una vez realizados los ensayos y analizada la información se obtuvo como resultado un ladrillo óptimo con 25% de adición de PET, el cual fue sometido a un análisis térmico mediante una simulación en el programa Desingbuilder, obteniendo como resultado niveles de confort término de mejor calidad en viviendas.

El aporte de esta investigación para el proyecto es importante debido a sus aportes teóricos sobre la elaboración de ladrillos con plástico reciclado, teniendo en cuenta sus dimensiones y cantidad de material empleado.

Ladrillo Ecológico como Material Sostenible para La Construcción.

(Autor: María Cabo Laguna - Universidad Pública de Navarra, 2011)

En el presente trabajo propuso la realización de un nuevo material constructivo, denominado Ecoladrillo, inspirado en el tradicional adobe y que sustituya al ladrillo convencional cocido. Para ello se emplea un suelo marginal no empleado hasta el momento para la fabricación de ladrillos. Como aditivos comerciales se emplean el cemento para la realización de las combinaciones de referencia y la menos usual pero igual de eficiente cal hidráulica. Como aditivo resistente se utilizan las cenizas de cáscaras de arroz y como aditivo estructurante las cascarillas también de arroz. Las adiciones de estos dos últimos aditivos residuales suponen la reducción de un gran impacto medio ambiental ya que las cenizas procedentes de la biomasa generada por la combustión de los restos de la cosecha del arroz permanecen por millones de toneladas en vertederos de todo el mundo.

Los ensayos realizados se hicieron en 4 fases experimentales según se ha ido añadiendo un nuevo aditivo a la muestra. Para la caracterización de cada combinación propuesta en cada fase, se han ejecutado el ensayo de resistencia a compresión simple, el ensayo de absorción y el ensayo de heladicidad (el cual se refiere a la poca capacidad de resistencia de un material). Además, se ha realizado un seguimiento de las pérdidas de peso que se producen durante el tiempo de curado y las pérdidas de resistencia que se ocasionan tras inmersión y tras los ciclos de hielo/deshielo.

Los resultados obtenidos fueron totalmente satisfactorios. La cal hidráulica natural es un aditivo sostenible y con capacidad de desarrollar resistencia. Además, combinando la cal con el resto de los aditivos las diferencias con la combinación de referencia, realizada con cemento, son mínimas. Las cenizas de cáscara de arroz suponen un gran aditivo que potencia a más del doble la

resistencia de la muestra con cenizas que sin ellas, demostrando así que favorecen notablemente el desarrollo de las reacciones puzolánicas. Las cascarillas de arroz disminuyen en más de un 10% la densidad de la combinación con únicamente aditivo comercial.

Los resultados de esta investigación generan un valioso aporte a esta investigación ya que prueban que sí es posible trabajar con material sostenible en la construcción, a través del empleo de ladrillos ecológicos.

Evaluación del Tereftalato de Polietileno (PET) como Agregado en la Elaboración de Mortero para Ladrillos y Concreto.

(Autor: Andrés Felipe Zúñiga Díaz- Universidad la Salle, Bogotá D.C. 2015)

Teniendo en cuenta las características halladas de los materiales se concluye que, sí es posible la inclusión de este PET reciclado en las estructuras de concreto y en la fabricación de ladrillos como elementos no estructurales, otorgándole un nuevo uso al PET minimizando la acumulación de este, generando materiales sustentables y amigables con el medio ambiente, debido a que se obtuvieron buenas resistencias con agregados pétreos pequeños (gravas) con el fin de que la mezcla fuera mucho más compacta.

Pese a no ser considerados residuos peligrosos, los Residuos Plásticos (RP) tienen implicaciones ambientales significativas que suelen pasar desapercibidas y hacen parte de una problemática de gran impacto y escala. Según los análisis económicos y ambientales expuestos anteriormente para cada material, con la inclusión de PET reciclado en las mezclas de mortero y concreto, y sus respectivos ahorros dentro de la industria de producción de mortero y concreto se estaría contribuyendo a disminución de impactos ambientales negativos asociados al producto, con un método ambientalmente sostenible. Es importante el aporte de esta investigación ya que genera bases teóricas sobre el uso de los residuos plásticos y su papel en la construcción.

Caracterización Experimental de Eco – Ladrillos de Tereftalato de Polietileno (PET).

(Autor: Tafo, O'Sullivan, Harman, & Akashi. 2014)

Este artículo tiene como objeto de estudio el reciclaje de plástico, considerando la viabilidad del uso de Ecoladrillos para propósitos constructivos. Estos Ecoladrillos son hechos empacando gran cantidad de plástico en botellas de polietileno-tereftalato (PET). El modelo

experimental se basó en la prueba de estos Ecoladrillos para caracterizar sus propiedades mecánicas. Se tuvieron en cuenta la resistencia a la compresión, aislamiento al sonido y transmisión de luz y se compararon los resultados con los bloques tradicionales. Se presentaron las posibles aplicaciones de estos. El documento muestra el primer intento por caracterizar los Ecoladrillos constituidos por el material PET con el propósito de que sus resultados motiven el uso de este elemento como material constructivo.

En esta investigación se usaron envases de bebida de 500 ml entre otras razones porque era el tamaño más favorable para empacar manualmente la cantidad de plástico requerida, y por su tamaño uniforme, se rellenó la botella con cualquier tipo de plástico teniendo en cuenta que siempre estuviera limpio y seco, de lo contrario se comprometería la estructura interna del elemento. Para comprimir se usó como guía dar de 4 a 6 golpes por cada pieza de plástico introducida. La masa del ladrillo es de al menos 220 gramos terminado el proceso de empaque, si la masa era inferior se asumía que los golpes de compresión eran deficientes, para detectar cualquier vacío dentro del Ecoladrillo se usó el sonido de propagación y se comparó con referencias anteriormente establecidas.

Los resultados obtenidos en la máquina de compresión revelaron un rango de 34.6 a 40.1 Kg/cm² de carga al momento en que fallaban los bloques estos rangos son muy similares a los bloques cubos de concreto tradicionales. Dentro de los usos propuestos se revelo que podrían aplicarse para estabilización de suelos, pendientes y como barreras. Estos Ecoladrillos por su concepción tendrían un costo teórico nulo puesto que sería gratis, y las propiedades mecánicas analizadas demostraron tener un rango similar al de los ladrillos tradicionales por lo que la viabilidad económica resulta inmejorable.

Como limitación principal se tiene que los Ecoladrillos están concebidos de manera diferente a los hechos en esta investigación, se basan en el uso de las botellas PET comprimiendo plástico en su interior, mientras que los propuestos serán una mezcla del material triturado a diferentes porcentajes con cemento, es por esto, que esta investigación es importante para el presente proyecto.

4.2. Marco Teórico

4.2.1. Residuos Sólidos

Los residuos sólidos de las ciudades son materiales provenientes de la actividad del hombre en su vida cotidiana, que no reúnen características infecciosas, radioactivas y/o corrosivas. Estos residuos se originan en los hogares, restaurantes, edificios administrativos, hoteles, industrias, etc. Y son restos de comidas, papel, cartón, botellas, embalajes de diversos tipos, entre otros (Cabellero Meza y Florez Lengua 2016). Los residuos sólidos incluyen todos los materiales sólidos o semisólidos que ya no tienen ningún uso, lo que supone un deseo de eliminarlo, deshacerse de él, de desaparecerlo ya que el poseedor no le atribuye ningún valor para conservarlos, estos sugieren suciedad, falta de higiene, mal olor, desagrado a la vista, contaminación (UDLA Puebla 2010).

Clasificación De Residuos Sólidos.

De acuerdo con las extensas investigaciones se ha podido establecer una clasificación sólida de lo que representan los tipos de desechos sólidos.

Tabla 1. Clasificación de los Residuos Sólidos

Tipos de Desechos Sólidos	
Desechos de Alimentos	Característica más importante de estos desechos es que son altamente putrescibles y se descomponen rápidamente, en especial en clima cálido.
Basura o Escombros	Consisten en desechos sólidos combustibles y no combustibles de casas, instalaciones, actividades comerciales, etc., excluyendo desechos de alimentos u otros materiales altamente putrescibles.
Cenizas y Residuos	Materiales que resultan de quemas. Los residuos de plantas de generación de energía, normalmente, no se incluyen en esta categoría.
Desechos de Demolición y Construcción	Los desechos de edificios demolidos y otras estructuras se clasifican como desechos de demolición.
Desechos Especiales	Estos desechos con frecuencia son clasificados como basura. Las cantidades producidas son difíciles de estimar y de composición variable.

Desechos de Plantas de Tratamiento	Los desechos sólidos y semisólidos de instalaciones de tratamiento de aguas, aguas residuales y desechos industriales se incluyen en esta clasificación; las características específicas de estos materiales varían dependiendo de la naturaleza del proceso de tratamiento.
Desechos Agrícolas	Los desechos y residuos que resultan de diversas actividades agrícolas, la disposición de estos desechos no es responsabilidad de la mayoría de las agencias municipales y regionales de manejo de desechos sólidos.
Desechos Peligrosos	Los desechos químicos, biológicos, inflamables, explosivos o radioactivos que plantean un peligro sustancial para la vida humana, de las plantas o animal; inmediatamente en el tiempo, se clasifican como peligrosos.

Fuente: (Tchobanoglous 1990)

Los desechos del tipo “Basura o escombros” contienen en su clasificación al principal material del presente estudio. A continuación, se realiza una expansión en lo referente al plástico.

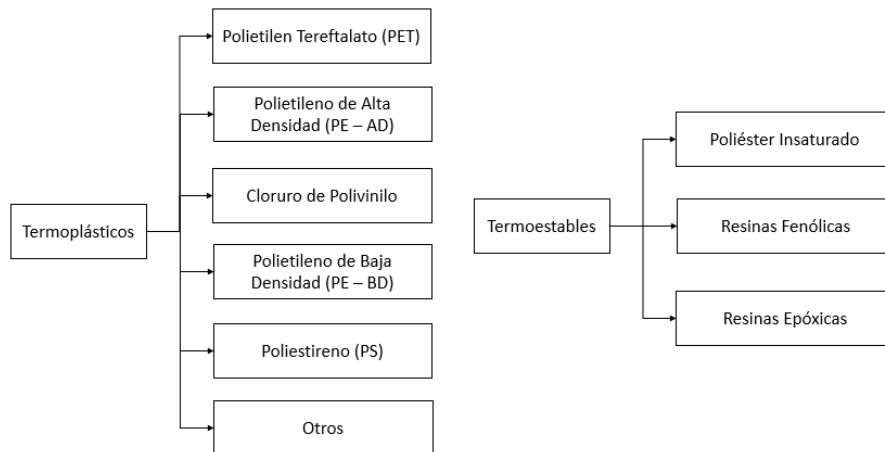
4.2.2. Plástico

La producción global de plásticos se ha disparado en los últimos 50 años, y en especial en las últimas décadas. Entre 2002-2013 aumentó un 50%: de 204 millones de toneladas en 2002, a 299 millones de toneladas en 2013. Se estima que en 2020 se superarán los 500 millones de toneladas anuales, lo que supondría un 900% más que los niveles de 1980 (GREENPEACE 2016). Actualmente se buscan estrategias para reducir el plástico que contaminan los océanos y que su reducción se da por la foto degradación, transformándose en microplásticos que consumen los peces, cambiando su comportamiento e impactando otras especies; si estos ingresan a la línea de alimentación, es el humano quien consume ese plástico que en un pasado arrojó en una playa, o no necesariamente ahí, también en una calle de una ciudad a más de 3000 m.s.n.m. pues el recorrido del 80% de los residuos del plástico van a dar al mar (San Andrés, y otros 2010).

Tipos De Resinas Plásticas Aprovechables.

Existe una clasificación amplia de los polímeros, que de acuerdo con sus características específicas tienen una aplicación única o diversa en su uso. A continuación, se presenta un resumen de los tipos de resinas plásticas susceptibles al aprovechamiento.

Ilustración 1. Tipos de resinas aprovechables



Fuente: (ICONTEC 2004).

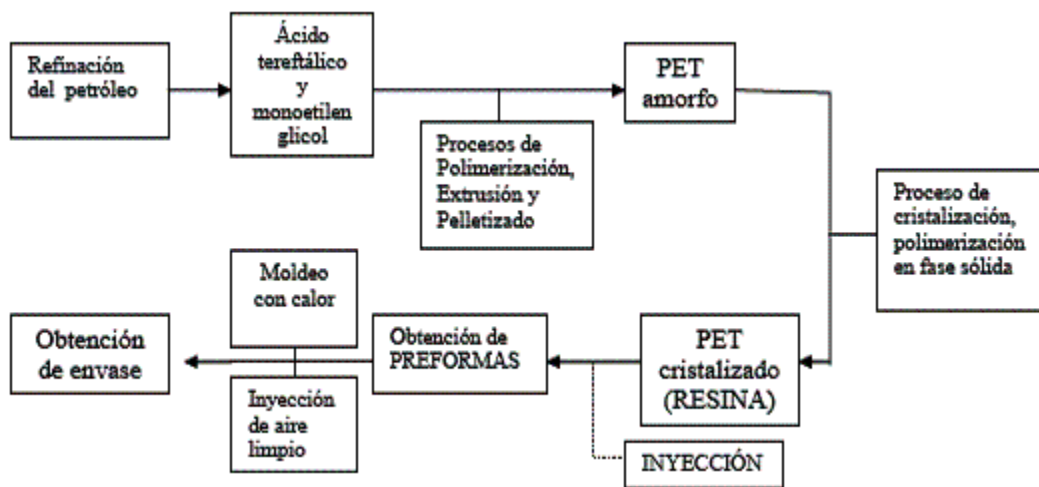
4.2.2.1. Polietilen Tereftalato (Pet).

Siendo la materia prima del presente proyecto, el PET es un polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenece al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres (Lara, s.f.).

Es un polímero termoplástico lineal, con un alto grado de cristalinidad. Como todos los termoplásticos puede ser procesado mediante: extrusión, inyección, soplado, soplado de preforma y termoconformado. Para evitar el crecimiento excesivo de las esferulitas y lamelas de cristales, este material debe ser rápidamente enfriado, con esto se logra una mayor transparencia, la razón de su transparencia al enfriarse rápido consiste en que los cristales no alcanzan a desarrollarse

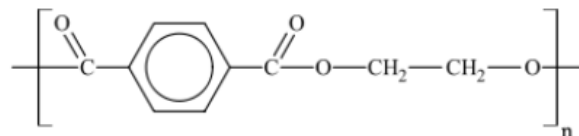
completamente y su tamaño no interfiere (“scattering” en inglés) con la trayectoria de la longitud de onda de la luz visible, de acuerdo con la teoría cuántica (Universidad de Costa Rica 2010).

Ilustración 2. Proceso de fabricación de PET



Fuente: (QUIMINET 2005).

Según Lara (s.f.) la fórmula química de una molécula de plástico polietilen tereftalato es:



Las principales características técnicas del PET permiten asignarlos como un material de gran utilidad. Su ficha técnica muestra las siguientes características:

Tabla 2. Características técnicas del PET

Densidad		ISO 1183	g/cm ³	1,36
Temperatura de Servicio			C°	-40 + 110
Temperatura máxima de servicio en periodos breves			C°	≤ 160
Esfuerzo en el punto de fluencia		ISO 527	Mpa	80
Elongación a la rotura		ISO 527	%	20
Módulo de elasticidad a la tensión		ISO 527	Mpa	3200
Resistencia al impacto		ISO 179/1eU	KJ/m ²	82
Dureza		ISO 13000-2	Shore D	81
Tiempo límite de rendimiento: δ 1/1000	23°C / 50%RH 100°C	ISO 899	Mpa	12
Temperatura de distorsión térmica	Método A	ISO 75	C°	67
	Método B	ISO 75	C°	165
Punto de fusión	Método A	ISO 3146	C°	255
Coeficiente de expansión lineal térmica		DIN 53752	1/K 10 ⁻⁵	6
Constante dieléctrica	1 MHz	IEC 250		3,3
Factor de disipación	1 MHz	IEC 250		0,02
Resistencia dieléctrica		IEC 243	KV/mm	50
Resistividad volumétrica		IEC 253	Ω .cm	1016

Absorción de humedad a 23°C, 50% RH	ISO 62	%	~0,23
Absorción de Agua a 23°C	ISO 62	%	-0,5

Fuente: (LORK INDUSTRIAS 2017).

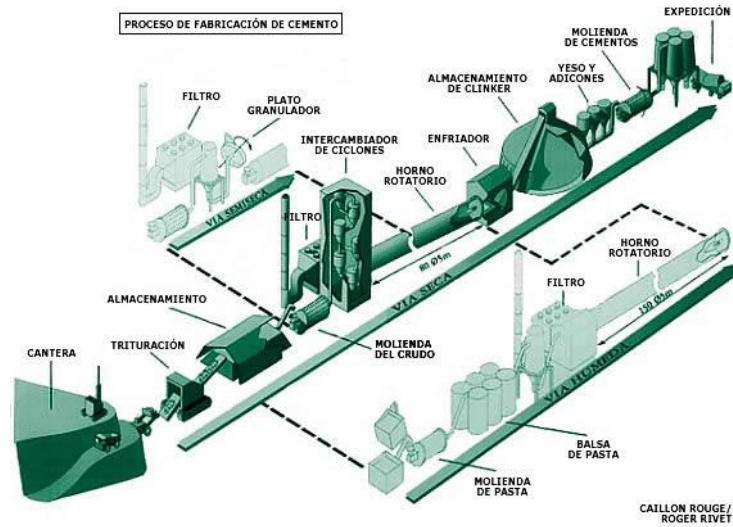
Con base en estas características y el grado de utilidad de los plásticos PET según Lara (s.f.) se resaltan las siguientes propiedades:

- Alta transparencia, aunque admite cargas de colorantes.
- Alta resistencia al desgaste y corrosión.
- Muy buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química y térmica.
- Muy buena barrera a CO₂, aceptable barrera a O₂ y humedad.
- Compatible con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad barrera de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos.
- Reciclable, aunque tiende a disminuir su viscosidad con la historia térmica.
- Aprobado para su uso en productos que deban estar en contacto con productos alimentarios.

4.2.3. Cemento Portland

Producto que se obtiene por la pulverización del clinker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados juntamente con el Clinker (Rivera 2010). La fabricación del concreto se da mediante los siguientes procesos:

Ilustración 3. Fabricación del Cemento Portland



Fuente: (AFCA 2011).

Estos procesos están divididos en cuatro (4) fases importantes, los cuales se clasifican así:

Tabla 3. Procedimiento obtención del Cemento Portland

Fases	Subfases
Obtención y preparación de las materias primas.	Cantera
	Trituración
	Almacenamiento
Homogeneización, molienda del crudo y precalentador de ciclones.	Molienda del crudo
	Intercambiador de ciclones
	Filtros
Fabricación del clinker: Horno y enfriador.	Horno rotatorio
	Enfriador
	Almacenamiento del clinker

Molienda del clinker y expedición.	Yeso y adiciones
	Molienda del cemento
	Expedición

Fuente: AFCA, 2011

Según Rivera (2010) existen variedad de elementos que pueden agregarse al cemento, los cuales les dan características especiales en cuanto a sus propiedades como apariencia física. Para el estudio en cuestión se tendrá en cuenta el cemento portland tipo I.

4.2.4. Prensa Hidráulica De Bloques

Según, Shugulí (2006) existen variedades de prensas hidráulicas, su clasificación sencilla de acuerdo a la energía utilizada para generar un producto está dada por su funcionalidad mecánica o manual. La diferencia dependiendo de su funcionalidad, radica en el tiempo de vida útil y el grado de producción.

Una máquina convencional mecánica como la QMY2-45 puede producir 1600 unidades de bloques en 8 horas de funcionamiento y un peso total de 220 kilogramos. Una máquina manual como la QMR2-40 puede producir 800 bloques al día de funcionamiento y un peso total de 260 kilogramos (Shugulí, 2006). El presente estudio se basa en los diseños de varias máquinas manuales para crear un nuevo diseño.

4.2.5. Bloques Lego A Base De Pet

Los bloques a base de Polietileno Tereftalato no son nuevos, pues las nuevas tecnologías relacionadas a temas como la arquitectura sostenible se dan en base a mezclas con elementos reciclados (Piñeros & Herrera, 2018).

El plástico ha cumplido muchos estándares de calidad cuando se trata de suplir los ladrillos y bloques convencionales. Justamente fue innovadora la investigación de Óscar Méndez y su empresa Conceptos Plásticos, quienes fueron los pioneros en la construcción sostenible con bloques PET tipo LEGO. La principal diferencia entre los bloques LEGO de la empresa Conceptos Plásticos y los que se pretenden desarrollar en el presente estudio radican en su diseño y

arquitectónica, así mismo como sus dimensiones y otras características más a destacar en la metodología.

4.2.6. Ensayos Físicos Y Mecánicos

Existen diversidad de ensayos a los cuales pueden ser sometidos los bloques PET tipo LEGO. Entre estas se resalta el Ensayo a la Compresión, Módulo de Rotura (Ensayo de Flexión) y Tasa Inicial y porcentaje de Absorción (T.I.A.) (Molina, Vizcaíno & Ramírez, 2007). A continuación, se presenta una tabla con sus respectivas fórmulas:

Tabla 4. Ensayos Físico-mecánicos

$F'_{cu} = \frac{W}{A}$	F'cu:	Resistencia a la compresión del ladrillo Pa $\times 10^4$ (o Kgf / cm ²).
	W:	Carga máxima de rotura en N (o Kgf)
	A:	Área promedio de las superficies superior e inferior del espécimen.
$MR = 3W \cdot \left[\frac{\left(\frac{L}{2} - X \right)}{bd^2} \right]$	W:	Carga máxima de rotura en N (o Kgf).
	L:	Distancia entre los soportes en mm.
	b:	Ancho neto de la muestra en el plano de la falla en mm.
	d:	Profundidad de la muestra en el plano de la falla en mm.
	X:	Distancia promedio del plano de falla al centro de la pieza, medida en dirección de la línea central de la superficie sometida a tensión en mm.
$TIA = \frac{Mf - Mi}{A}$	Mf:	Masa final
	Mi:	Masa inicial
	A:	Área de contacto con el agua.

$\%Ab = \frac{(W_{ss} - W_s)}{W_s} \times 100$	W_{ss}:	Masa sumergida en agua de ladrillo saturado luego de la inmersión en agua fría, en g.
	W_s:	Masa del espécimen seca antes de inmersión, en g.

Fuente: (Afanador García, Guerrero Gómez y Monroy Sepúlveda 2012).

4.3. Marco Conceptual

Adhesión: La adhesión es la propiedad de la materia por la cual se unen y plasman dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, y se mantienen juntas por fuerzas intermoleculares (Pallás, 2013).

Agregados: Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011. Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto. Los agregados son materiales inorgánicos naturales o artificiales que están embebidos en los aglomerados (cemento, cal y con el agua forman los concretos y morteros (Zamora, 2014).

Aprovechamiento Sustentable: Uso de un recurso natural de modo tal que no altere las posibilidades de su utilización en el futuro (Russo, 2002).

Biodegradable: Capaz de ser asimilado (descompuesto y metabolizado) por el ambiente gracias a su naturaleza química (Borderías & Martín, 2011).

Cemento: El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a 1,450°C de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el clinker —principal ingrediente del cemento— que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento (Hernández, Castro & Bohórquez, s.f.).

Cimentación: Conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la edificación o elementos apoyados a este al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales (Ávila, 2016).

Contaminación: Liberación de sustancias que, de manera directa o indirecta, que causan efectos adversos sobre el medio ambiente y los seres vivos. Existencia en el ambiente de contaminantes o agentes tóxicos o infecciosos que entorpecen o perjudican la vida, la salud y el bienestar del hombre, la fauna y la flora; que degradan la calidad del ambiente y en general, el equilibrio ecológico y los bienes particulares y públicos (CAR s.f, 2016).

Desarrollo Sustentable: Representa un modelo de crecimiento económico global que satisface las necesidades actuales de la humanidad, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras, para satisfacer sus propias necesidades (Fernández & Gutiérrez, 2013).

Heladicidad: En resistencia de materiales la heladicidad de un material poroso se define como la capacidad de este para resistir ciclos sucesivos de congelamiento / descongelamiento al estar totalmente impregnado con agua. Un material poroso como por ejemplo la cerámica, es capaz de absorber por capilaridad una gran cantidad de agua, que a baja temperatura se congela dentro de la red capilar del material. El agua en estado sólido ocupa un mayor volumen que el agua en estado líquido, por lo que al congelarse genera tensiones importantes en el interior del material que pueden llegar a fracturarlo (Azqueta, 2017).

Mampostería: Se llama mampostería al sistema tradicional de construcción que consiste en erigir muros y paramentos mediante la colocación manual de los elementos o los materiales que los componen (denominados mampuestos), que pueden caracterizarse por estar sin labrar (o con una labra muy tosca). Este sistema permite una reducción en los desperdicios de los materiales empleados y genera fachadas portantes; es apta para construcciones en alturas grandes. La mayor parte de la construcción es estructural (Sepúlveda, s.f.).

Manejo de Desechos: Enfoque técnico, comprehensivo, integrado y racional, con miras a procurar el uso, rehúso, reclamo o reaprovechamiento de cualquier desecho originado por las actividades humanas, para mantener limpio el ambiente, o con un nivel aceptable de calidad (Castaño, 2013).

Materia Prima: Se le denomina materia a todas aquellas sustancias líquidas, sólidas o gaseosas que se utilizan en la fabricación de productos elaborados, bien sea que los mismo hayan llegado de forma natural o los haya creado el hombre (Aznar & Cabanelas, s.f.).

Mezcla: Una mezcla es un material formado por dos o más componentes unidos, pero no combinados químicamente. En una mezcla no ocurre una reacción química y cada uno de sus componentes mantiene su identidad y propiedades químicas. No obstante, algunas mezclas pueden ser reactivas, es decir, que sus componentes pueden reaccionar entre sí en determinadas condiciones ambientales, como una mezcla aire-combustible en un motor de combustión interna. (Gallego, Garcinuño, Morcillo & Vásquez, 2018).

NTC: Por sus siglas (Normas Técnicas Colombianas) son documentos aprobados mediante consenso por un organismo reconocido, el cual establece reglas, directrices o características de un producto o proceso (MEN, 2008).

Pieza de Lego: Los legos son conocidos como una línea de juguete en forma de ladrillos de plástico que encajan con otras piezas cuya finalidad es crear, construir y armar a imaginación del diseñador todo lo que quiera hacer como, castillos, carros, ETC. Todas las piezas poseen un nivel de agarre adecuado para su fácil ensamblaje (Aquino, 2015).

Residuos posconsumo: Los residuos posconsumo son los restos de productos o aparatos que, una vez usados, son desechados y generalmente no pueden ser reutilizados (Unal, 2013).

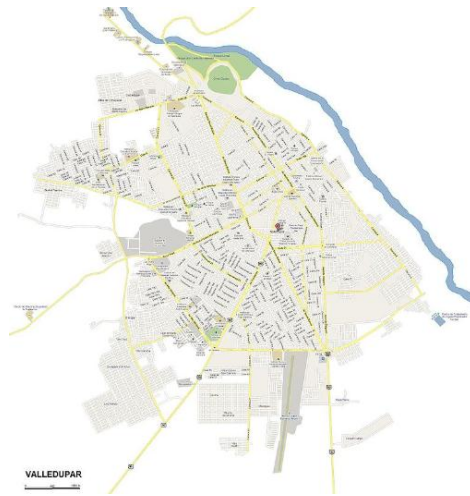
Reutilizar: Es la acción que busca la prolongación y adecuación de la vida útil de los residuos, sin usar procesos de transformación; con acciones como la utilización del papel en las dos caras, aprovechan al 100% la utilidad que le puede proveer un producto antes de desechar (Galeano, 2018).

Trituración: La trituración es el nombre de los diferentes métodos de procesamiento de materiales. Es el proceso de reducción de tamaño de una materia sólida, implica sólo una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza (Murcia & Romero, 2016).

4.4. Marco Contextual

La investigación se realizará en la zona urbana de la ciudad de Valledupar / Colombia. Esta ciudad se encuentra localizada en las coordenadas geográficas 10° 29' de latitud Norte y 73° 15' de longitud Oeste, y en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta a la margen del río Guatapurí. Por el Norte limita con los departamentos de Magdalena y la Guajira. Por el Sur con los municipios de San Diego, La Paz y el Paso. Por el Este con la Guajira y los municipios de San Diego y la Paz. Por el Oeste con el Magdalena y los municipios de Bosconia y el Copey.

Ilustración 4. Ciudad de Valledupar



Fuente: Google Maps, 2018.

Cuenta con una temperatura promedio es de 28.4°C. Al medio día la temperatura máxima media oscila entre 33 y 36°C. En la madrugada la temperatura mínima está entre 23 y 24°C. El sol brilla cerca de 6 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos de principios de año, la insolación llega a 9 horas/día.

La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 56 y 74 %, siendo mayor en la época lluviosa del segundo semestre del año.

4.5. Marco Legal

Constitución Política De Colombia

Artículo 49: La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado. Se garantiza a todas las personas el acceso a los servicios de promoción, protección y recuperación de la salud.

Artículo 78: La ley regulará el control de calidad de bienes y servicios ofrecidos y prestados a la comunidad, así como la información que debe suministrarse al público en su comercialización.

Artículo 79: Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.

Artículo 80: El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

Ley 99 De 1993: Creación Del Ministerio Del Medio Ambiente, Se Organiza El Sina Y Otras Disposiciones.

Artículo 4: Sistema Nacional Ambiental SINA. (Ítem 1)

Artículo 5: Funciones del ministerio del medio ambiente. (Ítem 32)

Ley 9 De 1979: Se Dictan Medidas Sanitarias

TITULO I: De la protección del medio ambiente.

Artículo 22 a Artículo 35: Consideraciones especiales del manejo, disposición y control de los residuos sólidos.

Decreto 2811 De 1974: Código Nacional De Recursos Naturales Renovables Y De Protección Al Medio Ambiente.

Artículo 3. De acuerdo con los objetivos enunciados, el presente Código regula:

c.- Los demás elementos y factores que conforman el ambiente o influyan en él denominados en este Código elementos ambientales, como:

1. Los residuos, basuras, desechos y desperdicios.

Título III: De Los Residuos, Basuras, Desechos Y Desperdicios.

Aplican todos los Artículos.

Decreto 1713 Del 2002: Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos Y Se Dictan Otras Disposiciones.

(Derogado parcialmente por el Decreto 1505 del 2003.)

Artículo 1: Definiciones sobre almacenamiento y aprovechamiento de residuos sólidos.

CAPÍTULO VII: Sistema De Aprovechamiento De Residuos Sólidos.

Artículo 67: propósitos de la recuperación y aprovechamiento.

Artículo 72: Características de los residuos sólidos para el aprovechamiento.

Artículo 80: Fortalecimiento del aprovechamiento.

Artículo 81: Participación de los recicladores.

American Society For Testing And Materials C140: Absorción Y Área Neta De Bloques De Concreto, Ladrillos O Adoquines.

American Society For Testing And Materials C1064: Temperatura Del Concreto.

Norma Técnico Colombiana 77: Método De Ensayo Para El Análisis Por Tamizado De Los Agregados Finos Y Gruesos.

Norma Técnico Colombiana 3356: Mortero Premezclado Para Mampostería.

Norma Técnico Colombiana 3546: Métodos De Ensayo Para Determinar En Laboratorio Y Obra, De Mortero Para Unidades De Mampostería Simple Y Reforzada.

Norma Técnico Colombiana 4205: Ingeniería Civil Y Arquitectura. Unidades De Mampostería De Arcilla Cocida, Ladrillos Y Bloques Cerámicos.

Norma Técnico Colombiana 4227: Máquinas De Ensayo. Verificación Tensión, Compresión Y Flexión.

Guia Tecnica Colombiana 53-2: Guía Para El Aprovechamiento De Los Residuos Plásticos.

5. Hipótesis

Como el propósito de la investigación es obtener un bloque LEGO hecho en base a una mezcla de HDPE con cemento, se plantea como supuesto la obtención de un bloque que cumple con características superiores a las de los bloques convencionales, con calidad tanto en su arquitectura como propiedades físicas y mecánicas.

6. Marco Metodológico

6.1. Tipo De Investigación

El tipo de investigación que se utilizó en este proyecto fue mixto ya que abarca dos tipos de estudio que es el descriptivo y correlacional, porque busca obtener las características del diseño y/o propiedades del bloque LEGO HDPE planteado y en base a los análisis realizados obtener la mejor proporción de materia prima.

6.2. Diseño De Investigación

El diseño fue tipo experimental puesto que en base a los ensayos normalizados que establece la NSR10 aplicar en los bloques LEGO HDPE, se tomó una decisión respecto a la cantidad de material óptimo en función de una característica y/o propiedad previa del producto.

6.3. Población y Muestra

La población estuvo dada por una cantidad infinita de elementos que por su singularidad en el proceso se desconoce, por lo cual se fija una muestra para poblaciones desconocidas de bloques LEGO HDPE que fueron sometidos a los diferentes ensayos estandarizados por la Norma Sismo Resistente.

6.4. Diseño Metodológico

Las variables a tener en cuenta para el presente proyecto están en función de la resistencia a la compresión como variable dependiente. La única variable independiente será la absorción del agua como contenido de humedad.

6.5. Estructura De Recolección De Datos

FASE No.1: Construcción de prensa hidráulica compactadora para la creación de Bloques Lego con material plástico.

Actividad n°1: Revisión bibliográfica respecto a prensas extrusora de bloques.

Descripción: Se realizará una investigación relacionada a cualidades de ciertas prensas hidráulicas y máquinas extrusoras de bloques ecológicos, con la finalidad de extraer información relevante que permita nutrir la producción cíclica de los Bloques LEGO HDPE a producir, con esta línea base se tiene un material probatorio que justifica los componentes que integrados conforman la prensa hidráulica a construir.

Actividad n°2: Planos de diseño y especificaciones técnicas de la prensa hidráulica.

Descripción: Se presentaran por medio de planos los elementos que constituyeron la prensa hidráulica y por orden como serán ensamblados más su funcionalidad individual. Por medio de esto se podrán dar ciertas especificaciones que destacan el diseño, modelo y calidad de la extrusora hidráulica en cuanto a apariencia física y mecánica.

Actividad n°3: Ensamblaje de prensa y pruebas técnicas de funcionamiento.

Descripción: De los planos establecidos se realizó la construcción de los elementos y por último el ensamble de la máquina extrusora de bloques LEGO HDPE. Se realizaran pruebas para evaluar la calidad del producto obtenido, para así poder darle continuidad y realizar lo bloques del presente estudio.

FASE No.2: Análisis mediante ensayos físicos y mecánicos de las propiedades de los Bloques Lego HDPE con base en la Normativa Sismo Resistente (NSR10).

Actividad n°1: Selección de la muestra de bloques LEGO HDPE.

Descripción: Como se desconoce la población, para la selección de la muestra se tuvo en cuenta la fórmula de muestras para poblaciones no conocidas:

$$n = \frac{Z^2 pq}{i^2}$$

Dónde se tendrá qué:

Z: 1,645 al 90% de intervalo de confianza.

p: probabilidad de éxito (para ensayos sin certeza será similar al 50%)

q: 1 – p (la diferencia de la unidad menos la probabilidad de éxito)

i: precisión o error que se prevé cometer (asumida al 1% considerada muy buena y define el intervalo de confianza Z al 90%)

El número de bloques estuvo sujeto a cambios debido al diseño experimental, se usarán alrededor de 40 bloques, por lo tanto la precisión o error es asumida al 1%. Con la ratificación de la muestra se proceden a los ensayos para poder verificar su calidad.

Actividad n°2: Granulometría del agregado fino (plástico HDPE triturado) y preparación de la mezcla (mortero).

Descripción: Obedeciendo la NTC 77 del tamizado de agregados finos y gruesos: se seleccionará una cantidad de plástico triturado y se expondrá a una condición de calor tal cual permita que este pueda estar seco. Se procede a llevar el agregado fino (plástico triturado) a los tamices, pasando por el de mayor abertura (3 pulgadas) hasta el de menor abertura (No. 200), cumpliendo los requerimientos de relación 1:2 en cuanto a las dimensiones del tamiz. De esta forma se obtendrá los porcentajes de masa retenida y el cálculo del módulo de finura que está dado por la siguiente formulación:

$$Mf = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado tamices que cumplen relación 1:2}}{100}$$

Información que es insumo principal para la elaboración del mortero entre el agregado fino, el cemento y agua.

Obedeciendo la NTC 3356 de mortero premezclado para mampostería: con base en los lineamientos establecidos se realizarán las mezclas para la elaboración de las mezclas entre el agregado fino (plástico), cemento portland y agua; así mismo siguiendo los lineamientos de la NSR10 y el libro de Rivera.

Actividad n°3: Ensayo de temperatura de los bloques.

Descripción: Con la norma ASTM C1064 se calcula la temperatura del concreto fresco, sin embargo se realizará un ensayo similar respetando lo estipulado en la norma en referencia. Consta de exponer el bloque LEGO HDPE a la radiación solar (de 6 a 7 horas) durante un tiempo similar a 7 días, midiendo cada hora la temperatura alcanzada en sus extremos y en su centro.

Actividad n°4: Ensayo de resistencia a la compresión.

Descripción: Obedeciendo la NTC 3546, sección A.7 de ensayos de resistencia a la compresión se elaboran especímenes los cuales se almacenarán tanto en seco como húmedo, posterior se le aplicará una carga efectuada por una máquina compresora. De este modo se obtendrán los resultados de las resistencias, insumo que es fundamental para establecer la calidad del material a utilizar en cuanto a sus proporciones y la funcionalidad que se pretende.

FASE No3: Establecimiento de la dosis óptima de materia prima para la elaboración de Bloque Lego HDPE.

Actividad n°1: Presentación de los resultados con sus inferencias respectivas.

Descripción: Con los ensayos de absorción de agua, temperatura de servicio y resistencia a la compresión de los bloques y siguiendo los lineamientos de presentación de informes que establecen las normas nacionales (NTC) e internacionales (ASTM) se realizarán las inferencias respectivas y el análisis de resultados, con la finalidad de ampliar el conocimiento del comportamiento de los especímenes sometidos a estas diferentes pruebas de laboratorio.

Actividad n°2: Diseño experimental y prueba de hipótesis.

Descripción: El diseño experimental se ve dado por un Diseño Factorial de Dos Factores en el cual hay a niveles para el factor A, b niveles del factor B y que cada réplica del experimento contiene todas las posibles combinaciones de tratamientos, es decir contiene los ab tratamientos posibles **Fuente especificada no válida..** Variables en la Tabla 5.

Tabla 5. Niveles de las variables de estudio

VARIABLES DEL ESTUDIO	NIVELES DEL ESTUDIO
-----------------------	---------------------

FACTOR A: porcentajes dosificación de las mezclas.	a1, a2, a3, a4, a5
FACTOR B: tiempo de rotura de los especímenes (días)	b1 = 14 días de fabricación b2= 29 días de fabricación

Fuente: Autores, 2018.

Definidas las variables la matriz experimental quedaría de la siguiente manera:

Tabla 6. Matriz Experimental

		FACTOR B							
		b1	b2	b1	b2	b1	b2	b1	b2
		FACTOR A	a1	a1b1	a1b2	a1b1	a1b2	a1b1	a1b2
a2	a2b1		a2b2	a2b1	a2b2	a2b1	a2b2	a2b1	a2b2
a3	a3b1		a3b2	a3b1	a3b2	a3b1	a3b2	a3b1	a3b2
a4	a4b1		a4b2	a4b1	a4b2	a4b1	a4b2	a4b1	a4b2
a5	a5b1		a5b2	a5b1	a5b2	a5b1	a5b2	a5b1	a5b2

Fuente: Autores, 2018.

Con esto podemos definir la cantidad de bloques que fueron necesarios para el diseño experimental:

$$\# \text{ factor } A \times \# \text{ factor } B \times \text{repeticiones} = 5 \times 2 \times 4 = 40$$

Actividad n°3: Presentación de la dosis óptima de materia prima.

Descripción: En consideración a las pruebas de hipótesis se realizaron inferencias con respecto a lo establecido en la Normativa Sismo Resistente Colombiana (NSR-10) y los especímenes que de acuerdo con si ANOVA son concluyentes, significativos y aptos.

FASE No4: Comparación de los resultados de propiedades físicas y mecánicas con los bloques de ladrillo convencional.

Actividad n°1: Análisis bloque LEGO HDPE versus Ladrillo de Arcilla Convencional.

Descripción: De acuerdo con los resultados

s de los ensayos realizados a los bloques LEGO HDPE se realizaron un análisis comparativo en cuanto a las características y propiedades físicas y mecánicas respecto a los ladrillos de arcilla convencionales.

Actividad n°2: Análisis bloque LEGO HDPE versus Bloque de Cemento.

Descripción: De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados a los bloques LEGO HDPE se realizará un análisis comparativo en cuanto a las características y propiedades físicas y mecánicas respecto a los bloques de cemento.

Actividad n°3: Análisis bloque LEGO HDPE versus resultados de investigaciones similares.

Descripción: De acuerdo con los resultados de los ensayos realizados a los bloques LEGO HDPE se realizará un análisis comparativo en cuanto a las características y propiedades físicas y mecánicas respecto a otros bloques que utilizaron como materia prima el plástico HDPE.

7. Resultados Y Análisis

7.1. Fase 1: Construcción De Prensa Hidráulica Compactadora Para La Creación De Bloques Lego.

7.1.1. Planos De Diseño Y Especificaciones Técnicas De La Prensa Hidráulica.

Cuando se concibió la idea de realizar un bloque ecológico en forma de lego, era menester considerar una manera de compactar dicho bloque de modo que le diera la forma particular de pieza lego, las cuales tienen la particularidad de encajarse unas con otras entre sí. Por ello, se vio la necesidad de crear una máquina que facilitara este trabajo.

Para tal fin, se decidió utilizar como modelo la máquina compactadora de bloques de ladrillos “CETA RAM”, de la cual se obtuvieron planos específicos de cada pieza (Ilustración 5) y por tanto, facilitaba la labor a la hora de crear la máquina adecuada para el presente estudio .

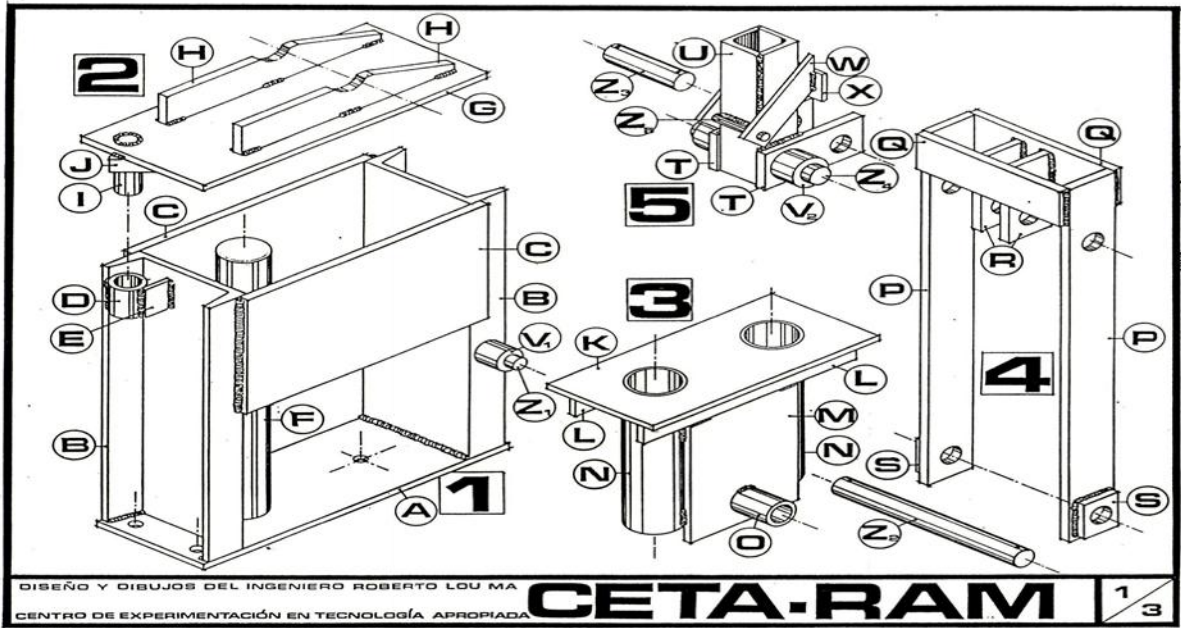


Ilustración 5. Planos específicos de la máquina CETA – RAM.
 Fuente: Roberto Lou Ma, Centro de experimentación en tecnología apropiada, s.f.

En primer lugar, se tuvieron que definir los materiales a utilizar para la creación de la máquina, con los cuales ya se contaban y aquellos que eran más asequibles económicamente. Dentro de los materiales contemplados se tenían: Láminas y flanches de hierro.

Con el fin de obtener dichos materiales, se realizó un recorrido por varias recicladoras, y en la recicladora “El Progreso”, se pudo encontrar una lámina en forma de L con un espesor de 1.2 mm un largo de 1m x 1.5m y un ancho de 14 cm. A partir de la dimensión del ancho de 14 cm de lámina adquirida, se procedió a diseñar la máquina con ese ancho.

Tal como se aprecia en la ilustración 5, se puede observar que la CETA-Ram está dividida en cinco (5) partes, por tanto, se decidió tomar el ejemplo y se optó por hacer lo mismo, comenzando por la primera (Ilustración 6) que sería el cuerpo de la máquina. El programa de diseño utilizado fue AutoCAD.

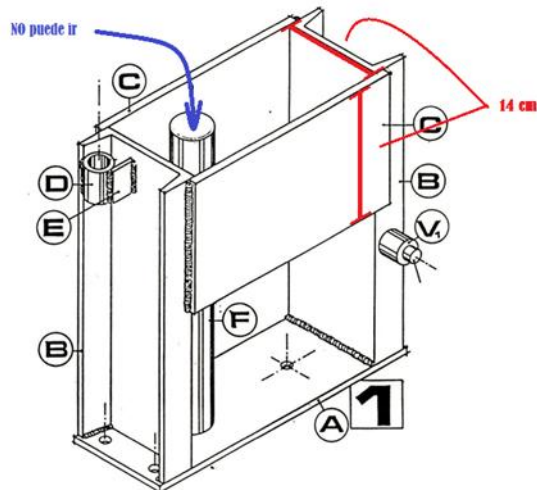


Ilustración 6. Primera parte de la máquina CETA-Ram.

Fuente: Roberto Lou Ma, Centro de experimentación en tecnología apropiada, s.f.

Es importante resaltar que las medidas de la máquina del proyecto no están basadas en las medidas de la CETA – Ram, de ésta solo se tuvieron en cuenta sus gráficos, los cuales sirvieron de guía para acomodar las partes de la máquina y de acuerdo al material con que se contaba se fueron adaptando las medidas propias.

Al momento de diseñar, se pudo percibir que era necesario que la sección del bloque (ilustración 7) tenía que ser simétrica para poder encajar una en la otra, es por ello que se tuvo en cuenta que si el ancho era de 14cm el largo del bloque debía ser de 28cm.

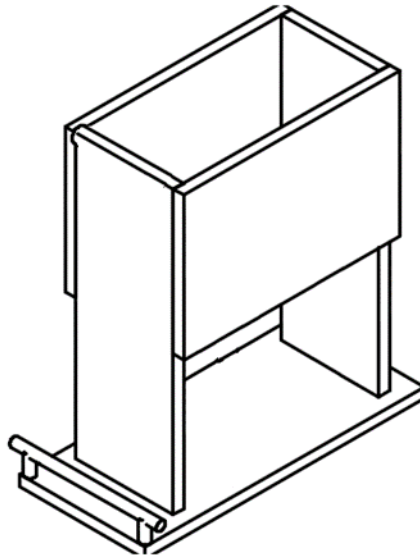


Ilustración 7. Cuerpo de la máquina.
Fuente: Autores, 2021.

Este fue el primer diseño en AutoCAD del cuerpo de la máquina (Ilustración 7). Uno de los primeros inconvenientes que se pudo notar, radicó en que el sistema del eje central son dos barras que van desde el punto más alto hasta la base, impidiendo el movimiento vertical de una palanca y teniendo en cuenta que el bloque objeto del presente estudio es compacto, no podía tener dicho eje atravesado, por tanto, se buscó la manera de crear un eje que permitiera subir y bajar la palanca compresora.

En el anexo C, se encuentran evidencias del proceso de construcción de la máquina compactadora.

7.1.2. Planos Del Diseño De La Máquina Compactadora De Bloques Estructurales:

El modelo a diseñar de la máquina se plasmó finalmente de la siguiente manera en AutoCad:

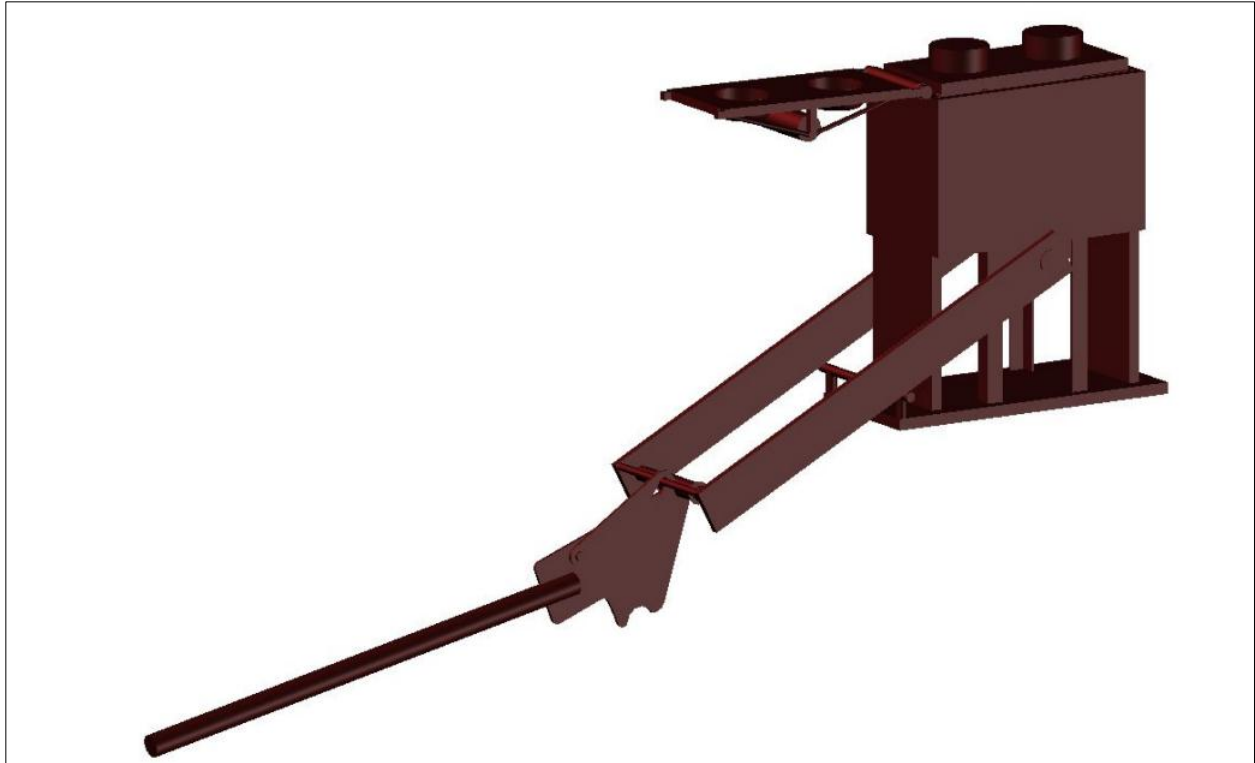


Ilustración 8. Máquina compactadora de bloques estructurales.
Fuente: Autores, 2021.

A continuación, se presenta la vista lateral, en planta e isométrica de la máquina compactadora:

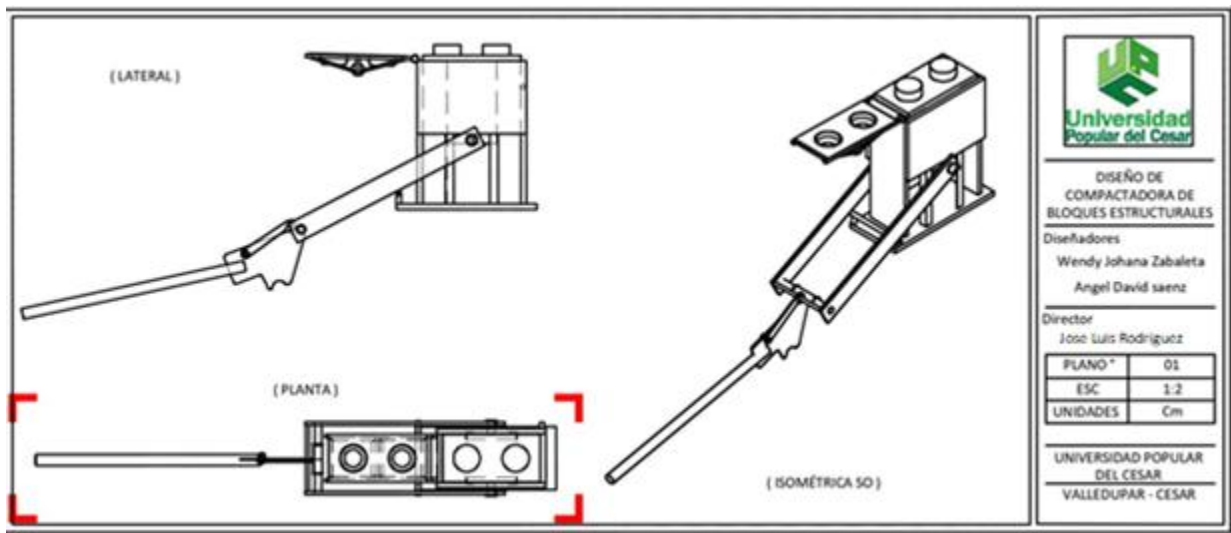


Ilustración 9. Plano de la vista lateral, en planta e isométrica de la máquina compactadora.
Fuente: Autores, 2021.

Planos del cuerpo de la máquina:

En la ilustración 10, se pueden apreciar los planos diseñados para la construcción del cuerpo de la máquina:

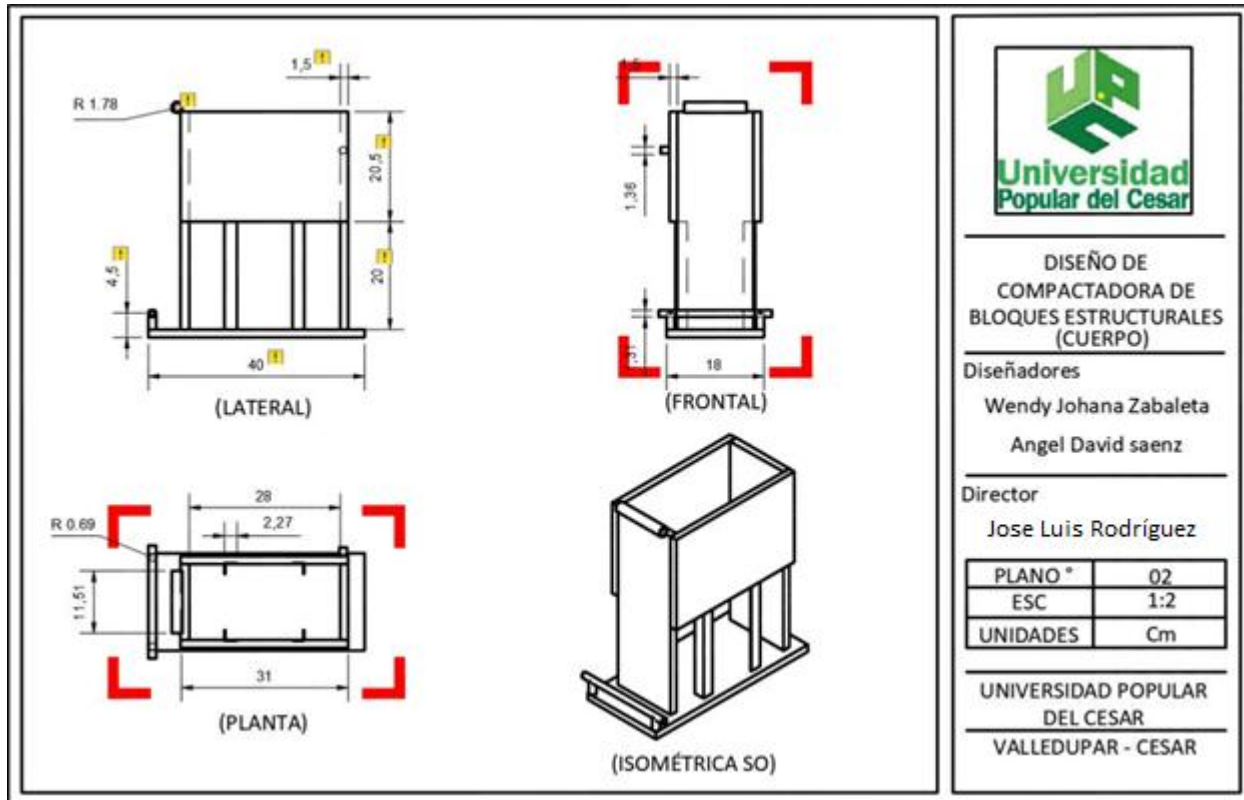


Ilustración 10. Vista en planta, frontal, lateral e isométrica del cuerpo de la máquina.

Fuente: Autores, 2021.

Planos de la base de la máquina:

En la ilustración 12, se pueden apreciar los planos diseñados para la construcción de la base de la máquina:

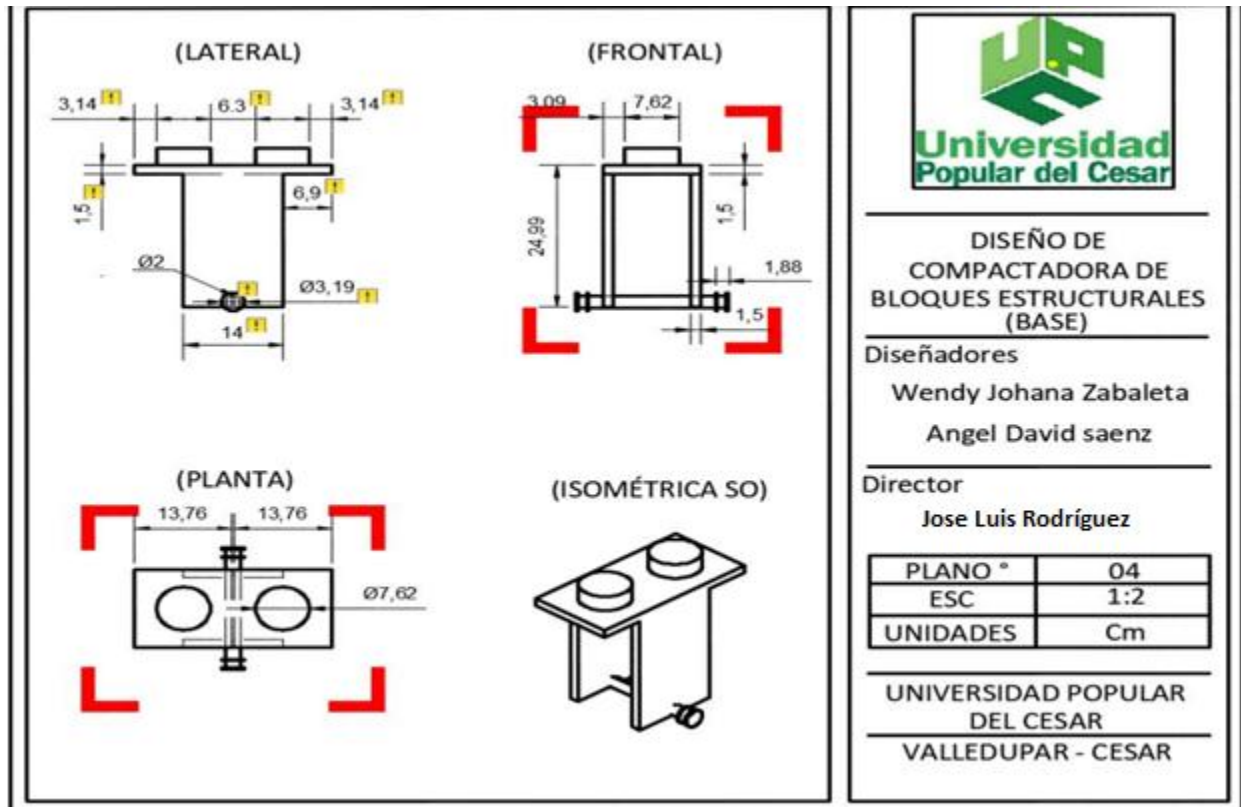


Ilustración 12. Vista lateral, en planta e isométrica de la base de la máquina.
Fuente: Autores, 2021.

Planos de la tapa de la máquina:

En la ilustración 13, se pueden apreciar los planos diseñados para la construcción de la base de la máquina:

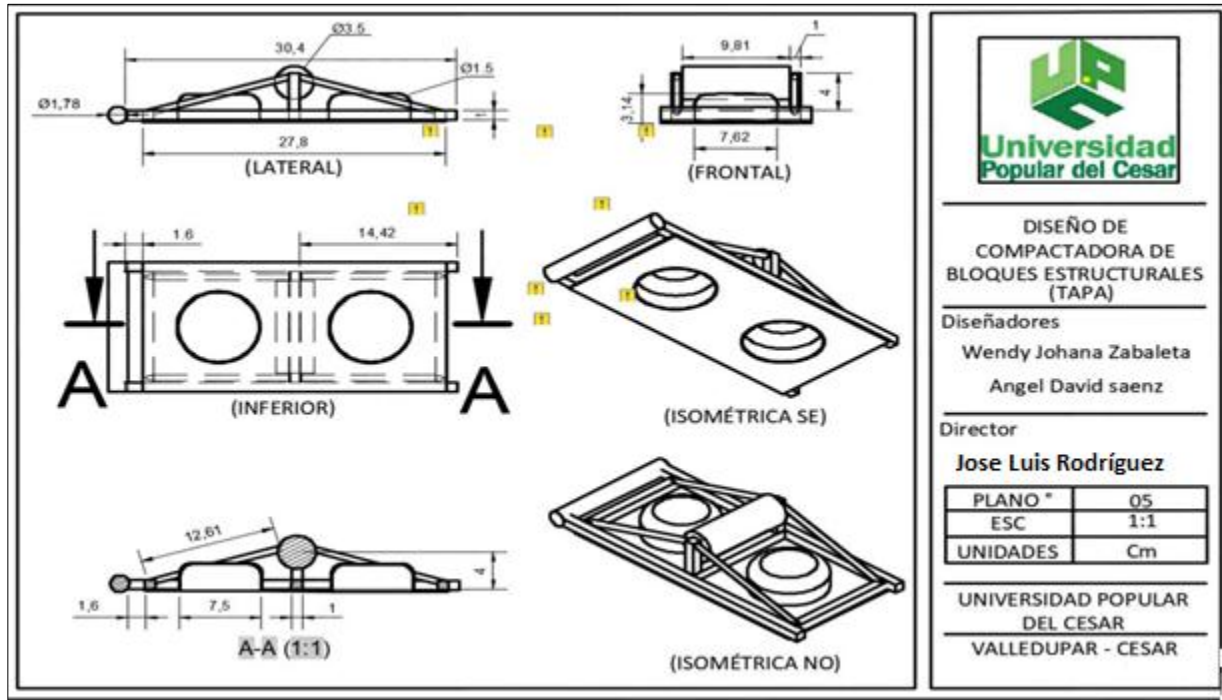


Ilustración 13. Vista lateral, en planta e isométrica de la tapa de la máquina.

Fuente: Autores, 2021.

Posteriormente, se comenzaron a realizar las medidas y cortes de las primeras planchas (ilustración 14) para lo cual se requirió la compra de discos de corte, gratas de lijado, una cinta métrica, algunos electrodos de soldadura y materiales de protección tales como mascarilla de y tapas de oído.



Ilustración 14. Toma de medidas y cortes de las primeras planchas.
Fuente: Autores, 2021.

Y así mismo se fueron creando las partes de la máquina según los planos realizados en AutoCad, tal como se aprecia en la ilustración 15 y 16.



Ilustración 15. Partes de la máquina.
Fuente: Autores, 2021.



Ilustración 16. Partes de la máquina.
Fuente: Autores, 2021.

En la fabricación de la máquina se utilizaron como paredes y fondo una placa de hierro de un centímetro de espesor, la soldadura que se utilizó fue 6011 en varilla revestida.

7.1.3. Ensamblaje De Prensa Y Pruebas Técnicas De Funcionamiento.

Se presenta el ensamblaje de la máquina extrusora de bloques LEGO y sus respectivas pruebas, las cuales evaluaron la calidad del producto, y de esta forma, asegurar la continuidad y realización de los bloques objeto del presente estudio.

En la construcción de la maquina solo se podía trabajar unas cuantas horas en el día, por ello la construcción demoró más de lo esperado. La primera fase de este proceso tuvo una duración de dos (2) meses.



Ilustración 17. Construcción de la máquina.
Fuente: Autores, 2021.



Ilustración 18. Proceso de pintura de la máquina.
Fuente: Autores, 2021.

Finalmente, cuando la máquina fue construida, se procedió a ensayar su funcionamiento. En el primer ensayo para probar la máquina, se pudo evidenciar que era necesario que la prensa

saliera en su totalidad, ya que de esa manera era más sencilla la estación del bloque, asimismo, se notó que no se podía dejar de la misma forma como la máquina que sirvió de guía (la CETA – Ram), ya que esa no tiene la parte cóncava por debajo del bloque, mientras que el bloque trabajado sí, por ello es necesario para mayor facilidad del desmote del bloque (Ilustración 19). Este proceso tomó en totalidad seis (6) meses.



Ilustración 19. Máquina Compactadora Construida.
Fuente: Autores, 2021.

Para el proceso de monte y desmote de los bloques se tomaron unas pautas para que todos los bloques fueran lo más similares posibles en su fabricación. La fuerza ejercida por el brazo se dio con una pesa aproximadamente de 50 kg la cual fue suspendida previamente con sogas y levantada y bajada 7 veces para que compactara mejor. Este número se obtuvo ensayando con la máquina y se evidenció que a la séptima vez, el bloque tomaba mejor forma.

Si no se compactaba las veces necesarias el bloque se desmoronaba al momento de sacarlo tal cómo se puede apreciar en la siguiente ilustración:



Ilustración 20. Bloque desmoronado al salir de la compactadora.
Fuente: Autores, 2021.

Para sacar el bloque del molde se utilizó un trinche con el cual se tomaban los extremos y la parte media para así poderlo trasladar y alzar con cuidado (Ilustración 21):



Ilustración 21. Bloque compactado en la máquina.
Fuente: Autores, 2021.

En total se realizaron 10 bloques para el ensayo del funcionamiento de la máquina, en este proceso se verificó que el llenado de la máquina para la compactación debía ser de forma homogénea y compacta, con la ayuda de un pisón de madera se ayudó a la mejor compactación del bloque sobre todo en el área donde se hacen las elevaciones.

La forma de la extracción del bloque de la máquina, así como también el secado de los bloques debe llevarse a cabo en una superficie recta y dejar en el sol sin hacerle movimientos bruscos, para evitar fracturas en el bloque.

7.2. FASE 2: Análisis Mediante Ensayos Físicos Y Mecánicos De Las Propiedades De Los Bloques Lego HDPE Con Base En La Normativa Sismo Resistente (NSR10).

7.2.1. Selección De La Muestra De Bloques:

Teniendo en cuenta que la población de la cual se debía seleccionar la muestra, se desconocía, se procedió a utilizar la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z^2 pq}{i^2}$$

Dónde se tiene que:

Z: 1,645 al 90% de intervalo de confianza.

p: probabilidad de éxito (para ensayos sin certeza será similar al 50%)

q: 1 – p (la diferencia de la unidad menos la probabilidad de éxito)

i: precisión o error que se prevé cometer (asumida al 1% considerada muy buena y define el intervalo de confianza Z al 90%)

El número de bloques utilizados fueron de: 40.

Inicialmente se había considerado utilizar material PET para la realización de los bloques, pero su trituración es complicada debido a que es una superficie más resbalosa (lisa) y las cuchillas no trituraban muy bien el material así que se optó por utilizar otro tipo de plástico que comúnmente se encuentra en envases como es el HDPE.

HDPE es un Polietileno de alta densidad que debido a su resistencia y versatilidad se utiliza, sobre todo en envases de leche, zumos, yogur, agua y bolsas de basura y de supermercado, también en productos de limpieza de hogar o químicos industriales, como botellas de champú, detergente, cloro, etc (Zorrilla, 2013).

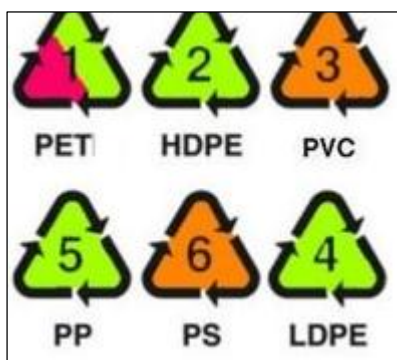


Ilustración 22. Tipos de plásticos
Fuente: Zorrilla (2013).

7.2.2. Granulometría del agregado fino (plástico HDPE triturado) y preparación de la mezcla (mortero).

Obedeciendo la NTC 77 del tamizado de agregados finos y gruesos: se seleccionó una cantidad de plástico triturado y se expuso a una condición de calor tal cual permita que este pueda estar seco. Posteriormente, esta muestra de 200 g de plástico triturado fue pasada por los tamices, el de mayor abertura (3/8 pulgadas) hasta el de menor abertura (No. 200). Los resultados se presentan a continuación en la tabla 7:

Tabla 7. Granulometría del plástico triturado.

Tamiz (N°)	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	% retenido	% acumulado	% que pasa
3/8"	9,525	31,2	0,16	0,16	0,84
4	4,75	89,8	0,45	0,61	0,40
10	2	34,8	0,17	0,78	0,22
20	0,85	28,6	0,14	0,92	0,08
40	0,425	10,2	0,05	0,97	0,03
100	0,15	5,1	0,03	1,00	0,00

200	0,075	0,1	0,00	1,00	0,00
Bandeja	-	0	0		
Total		199,8	100	100	0

Fuente: Autores, 2022.

Tal como se puede observar en la tabla 7, una cantidad considerable de la muestra, es decir de plástico triturado es bastante fino, de acuerdo a lo que queda finalmente en la bandeja. Y por la nula y poca cantidad que se retuvo en los tamices de 3/8" y N°4, se puede evidenciar que casi no había material grueso, lo cual es un buen indicador, dado a que para elaborar la mezcla es preferible contar con agregado fino.

Con base en los resultados anteriores, se procedió a calcular el módulo de finura, el cual está dado por la siguiente formulación:

$$Mf = \frac{\sum \% \text{ retenido acumulado tamices que cumplen relación } 1:2}{100}$$

A continuación, se muestran los resultados:

$$Mf = \frac{\sum 16 + 61 + 78 + 92}{100} = 2,47$$

Teniendo en cuenta que los valores del módulo de finura deben encontrarse en un rango de 2,2 a 3,2 y que entre mayor sea el valor, mayor será la cantidad de agregados gruesos, se puede inferir que el resultado del módulo de finura para este caso, indica que la muestra trabajada no contiene partículas muy gruesas, por lo contrario, son finas.

7.2.3. Ensayo De Temperatura De Los Bloques.

A los bloques se les tomó la temperatura promedio, cada seis horas durante siete días, cabe resaltar que estos se encontraban a temperatura ambiente. A continuación en la tabla 8, se plasman los datos de la temperatura promedio diaria de los bloques durante los 7 días:

Tabla 8.

Temperatura de los bloques durante 7 días.

Temperatura promedio de los bloques durante 7 días (°C)							
Horas	Días						
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
1	35	32	35	36	35	35	33
2	35	32	35	36	35	35	34
3	35	35	34	37	35	35	34
4	36	33	34	37	38	33	33
5	36	35	34	35	37	32	33
6	36	35	33	35	37	32	33
Promedio por día	35,5	33,6	34,2	36	36,2	33,6	33,3
Promedio de los 7 días	34,6 °C						

Fuente: Autores, 2021.

De acuerdo con los datos presentados en la tabla 8, se puede evidenciar que el promedio de la temperatura de los bloques fue de 34,6° C.

7.2.4. Ensayo de resistencia a la compresión.

Obedeciendo la NTC 3546, sección A.7 de ensayos de resistencia a la compresión se elaboraron especímenes los cuales se almacenaron tanto en seco como húmedo, posterior se les aplicó una carga efectuada por una máquina compresora. De este modo se obtuvieron los resultados de las resistencias, insumo que es fundamental para establecer la calidad del material a utilizar en cuanto a sus proporciones y la funcionalidad que se pretende.

Para los ensayos a la compresión inicialmente se hicieron 8 bloques, de los cuales se fallaron 4 a los 14 días, y dado que no estaban dando el resultado esperado, se decidió sumergir en agua los otros 4 restantes para curarlos y esperar más días para fallarlos (a los 28 días).

Para estos bloques la relación de cemento y agregado que se tuvo fue de:

- 50% cemento
- 50% agregado (el agregado estaba compuesto de arena (50%) y plástico (50%)).

Las características de los materiales son los siguientes:

- Cemento utilizado ULTRACEM
- Arena
- Plástico triturado

Al hacer los primeros ensayos, se pudo notar que la cantidad de agregado plástico era alta, así como también que el plástico no es adherente con el cemento creando espacios vacíos que no permiten una buena adherencia.

Así que el siguiente paso fue llevar el agregado a una partícula más fina y para ello se utilizó una pequeña trituradora adicional para tratar de hacerlo, tal como se puede apreciar en la ilustración 23:



Ilustración 23. Trituradora
Fuente: Autores, 2021.

Y así quedó el plástico triturado en la máquina trituradora (Ilustración 24):



Ilustración 24. Plástico triturado.
Fuente: Autores, 2021.

Se logró bajar el tamaño más grande de la partícula hasta 1 cm y para esto se hicieron varias pasadas en la trituradora para que cada vez fuese más pequeña, en total se hicieron tres pasadas.

Ya con el tamaño de la partícula de plástico más fino, se elaboraron nuevos bloques, 32 bloques más, en los cuales se varió la dosificación de la relación cemento/agregado, pero conservando las mismas proporciones en la composición del agregado como tal, que es de 50% arena y 50% plástico, y así mismo, con una variación en los tiempos de curado, por tanto, una cantidad de bloques fueron fallados a los 14 días y otros a los 28, esta es la apariencia de algunos de los bloques, tal como se aprecia en la ilustración 25:



Ilustración 25. Cilindros para ensayos.
Fuente: Autores, 2021.

Los cilindros fueron medidos y pesados antes de someterlos a compresión, tal como se puede apreciar en la ilustración 26:



Ilustración 26. Peso del bloque cilíndrico.
Fuente: Autores, 2021.

En el Anexo A, se evidencia el informe del fallo de los bloques con las diferentes relaciones utilizadas, a los días 14 y 28.

A continuación, se muestra la máquina en la que fueron fallados los cilindros, en la ilustración 27 se puede observar el momento en que se estaba fallando uno de los cilindros:



Ilustración 27. Bloque cilíndrico fallado en la máquina de compresión.
Fuente: Autores, 2021.

En el anexo B, se pueden observar más fotografías de los bloques ensayados.

7.3. FASE 3: Establecimiento de la dosis óptima de materia prima para la elaboración de Bloque HDPE.

En esta etapa se aplicó el análisis ANOVA estadístico para determinar la dosis óptima de materia prima idónea para la elaboración de bloque HDPE. Para ello, se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos de la FASE 2 correspondientes a la resistencia a compresión de los especímenes usados bajo diversas dosificaciones de agregados finos con combinaciones de HDPE relación 50/50.

7.3.1. Presentación de los resultados con sus inferencias respectivas.

En este apartado, se presentan los resultados correspondientes a los registros de resistencias a compresión de las muestras ensayadas bajo diferentes dosis, en aras de establecer la mejor dosis teniendo en cuenta una serie de variables, que, en total, se analizaron 40 datos, de los cuales, 20 corresponden a aplicaciones de resistencia a compresión al término de curado de 14 días y los datos restantes al término de curado de 28 días respectivamente. Estos se encuentran distribuidos tal como se puede observar en la tabla 9 de la siguiente manera:

Tabla 9.

Ensayos a compresión en tiempo de curado de 14 días bajo los diferentes tratamientos

ITEM	Tratamientos	Resistencia a compresión MPa tiempo de curado 14 días			
		1	2	3	4
1	(50% CEMENTO 50% AGREGADO)	0,760	1,112	0,936	1,486
2	(60% CEMENTO 40% AGREGADO)	1,229	1,828	1,528	2,078
3	(65% CEMENTO 35% AGREGADO)	1,828	1,783	1,805	2,355
4	(70% CEMENTO 30% AGREGADO)	4,549	3,099	3,824	4,474
5	(80% CEMENTO 20% AGREGADO)	3,354	1,904	2,629	3,279

Fuente: Autores, 2021.

Tabla 10.

Ensayos a compresión en tiempo de curado de 28 días bajo los diferentes tratamientos

ITEM	Tratamientos	Resistencia a compresión MPa tiempo de curado 28 días			
		1	2	3	4
1	(50% CEMENTO 50% AGREGADO)	0,983	1,112	1,047	1,597
2	(60% CEMENTO 40% AGREGADO)	1,554	1,828	1,691	2,241
3	(65% CEMENTO 35% AGREGADO)	3,361	1,783	2,572	3,122
4	(70% CEMENTO 30% AGREGADO)	5,978	6,228	6,103	6,327
5	(80% CEMENTO 20% AGREGADO)	4,553	5,087	4,820	5,141

Fuente: Autores, 2021.

De acuerdo a los observado en las tablas 9 y 10, se puede evidenciar que la primera muestra de bloques tuvo una proporción de 50% cemento y 50% agregados, se resalta que en todos los casos la composición del agregado fue la misma (50% arena y 50% plástico), y se puede observar que tanto a los 14 días como a los 28 días, la resistencia no era muy alta. Por tanto, se decidió aumentar la cantidad de cemento en un 60%, para la siguiente tanda de bloques (8 bloques), sin embargo, tampoco se obtuvo un mayor logro en la resistencia del material significativa, con ninguno de los dos tiempos de curado. Para la tercera muestra de bloques, el aumento del cemento fue del 65%, ya en este punto, se alcanza a observar un incremento de la resistencia principalmente a los 28 días de curado, no obstante sigue siendo inferior a la resistencia deseada que es de 6 Mpa. Para la cuarta muestra de bloques, la composición de la dosis fue de 70% cemento y 30% agregado, con dicha composición se logró alcanzar la meta de los 6 Mpa, pero a los 28 días de curado. Y con la quinta muestra que constituyó en su mayoría solo cemento (80%), tampoco se logró la resistencia esperada, es decir, que sólo se logró la resistencia con la cuarta muestra y a los 28 días de curado.

7.3.2. *Diseño experimental y prueba de hipótesis.*

El diseño experimental aplicado en el presente estudio se basa en la metodología de un diseño factorial de 2 factores, en donde la finalidad es evaluar la mejor resistencia de compresión bajo

dos factores: por un lado un **factor A** relacionado con la **dosificaciones de diseño de mezcla de mortero** con **niveles a** referenciados por los **porcentajes de cemento/agregado** manteniendo **una relación de agregado fino y material plástico HDPE 50/50**; por otro lado, un **factor B** relacionado con los **tiempos de curado de cada muestra de mortero** ensayada con **niveles b** referenciados a los **tiempos de curado 14 y 28 días** respectivamente. Esto se evidencia en la tabla 11:

Tabla 11.

Resistencias de compresión en términos MPa de muestras de mortero bajo los factores de porcentajes de dosificación de mezclas (A) y los tiempos de curado (B)

FACTOR A: Porcentajes de dosificación de mezcla	FACTOR B: Tiempos de curado	
	b1= 14 días	b2=28 días
a1= (50% CEMENTO 50% AGREGADO)	0,76	0,983
	1,112	1,112
	0,936	1,047
	1,486	1,597
a2= (60% CEMENTO 40% AGREGADO)	1,229	1,554
	1,828	1,828
	1,528	1,691
	2,078	2,241
a3= (65% CEMENTO 35% AGREGADO)	1,828	3,361
	1,783	1,783
	1,805	2,572
	2,355	3,122
a4= (70% CEMENTO 30% AGREGADO)	4,549	5,978
	3,099	6,228
	3,824	6,103
	4,474	6,327
a5= (80% CEMENTO 20% AGREGADO)	3,354	4,553
	1,904	5,087
	2,629	4,820
	3,279	5,141

Fuente: Autores, 2021.

La hipótesis del siguiente diseño experimental es saber la influencia o no que tienen los porcentajes de dosificación de mezclas relacionadas con los tiempos de curados en aras de incrementar o reducir la resistencia de compresión. Las hipótesis son:

Nula (H₀)

Alternativa (H_i)

1. Los porcentajes de dosificación de mezclas del mortero tendrán el mismo efecto en la resistencia a compresión de los ensayos realizados.
2. Los días de curado tendrán el mismo efecto en la resistencia a compresión de los ensayos realizados.
3. No existe interacción entre los porcentajes de mezclas del mortero y los tiempos de curado con relación a la resistencia a compresión de los especímenes ensayados.

1. Los porcentajes de dosificación de mezclas del mortero tendrán diferentes efectos en la resistencia a compresión de los ensayos realizados.
2. Los días de curado tendrán diferentes efectos en la resistencia a compresión de los ensayos realizados.
3. Existe interacción entre los porcentajes de mezclas del mortero y los tiempos de curado con relación a la resistencia a compresión de los especímenes ensayados.

Para ello, se utilizó el programa informático Microsoft Excel. A continuación, se presentan los resultados del análisis de Varianza ANOVA:

Análisis de varianza ANOVA

Se trabajó con el diseño experimental de dos factores con dos niveles, 4 repeticiones y un nivel de confianza de 95%, y un alfa del 5%. A continuación se muestran los resultados del análisis:

Tabla 12.

Análisis de varianza ANOVA

Variable	(suma de cuadrados)	Grados de Libertad	(varianza)	Estadístico de Fisher		Significancia	
	SS	GDL	Ms	F	Probabilidad		
A	83,048	4	20,76	2,70	0,049	<0,05	Si
B	11,33	1	11,33	1,47	0,234	>0,05	No
A*B	102,63	4	25,66	3,34	0,022	<0,05	Si
Residual	230,58	30	7,69				
Total	427,59	39	10,96				

Fuente: Autores, 2021.

Las variables A y B, representadas en la tabla anterior, corresponden a **Porcentajes de dosificación de mezcla y Tiempos de curado**, respectivamente. Así mismo, si el resultado de la

probabilidad es menor que 0,05 quiere decir que hay una significancia en las variables, mientras que si es mayor que 0,05, entonces se puede decir que no hay significancia.

Por tanto, con base en los resultados, se puede afirmar que los porcentajes de dosificación sí tienen una significancia con relación a la resistencia de los bloques, mientras que el tiempo de curado no refleja una significancia importante, no obstante la interacción de las dos variables sí muestra significancia, es decir, sí hay una incidencia en la resistencia de los bloques.

Teniendo en cuenta lo explicado, se puede afirmar que para el caso de la variable A (dosificación de la mezcla) se rechaza la hipótesis nula; en dónde se planteaba que dicha variación tendrían el mismo efecto en la resistencia a compresión de los ensayos realizados, y por ende, se acepta la hipótesis alternativa en dónde se reconoce los diferentes efectos que pueden tener dichas variaciones en la resistencia de los bloques.

Para el caso de la variable B (tiempo de curado) se acepta la hipótesis nula, en dónde se plantea que los días de curado tendrán el mismo efecto en la resistencia a compresión de los ensayos realizados.

Y finalmente, para el caso de la interacción entre las variables A y B, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa donde se plantea que existe interacción entre los porcentajes de mezclas del mortero y los tiempos de curado con relación a la resistencia a compresión de los especímenes ensayados.

7.3.3. Presentación De La Dosis Óptima De Materia Prima.

En consideración a las pruebas de hipótesis se realizaron inferencias con respecto a lo establecido en la Normativa Sismo Resistente Colombiana (NSR-10) y los especímenes que de acuerdo con ANOVA, si son concluyentes, significativos y aptos.

Teniendo en cuenta los resultados presentados anteriormente, se puede establecer que la dosis óptima para la elaboración de la materia prima de los bloques LEGO, que permitirán alcanzar la resistencia adecuada son:

- Cemento en un 70%.
- Agregado en un 30% (arena 50% y plásticos bien triturados 50%).

7.4. FASE 4: Comparación De Los Resultados De Propiedades Físicas Y Mecánicas Con Los Bloques De Ladrillo Convencional.

Antes de comenzar a analizar ambas estructuras, es importante comprender que las propiedades físicas son aquellas características que se basan principalmente en la estructura del material, las cuales se logran cambiar sin modificar su composición. Estas propiedades son visibles y medibles. En tanto, que las propiedades mecánicas son aquellas que describen el comportamiento de un material ante la aplicación de acciones o fuerzas sobre él (Duvan, 2021).

A continuación, se presenta el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los bloques del estudio con respecto a los bloques de ladrillo convencional, bloques de cemento y otras investigaciones similares:

7.4.1. Análisis bloque LEGO HDPE con respecto a Ladrillo de Arcilla Convencional, bloques de cemento y otras investigaciones similares.

Ladrillo de Arcilla Convencional

De acuerdo con Duván (2021) entre las propiedades físicas de los ladrillos de arcilla tenemos las dimensiones, la tolerancia dimensional, estabilidad, la forma, el color, textura, absorción, densidad, entre otros.

En cuanto a la *dimensión*, las unidades de mampostería de arcilla cocida no tienen que cumplir con medidas reglamentarias, los fabricantes eligen libremente las medidas de fabricación de sus productos. Tomando en cuenta que la mayoría de los ladrillos de arcilla presentan variaciones tanto en sus dimensiones como en sus superficies, estas imperfecciones geométricas en la construcción conducen a la necesidad de hacer juntas de mortero mayores a las establecidas (Duvan, 2021).

En tanto, *la textura* de estos tipos de ladrillos, se pueden especificar libremente por el fabricante, La Norma Técnica Colombiana (NTC-4205, 2000) establece que las modificaciones hechas a la textura lisa de la superficie de las unidades, tales como estrías grabadas,

escarificaciones, entre otros; se debe realizar preferiblemente sobre el producto crudo, o por cualquier método que no produzca fisuras o debilitamiento en las paredes.

El color puede variar dependiendo del tipo de arcilla y asimismo del tipo de proceso que se use en su fabricación, adicionalmente, esto no se puede tomar como un parámetro de evaluación de calidad.

La resistencia a la compresión se considera una propiedad mecánica y se define como el esfuerzo máximo al cual se somete un espécimen de ladrillo de arcilla antes de llegar a la falla, dicha carga se aplica de manera perpendicular y de manera gradual, siguiendo las especificaciones descritas en la Norma Técnica Colombiana (NTC-4017, 2005). En ladrillos de perforación vertical, la resistencia neta a la compresión se calcula dividiendo la carga de rotura o de falla por el área neta de la sección perpendicular a la carga (se descuentan las áreas de celdas y perforaciones). En los ladrillos macizos, la resistencia neta y la resistencia bruta son iguales, ya que se calcula dividiendo por el área de apoyo de los ladrillos (Duvan, 2021).

Bloque de cemento

Una de las características físicas que presentan los bloques de cemento, es que al ser grandes en tamaño, el tiempo de construcción se reduce bastante. Requiere menor cantidad de mezcla para pegar los bloques. Las medidas son exactas y uniformes lo que permite construir de manera modular y tener certeza de la cantidad de material necesario (Messineo, 2018).

Dentro de las propiedades mecánicas se encuentran que son muy resistentes y de gran durabilidad, frente al fuego los bloques conservan sus características estructurales, excelente aislamiento térmico: por ser bloques gruesos tardan mucho en calentarse y enfriarse, excelente aislamiento acústico, debido a su grosor (Messineo, 2018). Todo lo anterior, constituye grandes ventajas para estos bloques.

No obstante, de acuerdo con Messineo (2018), también hay unas desventajas por sus propias características que se deben mencionar tales como que, los bloques no se pueden partir sino que hay que trabajarlos enteros, lo que dificulta su uso en los momentos de hacer las cañerías o las aberturas con medidas standard, al momento de su colocación deben estar absolutamente secos, lo que implica que se deba buscar un lugar para almacenarlos ya que se deben proteger de la lluvia y el rocío nocturno antes de ser colocados.

Investigaciones similares:

En la siguiente investigación desarrollada por (Núñez, 2019) de título: “Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos artesanales fabricados con arcilla y concreto” se compararon las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos artesanales fabricados con arcilla y concreto. Se realizaron los ensayos de absorción, succión y resistencia a compresión. En los ensayos realizados se obtuvieron los siguientes resultados: absorción fue de 12.66% para ladrillos de arcilla y 10.24% en ladrillos de concreto; succión en ladrillos de arcilla fue de 90.85 gr/200cm²/min para ladrillos de arcilla y 24.48 gr/200cm²/min para ladrillos de concreto; resistencia a compresión en ladrillos de arcilla 63.01 kg/cm² y 45.68 kg/cm² para ladrillos de concreto. Se concluyó que los ladrillos de concreto presentaron mejoras en todas las propiedades físico mecánicas, excepto en la resistencia a compresión.

Por otro lado, la investigación realizada por (Astopilco, 2015) titulada “Comparación de las propiedades físico – mecánicas de unidades de ladrillos de concreto y otros elaborados con residuos plásticos de PVC, Cajamarca 2015”, el objetivo principal es determinar las propiedades físico - mecánicas de las unidades de ladrillos de concreto y las elaboradas con residuos plásticos de PVC. La conclusión indican que las propiedades físico-mecánicas de unidades de ladrillo de concreto elaborados con residuos plásticos de PVC se incrementan, excepto la resistencia a compresión. Para el ensayo de absorción los ladrillos con porcentajes de PVC presentan menor capacidad de absorber agua, con un valor promedio de 7.89% para ladrillos con 50% de PVC y 6.85% para ladrillos con 100% de PVC. Para el ensayo de resistencia a la compresión los ladrillos con porcentajes de PVC, presentan baja resistencia a compresión frente a ladrillos sin porcentajes de PVC con un valor promedio de 223.99 kg/cm², el cual cumple con el diseño de mezclas para un concreto de $f'c = 210$ kg/cm².

Finalmente, (Gonzales, 2016), en su investigación titulada “Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto con incorporación de PET en diferentes porcentajes”, tuvo como objetivo principal comparar las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto con la incorporación de PET al 0%, 5%, 10% y 15%. De la cual se pudo concluir que solo se incrementó las propiedades de succión y absorción de los ladrillos con incorporación de PET. De resto, las demás propiedades físicas y mecánicas no tuvieron variación significativa.

Bloques con porcentaje de HDPE

El HDPE es un polietileno de alta densidad, que cuenta con las siguientes propiedades: Dureza, resistencia, resistencia a la humedad, permeabilidad al gas. Los bloques que se elaboraron en el presente estudio cuentan con un porcentaje de este material en su composición lo cual genera ciertas ventajas, entre ellas, que el peso del ladrillo sea más liviano que el de uno tradicional, debido al peso específico de una parte de su materia prima. Otra ventaja es que el plástico es un compuesto que dura muchos años en degradarse.

En cuanto a las propiedades mecánicas, en especial la resistencia a la compresión, se pudo observar que es posible llegar a la resistencia de un ladrillo comercial que es de 6 MPa, siempre y cuando se manejen las dosificaciones adecuadas para la elaboración del ladrillo. Este ensayo se realiza de igual forma que para los ladrillos fabricados con arcilla.

La ventaja de las unidades de concreto sobre las anteriores es que dependiendo de la dosificación que se emplee (cemento-arena-confitillo-agua), pueden lograrse unidades con una resistencia que dependa del uso a que se destine, tal como lo afirma Núñez (2019).

A continuación, se presenta una tabla en la cual se sintetiza el análisis comparativo de los diferentes bloques y ladrillos:

Tabla 13.

Análisis comparativo de las principales propiedades físicas y mecánicas entre los diferentes ladrillos.

Ladrillos de arcilla	Bloques de cemento	Investigaciones similares	Bloques HDPE
<p>Los ladrillos fabricados con arcilla, no tienen que cumplir con dimensiones previamente establecidas, éstas quedan a opción del fabricante. Así mismo, el color y la textura, y adicionalmente, estos no pueden ser tomados como parámetros para evaluar la calidad del producto.</p>	<p>Los espesores de pared y tabique de las unidades de mampostería perforadas verticalmente (Bloques), deben ser de mínimo 13mm. (Norma Técnica Colombiana NTC 4026 Y NTC 4076).</p>	<p>De acuerdo con Núñez (2019) los ladrillos de concreto presentan mejoras en todas las propiedades físico mecánicas más que los de arcilla, excepto en la resistencia a compresión.</p>	<p>De acuerdo al estudio ejecutado en el presente proyecto, y comparándolo con los demás tipos de ladrillo, se puede afirmar que las dimensiones del bloque dependerán de la densidad del plástico utilizado.</p>
<p>En cuanto a la resistencia a la compresión, éstos se ensayan de la misma forma que un ladrillo de cemento (Duván, 2021).</p>	<p>Son muy resistentes y de gran durabilidad. Frente al fuego los bloques conservan sus características estructurales. Excelente aislamiento térmico: por ser bloques gruesos tardan mucho en calentarse y enfriarse. Excelente</p>	<p>Por otra parte, Astolpico (2015) afirma que los bloques que se fabrican en su totalidad con materiales plásticos tienden a tener una menor resistencia a la compresión que los bloques totalmente de cemento. Mientras que Gonzales (2016) afirma que los bloques que contienen</p>	<p>Los bloques fabricados con porcentajes de HDPE, logran alcanzar una resistencia aceptable.</p>

	aislamiento acústico. (Messineo, 2018).	incorporación de plásticos, mantienen las propiedades físicas y mecánicas con respecto a los demás, especialmente, los de cemento.	
Son más económicos que los de cemento, debido al tipo de material que se emplea (arcilla).	Son más costosos que los ladrillos de arcilla, debido al uso del cemento.		Tiene desventajas sobre el costo de fabricación con respecto a los de cemento solo, ya que utiliza material triturado reciclado. pero tienden a ser fácilmente manejables ya que su peso es más liviano que el de un ladrillo tradicional.

Fuente: Autores, 2022

8. Conclusiones

El diseño y construcción de la prensa hidráulica compactadora para la creación de Bloques Lego HDPE, estuvo basada en los gráficos de la máquina CETA-Ram, no obstante, es pertinente señalar que sus medidas fueron diferentes y adaptadas de acuerdo a la cantidad de material disponible.

Al tratar de fabricar los bloques con material plástico PET, el cuál era el plástico contemplado en primera instancia, se pudo constatar que éstos no tienen una buena adherencia con el cemento, por tanto, fue pertinente realizar el cambio de material, por otro tipo de plástico comúnmente usado que es el HDPE.

Se puede concluir que para que los bloques pueden alcanzar una resistencia ideal y/o similar a la de un bloque comercial, éstos deben contar con una proporción mayor de cemento que de agregados, 70% cemento y 30% agregados, y asimismo los agregados deben estar compuestos por partes iguales de arena y plásticos triturados, entre más finos, mejor.

Teniendo en cuenta el análisis de varianza se puede evidenciar que la dosificación de la mezcla influye significativamente en los efectos de los resultados de los ensayos de la resistencia a la compresión realizados a los bloques, rechazándose con esto la hipótesis nula presentada en el proyecto.

De la misma forma, según dicho análisis, los tiempos de curado presentan un efecto significativo en la variación de la resistencia de los bloques, descartando la hipótesis nula planteada previamente.

Para el caso de la interacción entre las dosificaciones de la mezcla y el tiempo de curado, el mencionado análisis, evidencia una significancia importante en esta interacción, con lo cual se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa donde se plantea que existe interacción entre los porcentajes de mezclas del mortero y los tiempos de curado con relación a la resistencia a compresión de los especímenes ensayados.

De acuerdo con el análisis comparativo de las principales propiedades físicas y mecánicas entre los diferentes ladrillos se puede afirmar que los bloques HDPE, presentan ciertas ventajas en lo que se refiere al costo de fabricación con respecto a los de cemento solo, ya que utiliza material reciclado y adicionalmente, tienden a ser fácilmente manejables ya que su peso es más liviano que el de un ladrillo tradicional.

9. Recomendaciones

De acuerdo a lo evidenciado en la ejecución del proyecto, se recomienda que al momento de elaborar los bloques, las partículas de plástico sean trituradas hasta alcanzar 1 cm, ya que esto influye en la adherencia y compactación con los demás materiales.

Se recomienda que al momento de transportar los bloques y de secarlos, éstos se hagan en una superficie plana, sin hendiduras con el fin de que éstos se conserven de la mejor manera posible y no tomen la forma de la superficie en la que se encuentran.

10. Referencias

- Afanador García, Nelson, Gustavo Guerrero Gómez, y Richard Monroy Sepúlveda. «PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LADRILLOS MACIZOS CERÁMICOS PARA MAMPOSTERÍA.» *Redalyc*, 2012: 43-58.
- AFCA. *Cementos de Andalucía*. 2011. <http://www.cementosdeandalucia.org/index.php?cPath=fabricacion&op=2> (último acceso: 06 de 04 de 2018).
- Aquino, D. (2015). Legomania, el gran bloque. Recuperado de: https://issuu.com/studio.daquino/docs/legomania__el_gran_bloque
- Astopilco, A. (2015). *Comparación de las propiedades físico – mecánicas de unidades de ladrillos de concreto y otros elaborados con residuos plásticos de PVC, Cajamarca, 2015*. Obtenido de Repositorio de la Universidad Privada del Norte.: <https://hdl.handle.net/11537/6650>
- Ávila, E. (2016). Tecnología de la construcción. Recuperado de: <https://sites.google.com/site/bi2tdlc1arq5/cimentacion>
- Aznar, A. y Cabanelas, J. (s.f.). Materias primas. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado de: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/quimica-ii/material-de-clase-1/MC-F-005.pdf>
- Azqueta, P. (2017). Aislamiento Térmico. AAPE (Asociación Argentina del Poliestireno Expandido). Recuperado de: <https://grupoestisol.com/wp-content/themes/estisol/documentos/ManualPracticoDeIEPS-interactivo-ENCRIPADO.pdf>
- Borderías, M. y Martín, E. (2011). Medio Ambiente Urbano. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, España.
- Cabellero Meza, Brayan, y Orlando Florez Lengua. *Elaboración de Bloques en cemento reutilizando el plástico Polietilen-Tereftalato (PET) como alternativa sostenible para la construcción*. Cartagena, Colombia: ESCONPAT, 2016.

- Castaño, C. (2013). Los pilares del desarrollo sostenible, sofisma o realidad. Universidad Santo Tomás Abierta y a Distancia. Bogotá D.C.
- CAR s.f, (2016). Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, Plataforma Virtual SIGAM. Contaminación. Recuperado de: <http://sigam.car.gov.co/mod/glossary/showentry.php?eid=273>
- Duvan, P. (2021). *Análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos de arcilla como elemento constructivo proveniente de fábricas ubicadas en la zona norte del departamento del Valle del Cauca en Colombia*. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/8235/An%C3%A1lisis%20comparativo%20de%20las%20propiedades%20f%C3%ADsicas%20y%20mec%C3%A1nicas%20de%20los%20ladrillos%20de%20arcilla%20como%20elemento%20constructivo%20proveniente%20de%20f%C3%A1bricas%2>
- Fernández, L y Gutiérrez, M. (2013). Bienestar Social, Económico y Ambiental para las Presentes y Futuras Generaciones. *Información Tecnológica, Vol. 24(2)*.p. 123.
- Galeano, E. (2018). Definición de una estrategia para fortalecer el reciclaje en la Universidad Católica de Colombia. Bogotá D.C.
- Gallego, A., Garcinuño, R., Morcillo, M. y Vásquez, M. (2018). Química básica. doi: 978-84-362-7496-7
- González, W., y H. Manhini. *Ciencia de los Materiales*. España, 2003.
- Gonzales, R. (2016). *Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto con la incorporación de PET en diferentes porcentajes*. Obtenido de Repositorio de la Universidad Privada del Norte. : <http://hdl.handle.net/11537/11240>
- GREENPEACE. *Plásticos en los Océanos. Datos, Comparativas e Impactos*. Madrid, 2016.
- Hernández, G., Castro, N. y Bohórquez, T. (s.f.). Análisis económico en el mercado del cemento. Recuperado de: <https://www.academia.edu/31638915/Cemento>
- ICONTEC. *Guía Técnica Colombiana GTC 53-2*. Técnico Internacional, ICONTEC, 2004.

- Lara, M. (s.f.). Acerca del PET, El Tereftalato de polietileno. Recuperado de: <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/15405/ANEXO%201-PET.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- LORK INDUSTRIAS. «lorkindustrias.» *lorkindustrias.* 2017. <http://www.lorkindustrias.com/downloads/fichastecnicas/fichaTecnicaPET.pdf> (último acceso: 05 de 04 de 2018).
- Messineo. (2018). *Bloques de cemento: ventajas y desventajas.* Obtenido de <https://messineomateriales.com/noticia/13/bloques-de-cemento-ventajas-y-desventajas>
- Ministerio de Educación MEN, (2008). Aplicación de las normas técnicas colombianas para la certificación de calidad de instituciones y programas de formación para el trabajo. Recuperado de: https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-237704_Documento.pdf
- Molina, S., Vizcaino, A. y Ramírez, F. (2007). Estudio de las características físico - mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el municipio de Acacías (Meta). Universidad de La Salle. Bogotá D.C.
- Murcia, J. y Romero, A. (2016). Diseño de un sistema primario en el proceso de trituración de llantas usadas desalambradas. Fundación Universidad de América. Bogotá D.C.
- Núñez, K. (2019). *Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos artesanales fabricados con arcilla y concreto.* Obtenido de Universidad Privada del Norte, Cajamarca-Perú.
- Pallás, R. (2013). La valoración de las fuerzas de adhesión de sistemas adhesivos autograbantes sobre Dentina Irradiada con Láser de Er,Cr:YSGG. Universitat Internacional de Catalunya.
- Piñeros, M. y Herrera, R. (2018). Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plástico reciclado (PET), aplicados en la construcción de vivienda. Universidad Católica de Colombia. Bogotá D.C.
- QUIMINET. *Quiminet.* 2005. <https://www.quiminet.com/articulos/proceso-de-produccion-del-pet-2561170.htm> (último acceso: 05 de 04 de 2018).
- Rivera, Gerardo. *Concreto Simple.* Popayan: Universidad del Cauca, 2010.

- Russo, R. (2002). Recursos naturales, Uso, Conservación, Sostenibilidad e Investigación. Universidad EARTH, Costa Rica.
- San Andrés, M., R. Chércoles, J.M. De la Roja, y M. Gómez. «Factores responsables de la degradación química de los polímeros. Efectos provocados por la radiación lumínica sobre algunos materiales utilizados en conservación: primeros resultados.» 2010: 24.
- Sepúlveda, M. (s.f.). *Patología de la edificación: En obras de fábrica*. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=OdREDwAAQBAJ&pg=PA16&lpg=PA16&q=>
- Shugulí, C. (2006). Construcción de una prensa hidráulica manual para el montaje y desmontaje de rodamientos rígidos de bolas con diámetro interior desde 20 mm hasta 30 mm. Recuperado de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1540/1/CD-0844.pdf>
- Tchobanoglous , George. *Desechos Sólidos y Principios de Ingeniería y Administración*. California: McGraw Hills, 1990.
- Téllez Maldonado, Alejandra. *La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: Una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá*. Bogotá: IDEA, 2012.
- Turnero, P. (17). *Monografias.com*. Obtenido de Monografias.com.
- UDLA Puebla. «Universidad de las Américas de Puebla.» *Acervos Digitales UDLA*. 2010. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lad/sabag_j_rd/capitulo2.pdf (último acceso: 04 de 04 de 2018).
- United Nations UN. «United Nations.» *Unites Nations UN*. 2016. http://www.un.org/esa/dsd/dsd_aofw_ni/ni_pdfs/NationalReports/colombia/Gestion_de_Residuos-Waste_management.pdf (último acceso: 03 de 04 de 2018).
- Universidad de Costa Rica. «Universidad de Costa Rica.» *KÉRWA REPOSITORIO*. 2010. <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/15405/ANEXO%201-PET.pdf?sequence=2&isAllowed=y> (último acceso: 05 de 04 de 2018).

- Universidad de Granada. «Portal Universidad de Granada.» *Web Dinámica*. 2017. <http://wpd.ugr.es/~bioestad/wp-content/uploads/Factorial-tres-factores.pdf> (último acceso: 08 de 04 de 2018).
- Unal, (2013). Universidad Nacional de Colombia. Residuos posconsumo. Recuperado de: <http://unradio.unal.edu.co/nc/detalle/article/residuos-posconsumo.html>
- Universidad UNE. «Universidad UNE.» *Universidad UNE*. 2018. https://universidad-une.com/contenido/b7e465255_archivo_guia_estudio.pdf (último acceso: 03 de 04 de 2018).
- Zamora, C. (2014). Influencia del uso de fibras de polipropileno Fibromac en la resistencia a la compresión del concreto $f'_c=210$ kg/cm². Universidad Nacional de Cajamarca. Perú. <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/352/T%20693.5%20Z25%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

Anexo A. Informe del fallo de los bloques con las diferentes relaciones utilizadas.

Bloques fallados a los 14 y 28 días (cemento 50% y agregados 50%).

MUESTRA N°	ELEMENTO	FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ROTURA	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	PESO	ÁREA TRANSV.	CARGA MAX.	RESISTENCIA A LA COMPRESION		REFRENDACION	PATRÓN DE FRACTURA	DENSIDAD (kg/m)
				(Días)	(mm)	(mm)	kg	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(psi)			
A1	BLOQUES 1(50% CEMENTO 50% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	950,00	5542	4,21	0,760	110,2	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1490652,1
A1	BLOQUES 1(50% CEMENTO 50% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	943,00	5542		1,112	161,3		0	1479668,3
A1	BLOQUES 1(50% CEMENTO 50% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	1162,00	5542	6,16	0,936	135,8	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1823302,9
A1	BLOQUES 1(50% CEMENTO 50% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	116,0	1160,00	5542	6,81	1,486	215,5	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1804473,6
TOTAL CILINDROS								4						

MUESTRA N°	ELEMENTO	FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ROTURA	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	PESO	ÁREA TRANSV.	CARGA MAX.	RESISTENCIA A LA COMPRESION		REFRENDACION	PATRÓN DE FRACTURA	DENSIDAD (kg/m)
				(Días)	(mm)	(mm)	kg	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(psi)			
A1	BLOQUES 1(50% CEMENTO 50% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	950,00	5542	4,21	0,983	142,6	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1490652,1
A1	BLOQUES 1(50% CEMENTO 50% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	943,00	5542		1,112	161,3		0	1479668,3
A1	BLOQUES 1(50% CEMENTO 50% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	1162,00	5542	6,16	1,047	151,9	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1823302,9
A1	BLOQUES 1(50% CEMENTO 50% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	116,0	1160,00	5542	6,81	1,597	231,6	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1804473,6
TOTAL CILINDROS								4						

Bloques fallados a los 14 y 28 días (cemento 60% y agregados 40%).

MUESTRA N°	ELEMENTO	FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ROTURA	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	PESO	ÁREA TRANSV.	CARGA MAX.	RESISTENCIA A LA COMPRESION		REFRENDACION	PATRÓN DE FRACTURA	DENSIDAD (kg/m)
				(Días)	(mm)	(mm)	kg	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(psi)			
A2	BLOQUES 2(60% CEMENTO 40% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	950,00	5542	4,21	1,229	178,3	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1490652,1
A2	BLOQUES 2(60% CEMENTO 40% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	943,00	5542		1,828	265,1		0	1479668,3
A2	BLOQUES 2(60% CEMENTO 40% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	1162,00	5542	6,16	1,528	221,6	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1823302,9
A2	BLOQUES 2(60% CEMENTO 40% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	116,0	1160,00	5542	6,81	2,078	301,4	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1804473,6
TOTAL								4						

MUESTRA N°	ELEMENTO	FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ROTURA	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	PESO	ÁREA TRANSV.	CARGA MAX.	RESISTENCIA A LA COMPRESION		REFRENDACION	PATRÓN DE FRACTURA	DENSIDAD (kg/m)
				(Días)	(mm)	(mm)	kg	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(psi)			
A2	BLOQUES 2(60% CEMENTO 40% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	950,00	5542	4,21	1,554	225,4	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1490652,1
A2	BLOQUES 2(60% CEMENTO 40% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	943,00	5542		1,828	265,1		0	1479668,3
A2	BLOQUES 2(60% CEMENTO 40% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	1162,00	5542	6,16	1,621	235,1	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1823302,9
A2	BLOQUES 2(60% CEMENTO 40% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	116,0	1160,00	5542	6,81	2,241	325,0	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1804473,6
TOTAL								4						

Bloques fallados a los 14 y 28 días (cemento 65% y agregados 35%).

MUESTRA N°	ELEMENTO	FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ROTURA	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	PESO	ÁREA TRANSV.	CARGA MAX.	RESISTENCIA A LA COMPRESION		REFRENDACION	PATRÓN DE FRACTURA	DENSIDAD (kg/m)
				(Días)	(mm)	(mm)	kg	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(psi)			
A3	BLOQUES 3(65% CEMENTO 35% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	950,00	5542	4,21	1,828	265,1	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1490652,1
A3	BLOQUES 3(65% CEMENTO 35% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	943,00	5542		1,783	258,6		0	1479668,3
A3	BLOQUES 3(65% CEMENTO 35% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	1162,00	5542	6,16	1,805	261,8	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1823302,9
A3	BLOQUES 3(65% CEMENTO 35% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	116,0	1160,00	5542	6,81	2,355	341,6	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1804473,6
TOTAL								4						

MUESTRA N°	ELEMENTO	FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ROTURA	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	PESO	ÁREA TRANSV.	CARGA MAX.	RESISTENCIA A LA COMPRESION		REFRENDACION	PATRÓN DE FRACTURA	DENSIDAD (kg/m)
				(Días)	(mm)	(mm)	kg	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(psi)			
A3	BLOQUES 3(65% CEMENTO 35% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	950,00	5542	4,21	3,361	487,5	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1490652,1
A3	BLOQUES 3(65% CEMENTO 35% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	943,00	5542		1,783	258,6		0	1479668,3
A3	BLOQUES 3(65% CEMENTO 35% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	1162,00	5542	6,16	2,572	373,0	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1823302,9
A3	BLOQUES 3(65% CEMENTO 35% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	116,0	1160,00	5542	6,81	3,122	452,8	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1804473,6
TOTAL								4						

Bloques fallados a los 14 y 28 días (cemento 70% y agregados 30%).

MUESTRA N°	ELEMENTO	FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ROTURA	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	PESO	ÁREA TRANSV.	CARGA MAX.	RESISTENCIA A LA COMPRESION		REFRENDACION	PATRÓN DE FRACTURA	DENSIDAD (kg/m)
				(Días)	(mm)	(mm)	kg	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(psi)			
A4	BLOQUES 4(70% CEMENTO 30% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	950,00	5542	4,21	4,549	659,8	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1490652,1
A4	BLOQUES 4(70% CEMENTO 30% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	943,00	5542		3,099	449,5		0	1479668,3
A4	BLOQUES 4(70% CEMENTO 30% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	1162,00	5542	6,16	3,824	554,6	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1823302,9
A4	BLOQUES 4(70% CEMENTO 30% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	116,0	1160,00	5542	6,81	4,474	648,9	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1804473,6
TOTAL								4						

MUESTRA N°	ELEMENTO	FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ROTURA	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	PESO	ÁREA TRANSV.	CARGA MAX.	RESISTENCIA A LA COMPRESION		REFRENDACION	PATRÓN DE FRACTURA	DENSIDAD (kg/m ³)
				(Días)	(mm)	(mm)	kg	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(psi)			
A4	BLOQUES 4(70% CEMENTO 30% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	950,00	5542	4,21	5,978	867,0	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1490652,1
A4	BLOQUES 4(70% CEMENTO 30% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	943,00	5542		6,228	903,3		0	1479668,3
A4	BLOQUES 4(70% CEMENTO 30% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	1162,00	5542	6,16	6,103	885,2	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1823302,9
A4	BLOQUES 4(70% CEMENTO 30% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	116,0	1160,00	5542	6,81	6,327	917,7	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1804473,6
TOTAL								4						

Bloques fallados a los 14 y 28 días (cemento 80% y agregados 20%).

MUESTRA N°	ELEMENTO	FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ROTURA	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	PESO	ÁREA TRANSV.	CARGA MAX.	RESISTENCIA A LA COMPRESION		REFRENDACION	PATRÓN DE FRACTURA	DENSIDAD (kg/m ³)
				(Días)	(mm)	(mm)	kg	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(psi)			
A5	BLOQUES 5(80% CEMENTO 20% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	950,00	5542	4,21	3,354	486,5	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1490652,1
A5	BLOQUES 5(80% CEMENTO 20% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	943,00	5542		1,904	276,2		0	1479668,3
A5	BLOQUES 5(80% CEMENTO 20% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	115,0	1162,00	5542	6,16	2,629	381,3	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1823302,9
A5	BLOQUES 5(80% CEMENTO 20% AGREGADO)	08/03/2021	22/03/2021	14	84,0	116,0	1160,00	5542	6,81	3,279	475,6	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1804473,6
TOTAL								4						

MUESTRA N°	ELEMENTO	FECHA DE FUNDIDA	FECHA DE ROTURA	EDAD	DIÁMETRO	ALTURA	PESO	ÁREA TRANSV.	CARGA MAX.	RESISTENCIA A LA COMPRESION		REFRENDACION	PATRÓN DE FRACTURA	DENSIDAD (kg/m ³)
				(Días)	(mm)	(mm)	kg	(mm ²)	(kN)	(MPa)	(psi)			
A5	BLOQUES 5(80% CEMENTO 20% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	950,00	5542	4,21	4,553	660,4	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1490652,1
A5	BLOQUES 5(80% CEMENTO 20% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	943,00	5542		5,087	737,8		0	1479668,3
A5	BLOQUES 5(80% CEMENTO 20% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	115,0	1162,00	5542	6,16	4,820	699,1	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1823302,9
A5	BLOQUES 5(80% CEMENTO 20% AGREGADO)	08/03/2021	05/04/2021	28	84,0	116,0	1160,00	5542	6,81	5,141	745,6	TAPAS NO ADHERIDAS (NEOPRENO)	2	1804473,6
TOTAL								4						

Anexo B. Fotografías de los bloques ensayados





Anexo C. Evidencias del proceso de construcción de la máquina compactadora.





