

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS INDUSTRIALES PARA
ALIGERAMIENTO DE CONCRETO.**

DIEGO ALBERTO RIVERA CARREÑO

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA - SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2015**

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS INDUSTRIALES PARA
ALIGERAMIENTO DE CONCRETO.**

DIEGO ALBERTO RIVERA CARREÑO

Trabajo de grado como requisito para optar al título de

INGENIERO AMBIENTAL

DIRECTORA

MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN, Ph.D.

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA
2015**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma de jurado

Firma de jurado

Bucaramanga, Mayo de 2015

Bucaramanga, mayo de 2015

Esta tesis se la dedico a Dios, que con su grandeza me permitió terminar esta fabulosa carrera, la cual me atribuye gran responsabilidad en la protección de la naturaleza, del medio y todo ser creado por Dios.

A mis padres Azucena Carreño Rojas, Alberto Rivera Piedrahita, los cuales depositaron en mí la confianza y la fe para poder terminar esta etapa de mi vida, a ellos que siempre creyeron en mis capacidades, y fortalecieron mi espíritu, se los agradezco de todo corazón, los amo.

A mi hermana, por ser tan linda y especial, sincera, y por tener a mi sobrina Violeta la niña más hermosa de todo el mundo, que en su sonrisa he encontrado el ánimo y las fuerzas para culminar con este proceso.

Mi novia Diana Rincón por creer en mí, acompañarme durante mi vida universitaria en cada momento de felicidad, en los momentos de tristeza, en los obstáculos presentados, gracias por estar presente brindándome su apoyo y su amor incondicional.

A todos muchas gracias.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Pontificia Bolivariana, por brindarme en sus aulas la oportunidad de capacitarme y obtener conceptos y conocimientos, los cuales pondré en práctica durante toda mi vida profesional.

A la Dra. María Fernanda Serrano Guzmán por darme la mano y colaborarme en la realización de esta Tesis, depositando su confianza, su entusiasmo en mí, y demostrando la calidad de persona humana.

A Diana Montero, por colaborarme en la parte de la dosificación y mezclas de las probetas de concreto aligerado en el laboratorio, y contar con su apoyo.

A Sergio Álvarez Naranjo, Laboratorista por ofrecer sus servicios a nuestra disposición y estar presente durante la realización del proyecto y las pruebas realizadas.

Javier Angarita por su amistad brindada y apoyo para colaborarme en las pautas tomadas para la realización del libro.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	10
1. ALCANCE DEL ESTUDIO.....	11
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo General.	12
2.2. Objetivos Específicos.	12
3. ANTECEDENTES.....	13
4. MARCO REFERENCIAL	16
4.1. MARCO CONTEXTUAL	16
4.2. MARCO TEÓRICO	18
4.2.1. Concreto	18
4.2.1.1 Propiedades del concreto	19
4.2.2. Clasificación de concretos según propiedades y características	20
4.2.2.1 Tipos de cemento portland	21
4.2.2.2 Clasificación según consistencia	23
4.2.2.3 Clasificación según tiempo de fraguado	25
4.2.2.4 Clasificación según durabilidad	26
4.2.2.5 Clasificación según apariencia	28
4.2.2.6 Clasificación según el sistema de colocación y compactación	28
4.2.3. Concretos con aligerantes	30
4.2.4. Antecedentes (origen, historia)	31
4.2.5. Tipos de Concretos livianos	32
4.2.5.2 Concreto sin fino	38
4.2.5.3 Concreto Aireado	38
4.2.6. Características técnicas de los concretos livianos.	39
4.2.7. Uso de la Cascarilla de Arroz como Agregado en el Concreto	41
4.2.8. Eco-ladrillo	43
4.2.8.1 Eco-ladrillos en Colombia	43
4.2.8.2 Tipos de plásticos	43
5. METODOLOGÍA.....	45
5.1. Fase 1. Identificar Residuos Industriales utilizables como materiales aligerantes en la fabricación de ecoladrillos.	45
5.2. Fase 2. Plantear una clasificación de mezclas de concreto aligerado, elaborado con residuos plásticos y aligerados.	48
5.3. Fase 3. Realizar las pruebas mecánicas de carga a los ecoladrillos elaborados con residuos plásticos y aligerados.	50

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	51
6.1. Caracterización de las cafeterías de la Universidad Pontificia Bolivariana.	51
6.2. Clasificación de mezclas de concreto aligerado, elaborado con residuos plásticos y aligerados	55
6.2.1. Mezclas de concreto testigo, y concretos aligerados con los agregados livianos, para elaboración de probetas.	56
6.2.2. Pruebas mecánicas de carga a las probetas aligeradas.	59
6.3. Pruebas mecánicas de carga a los ladrillos elaborados con residuos plásticos y aligerados.....	71
6.3.1. Pruebas de resistencia a la compresión a los ecoladrillos elaborados con residuos plásticos y aligerados.	75
7. CONCLUSIONES.....	82
8. RECOMENDACIONES	83
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Localización de los residuos.</i>	17
<i>Figura 2. Residuos generados en cafeterías de la Universidad Pontificia Bolivariana.</i>	17
<i>Figura 3 Curva típica de correspondencia entre la resistencia media a la compresión y la relación agua-cemento del concreto a diferentes edades.</i>	20
<i>Figura 4 Clasificación de los tipos de plásticos</i>	44
<i>Figura 5 Sitio de almacenamiento de residuos ordinarios Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.</i>	46
<i>Figura 6. Poliestireno Expandido.</i>	47
<i>Figura 7 Recolección de poliestireno expandido.</i>	47
<i>Figura 8. Lavado de bandejas de poliestireno expandido.</i>	48
<i>Figura 9. Caracterización cuantitativa de los residuos.</i>	53
<i>Figura 10 Caracterización de los residuos reciclables.</i>	54
<i>Figura 11 Caracterización de los residuos Biodegradables.</i>	54
<i>Figura 12 Caracterización de residuos ordinarios e inertes.</i>	55
<i>Figura 13 Dimensiones probetas.</i>	56
<i>Figura. 14 Resultados pruebas de resistencia a la compresión de Testigo.</i>	60
<i>Figura 15. Resultados pruebas de resistencia a la compresión Probetas con Aserrín.</i>	62
<i>Figura 16. Resultados pruebas de resistencia a la compresión probetas con aserrín +10% C.</i>	63
<i>Figura 17 Resultados pruebas de resistencia a la compresión probetas con Cascarilla de Arroz.</i>	65
<i>Figura 18 Resultados pruebas de resistencia a la compresión con cascarilla de arroz +10% de cemento.</i>	66
<i>Figura. 19 Resultados pruebas de resistencia a probetas con poliestireno expandido 20%.</i>	68
<i>Figura 20. Resultados pruebas de resistencia a probetas con poliestireno expandido 40%.</i>	69
<i>Figura 21. Comparación de resistencias obtenidas entre el testigo, y los residuos aligerantes.</i>	70
<i>Figura 22 Dimensiones de ecoladrillo</i>	71
<i>Figura 23. Resultados pruebas de resistencia de compresión a ecoladrillos testigos.</i>	76
<i>Figura 24 Resultados pruebas de resistencia a ecoladrillos aligerados con aserrín 30%.</i>	77
<i>Figura 25. Resultados pruebas de resistencia a ecoladrillos aligerados con cascarilla de arroz.</i>	78
<i>Figura 26 Resultados pruebas de resistencia a ecoladrillo aligerados con EPS 10%.</i>	79
<i>Figura 27 Comparación entre resistencias testigo y con ecoladrillos.</i>	80
<i>Figura 28 Comparación de pesos entre el testigo y los ecoladrillos aligerados con residuos.</i>	81

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Antecedentes para la investigación de la elaboración de ecoladrillos con concreto aligerado.</i>	13
<i>Tabla 2. Clasificación de las mezclas de cemento portland hidráulico.</i>	21
<i>Tabla 3 Clasificación del cemento portland.</i>	21
<i>Tabla 4 Mortero y tipos de morteros.</i>	22
<i>Tabla 5 Clase de mortero según el módulo de finura de la arena.</i>	22
<i>Tabla 6: clasificación del concreto según tamaño máximo del agregado.</i>	23
<i>Tabla 7 clasificación del concreto según consistencia de la mezcla en estado fresco, para diversos tipos de construcción, y de sistemas de colocación y compactación.</i>	24
<i>Tabla 8 Clasificación del mortero según consistencia de la mezcla en estado fresco, para diversos tipos de construcción, y sistemas de colocación y compactación.</i>	25
<i>Tabla 9 Clasificación de concretos según tiempos de fraguado.</i>	26
<i>Tabla 10 Tipos de concreto según resistencia a la compresión.</i>	26
<i>Tabla 11 Agregados livianos naturales.</i>	32
<i>Tabla 12 Agregados livianos de subproductos industriales.</i>	34
<i>Tabla 13 Agregados livianos de materiales naturales procesados.</i>	36
<i>Tabla 14 Tipos de agregados naturales para aligeramiento del concreto.</i>	37
<i>Tabla 15 caracterización de los residuos ordinarios de las cafeterías de los edificios A y G.</i>	52
<i>Tabla 16 Relación de cemento con los agregados.</i>	56
<i>Tabla 17 Cantidad de cemento y agregados para un concreto normal.</i>	57
<i>Tabla 18 Cantidades de cemento y agregados para probetas con aserrín</i>	57
<i>Tabla 19 Cantidades de cemento y agregados para probetas con aserrín más 10% de cemento</i>	57
<i>Tabla 20 Cantidades de Cemento y agregados para probetas con cascarilla de arroz.</i>	58
<i>Tabla 21 Cantidades de cemento y agregados para probetas con cascarilla de arroz más 10 % más de cemento.</i>	58
<i>Tabla 22 Cantidad de cemento y agregados para probetas con EPS al 20%.</i>	59
<i>Tabla 23 Cantidad de cemento y agregados para probetas con EPS al 40%.</i>	59
<i>Tabla 24 Pesos especímenes de prueba Testigo.</i>	60
<i>Tabla 25 resultados pruebas de resistencia de las probetas testigo.</i>	60
<i>Tabla 26 Pesos especímenes agregado liviano aserrín.</i>	61
<i>Tabla 27 Resultados pruebas de resistencia de las probetas aligeradas con aserrín.</i>	61
<i>Tabla 28 Pesos especímenes agregado liviano con 10% más de cemento.</i>	62
<i>Tabla 29 Resultados pruebas de resistencia a Probetas con aserrín + 10% más de cemento.</i>	63
<i>Tabla 30 Pesos especímenes agregado liviano con cascarilla de arroz.</i>	64
<i>Tabla 31. Resultados pruebas de resistencia a probetas con cascarilla de arroz.</i>	64
<i>Tabla 32 Pesos especímenes agregado liviano con cascarilla de arroz más 10% de cemento.</i>	65
<i>Tabla 33 Resultados pruebas de resistencia a probetas con cascarilla de arroz + 10% más de cemento.</i>	66
<i>Tabla 34. Pesos especímenes con agregado liviano poliestireno expandido 20%.</i>	67
<i>Tabla 35 Resultados pruebas de resistencia a probetas con poliestireno expandido 20%.</i>	67
<i>Tabla 36. Pesos especímenes con agregado liviano poliestireno expandido 40%.</i>	68
<i>Tabla 37. Resultados pruebas de resistencia a probetas con poliestireno expandido 40%.</i>	69
<i>Tabla 38 Comparación entre las fuerzas soportadas por las probetas entre el testigo, y los residuos aligerantes.</i>	70
<i>Tabla 39 Cantidad de cemento y agregados para ecoladrillo con aserrín.</i>	73
<i>Tabla 40 Cantidad de cemento y de agregados para ecoladrillo con cascarilla de arroz.</i>	74
<i>Tabla 41 Cantidades de Cemento y agregados para ecoladrillo con EPS.</i>	75
<i>Tabla 42 Resultados pruebas de resistencia de compresión a ecoladrillos testigo.</i>	75
<i>Tabla 43 Resultados de pruebas de resistencia a la compresión aligerados con aserrín 30%.</i>	76
<i>Tabla 44 Resultados de pruebas de resistencia a la compresión de ecoladrillos aligerados con cascarilla de arroz 30%.</i>	78
<i>Tabla 45 Resultados de pruebas de resistencia a la compresión a ecoladrillos aligerados con poliestireno expandido 10%.</i>	79
<i>Tabla 46 Comparación entre las fuerzas a la compresión resistidas por los ecoladrillos aligerados con residuos.</i>	80

Tabla 47 Comparación entre los pesos obtenidos entre el testigo y los residuos aligerantes.....81

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS INDUSTRIALES PARA ALIGERAMIENTO DE CONCRETO.

AUTOR(ES): DIEGO ALBERTO RIVERA CARREÑO

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN

RESUMEN

Este trabajo de grado se basó en el aprovechamiento de residuos industriales, para el aligeramiento de concreto, y la fabricación de ecoladrillos. Se fijó el objetivo de buscar un compuesto que sirva de aligerante para el concreto haciéndose necesario el análisis del comportamiento mecánico del concreto aligerado, en probetas y en ecoladrillos. Durante el proceso se identificaron los residuos industriales que se utilizaron para aligerar el concreto, tales como cascarilla de arroz, aserrín, y poliestireno expandido de los cuales las industrias generan gran cantidad, y serán utilizadas en la realización de este proyecto. Se estableció un diseño de mezcla entre los residuos aligerantes y el material cementante, se empleó en todo momento con el criterio del menor peso fabricando 6 probetas por cada tipo de residuo, comenzando con el testigo, y haciendo una variación de 10 % más de cemento en el aserrín y la cascarilla de arroz, para el poliestireno expandido se hicieron dos dosificaciones del 10% y el 20 % de cemento haciendo un total de 42 cilindros. Los especímenes de concreto fueron ensayados a compresión y se observó que el mejor comportamiento se obtuvo con la mezcla de 10% más de cemento, y con el poliestireno expandido con la mezcla del 20%. Con los mejores resultados se fabricaron 40 ecoladrillos 10 de cada tipo de material aligerante y 10 de concreto normal, de los cuales 20 fueron ensayados a compresión por 7 días y los otros 20 a los 28 días. Estos ecoladrillos fueron el producto final de la investigación y según los resultados los especímenes obtuvieron muy baja densidad y alta porosidad, lo que los convierte en materiales ideales para aislamiento térmico y acústico, es decir para aplicaciones arquitectónicas más no estructurales.

PALABRAS CLAVES:

Aligerante, Ecoladrillo, Agregado, Concreto, Poliestireno expandido, Compresión.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF DEGREE WORK

TITLE: UTILIZATION OF INDUSTRIAL WASTE FOR LIGHTENING CONCRETE

AUTHOR(S): DIEGO ALBERTO RIVERA CARREÑO

FACULTY: Faculty Environmental Engineering

DIRECTOR: MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN

ABSTRACT

This degree work was based on the utilization of industrial waste, for lightening concrete, and manufacturing ecoladrillos. In order to find a compound that serves as lightening for concrete making it necessary to analyze the mechanical behavior of lightened specifically, specimens and ecoladrillos was fixed. During the process industrial waste being used to lighten the concrete such as rice husk, sawdust, and expanded polystyrene which industries generate wealth, and will be used in this project was identified. Design mix between lightening waste and cementitious material was established, it worked at all times with the criterion of less weight making six specimens for each type of waste, starting with the witness, and doing a variation of 10% cement in the sawdust and rice husks, expanded polystyrene for two dosages were 10% and 20% cement making a total of 42 cylinders. The concrete specimens were tested for compression and it was observed that the best performance was obtained with the mixture of 10% cement, and expanded polystyrene with the mixture of 20%. High Performer 40 ecoladrillos 10 each type of lightening equipment and 10 normal concrete, of which 20 were tested in compression for 7 days and another 20 to 28 days were made. These ecoladrillos were the end product of research, and according to the results obtained specimens very low density and high porosity which makes them ideal materials for thermal and acoustic insulation, for most non-structural architectural applications.

KEYWORDS:

Lightening, Aggregate, Concrete Lightened, expanded polystyrene, Test Tube, Compressive Strength

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos industriales y la inadecuada disposición de estos, han ocasionado un impacto negativo al medio ambiente por cuanto la mayor parte de estos residuos tiene un tiempo de degradación alto. Este hecho repercute en una mayor permanencia de los residuos, como resultado una alta probabilidad de contaminación del suelo-agua-aire, así como de todos los organismos que interactúen en un medio contaminado.

La mayor parte de los productos, elaborados en la actualidad están contruidos por compuestos químicos de valiosas características y propiedades indispensables para su adecuado funcionamiento, no obstante cada producto, bien o servicio que se consume representa la generación de nuevos contaminantes de mayor dificultad para su tratamiento y un incremento en la cantidad de residuos que se dispondrán en el relleno sanitario.

En Bucaramanga y su área metropolitana se viene generando un alto crecimiento en la industria de la construcción, lo cual ha permitido el desarrollo de proyectos de viviendas, edificios, centros comerciales, propiciando un mejor nivel de vida, generación de empleo y oportunidades para la comunidad. Sin embargo, igualmente ha aumentado la proporción de los residuos tanto de la construcción, como de los residuos ordinarios generados.

El fin último de este proyecto, es viabilizar el uso de algunos de los residuos industriales para la preparación de concreto aligerado utilizable en ecoladrillos. Específicamente, para la elaboración de éstos se ha empleado la cascarilla de arroz, el aserrín y el poliestireno expandido, que son residuos que en principio no tienen ningún tipo de reúso.

Se proponen estrategias de dosificación de mezclas de concreto que permitan un aprovechamiento adecuado para el uso de estos residuos en los mampuestos aligerados. Este estudio realizado en la Universidad Pontificia Bolivariana da continuidad a otro iniciado por el Ing. Néstor Hernández, titulado "Evaluación Mecánica de ecoladrillos elaborados con residuos plásticos en el año 2014".

Teniendo en cuenta los resultados de dicho estudio, se acordó realizar una clasificación de los residuos generados en las cafeterías, con el fin de recuperar el poliestireno expandido proveniente de los contenedores de alimentos y de bebidas de la Universidad Pontificia Bolivariana. La cascarilla de arroz fue adquirida de un proveedor en Bucaramanga (Surticampo), mientras que el aserrín se consiguió en el aserrío de Chimitá Santander.

1. ALCANCE DEL ESTUDIO

Con el fin de establecer el alcance del estudio para el aprovechamiento de residuos industriales, se acordó la fabricación de ecoladrillos aligerados para realizarles pruebas de resistencia a la compresión, y establecer que residuo aligerante es más conveniente.

Para ello, se tuvieron en cuenta los residuos procedentes de las cafeterías del edificio A y del edificio G, y los residuos generados por las empresas que pueden aligerar el concreto. Se fabricaron 42 probetas para hacer una primera comparación y hallar las mejores dosificaciones para la elaboración de los ecoladrillos, se hicieron 20 especímenes 5 con concreto normal, 5 con aserrín, 5 con cascarilla de arroz, y 5 con poliestireno expandido.

Se acordó trabajar con los resultados obtenidos a los 7 días, con el criterio técnico que aquellos especímenes que no cumplen la resistencia en dicho periodo de tiempo no cumplen la resistencia a los 28 días. Se establece la importancia del aprovechamiento de los residuos utilizados en este estudio incluyéndolos en el ciclo de vida para la elaboración de ecoladrillos, obteniendo un material para construcción de buena calidad.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General.

Evaluar el uso de residuos sólidos como aligerantes en ecoladrillos con residuos plásticos.

2.2. Objetivos Específicos.

Identificar residuos industriales utilizables como materiales aligerantes en la fabricación de ecoladrillos.

Plantear una clasificación de mezclas de concreto aligerado, elaborado con residuos plásticos y aligerados.

Realizar las pruebas mecánicas de carga a los ladrillos elaborados con residuos plásticos y aligerados.

3. ANTECEDENTES

En la academia se han realizado diferentes trabajos experimentales sobre el aligeramiento concreto con aprovechamiento de residuos y la construcción de ecoladrillos lo cual ratifica la importancia del tema a nivel de ingeniería de materiales. En la tabla 1 se resumen los estudios relacionados con el tema de este trabajo de grado en universidades del área metropolitana de Bucaramanga. Una mayor descripción de las condiciones abordadas se encuentra en apartes posteriores.

Tabla 1 Antecedentes para la investigación de la elaboración de ecoladrillos con concreto aligerado.

Fecha	Autor	Título	Lugar del Estudio
1970	Henry López Morantes	"Posible utilización de la cascarilla del arroz como agregado en el concreto liviano "	UIS
1975	Leopoldo Carvajal Niño Jairo Iván Loaiza Camargo	"Preparación y caracterización de concreto ligero(agregado liviano: cascarilla de arroz) impregnado con poliestireno"	UIS
1992	Cesar Augusto Sarmiento Salas Edgar Fernando Herrera Rojas.	Propiedades mecánicas del concreto aligerado con cascarilla de arroz adicionándole fibras poliméricas	UIS
1995	Jairo Gutiérrez de Piñeres	Posible aplicación del bagazo de la caña de azúcar calcinado en la elaboración de elementos estructurales y no estructurales del concreto aligerado.	UIS
2001	Arias A, Martínez L	Uso de fibras de polipropileno y plásticos reciclados en pavimentos de concreto "fibro concreto"	UPB
2004	Tejada, Julio	Recuperación y Reciclado de EPS (icopor) con su respectiva aplicación en el ámbito de la construcción	Universidad de Medellín
2005	Delgado H, Sánchez H.	Análisis del comportamiento mecánico de un concreto aligerado con la corteza que contiene las semillas del pino cupressus sempervirens	UPB
2012	Agreda T, Luis X, Keiner A , Magin A	Análisis de Propiedades mecánicas del mortero modificado a base de residuos industriales, para ser usado en elementos estructurales y no estructurales.	Universidad del Oriente de Venezuela
2013	Néstor Hernández	Evaluación mecánica de ecoladrillos elaborados con residuos plásticos	UPB

Durante la historia la necesidad de protección y de refugio ha hecho que el ser humano diseñe sus viviendas dependiendo de las condiciones geográficas y de los materiales que el medio le brinda a su alrededor, utilizando el recurso suelo y otros tipos de materiales como el concreto, para la fabricación de ladrillos. En la actualidad, se están generando diversos tipos de proyectos donde incorporan distintos tipos de residuos ordinarios e industriales a la cadena de producción, mezclándolos con otros tipos de materia prima como lo es el concreto, creando un nuevo producto con características mejoradas y al final se tiene un ladrillo más ligero que el común.

Existen diferentes proyectos adelantados a escala laboratorio en los cuales se han preparado mezclas de concreto aligerados y otros en los cuales se han elaborado utilizando materiales de construcción con residuos reciclados.

Arias y Martínez (2001) en la Universidad Pontificia Bolivariana, realizaron la investigación sobre el Uso de fibras de polipropileno y plásticos reciclados en pavimentos de concreto "fibro-concreto". El trabajo de investigación comprendió el diseño de una mezcla de concreto hidráulico como estructura de un pavimento para una resistencia determinada. Para ello, se hizo una clasificación y evaluación física y química de los materiales empleados en la fabricación del concreto. Las fibras usadas son el polipropileno virgen, nacional e importado, fibras de plástico reciclado botellas de PET (polietileno tereftalato). Se realizaron ensayos para evaluar las características del fibroconcreto tales como manejabilidad, masa unitaria y rendimiento, ensayos a compresión y a flexión agrietamiento, permeabilidad, absorción y porosidad.¹ (Arias & Martinez, 2001)

Tejada (2004) en su estudio Recuperación y reciclado de EPS (icopor) con su respectiva aplicación en el ámbito de la construcción (CORPORACIÓN Profesionales Boston) reportó que el uso del poli estireno expandido mejoraba las ventajas en la relación entre calidad y precio, técnica ampliamente difundida en Noruega y Dinamarca por las excelentes calidades de aislamiento térmico que este material presenta.² Este hecho, favorece los sistemas constructivos actuales ya que se busca niveles de exigencia de ahorro de energía y protección al medio ambiente¹.

Delgado y Sánchez (2005) realizaron el análisis del comportamiento mecánico de un concreto aligerado con la corteza que contiene las semillas del pino cupressus sempervirens encontrando comportamientos favorables en su capacidad a compresión³. Con este estudio, los autores recalcaron la importancia de brindar una solución a una problemática de exceso de semillas por medio del avance científico de una especialidad como lo es la ciencia del concreto, generando un nuevo pensamiento de materiales para el futuro.

¹Arias A, Martínez L, (2001), Universidad Pontificia Bolivariana, Uso de fibras de polipropileno y plásticos reciclados en pavimentos de concreto " fibro-concreto"

² Tejada, Julio (2004). Recuperación y Reciclado de EPS (icopor) con su respectiva aplicación en el ámbito de la construcción (Corporación Profesional de Boston) Universidad de Medellín, Colombia

³ Delgado H, Sánchez H, (2005), Análisis del comportamiento mecánico de un concreto aligerado con la corteza que contiene las semillas del pino cupressus sempervirens, Universidad Pontificia Bolivariana.

(Agreda, Luis, Magin, & Keiner, 2012), en la Universidad de Oriente de Venezuela, realizaron un estudio sobre el Análisis de la Propiedades mecánicas del mortero modificado a base de polietileno de baja densidad (PEBD), realizándose diferentes tipos de ensayos para el mortero tanto fresco como endurecido tales como asentamiento, absorción, fraguado, adherencia, resistencia al fuego, peso volumétrico, contenido de aire y resistencia a la compresión. ⁴ (Agreda, Luis, Magin, & Keiner, 2012)

Hernández N, (2013), en la Universidad Pontificia Bolivariana se realizó la evaluación mecánica de Ecoladrillos elaborados con residuos plásticos, donde se identificaron los materiales para la fabricación del ecoladrillo. Una vez seleccionados los residuos viables a utilizar se procedió a la realización de un prototipo de ladrillo por cada residuo. La evaluación mecánica de los residuos se llevó a cabo en los laboratorios de ingeniería civil en donde se elaboraron muretes de 2 unidades que fueron ensayados a compresión con resultados favorables. ⁵

Se puede concluir, que es evidente la necesidad de darle un valor a los residuos industriales, aprovechándolos y dándoles un uso en el proceso de investigación, y sobre todo colaborando en gran parte a la disminución de residuos que se dispondrán en el relleno sanitario, contribuyendo a la emergencia sanitaria la cual vive el área metropolitana, generando gestión integral de residuos sólidos, elaborando un producto el cual se pueda utilizar para elaborar materiales de construcción para aislamiento térmico y acústico.

⁴ Agreda T, Luis X, Keiner A, Magin A, (2012), Universidad de Oriente de Venezuela, Análisis de la Propiedades mecánicas del mortero modificado a base de residuos industriales, para ser usado en elementos estructurales y no estructurales.

⁵ Hernández N, (2013), Evaluación mecánica de Ecoladrillos elaborados con residuos plásticos, Universidad Pontificia Bolivariana.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. MARCO CONTEXTUAL

El área Metropolitana de Bucaramanga ha venido presentando un gran crecimiento en el sector de la construcción permitiendo un impulso en el desarrollo de proyectos de vivienda, comercio y servicios favoreciendo el aumento de industrias y empresas en la región, lo que se traduce en un impacto positivo debido a la generación de empleos y oportunidades para la población.

Sin embargo, en la industria se generan grandes desperdicios de productos, de los cuales en un alto porcentaje se re-usan pero gran parte se queda sin reutilizarse, generando un problema tanto para la empresa como para la comunidad y el sitio de disposición final.

Gran cantidad de estos residuos se encuentran en la industria arrocera, la cual genera una cantidad importante de su residuo cascarilla de arroz, más conocido como tamo. En Bucaramanga, un 50% de este residuo es utilizado en la retención humedad de terrenos de cultivos, un 10% en pisos de galpones de gallinas y el restante 40% no se reutiliza, creando una gran problemática con este residuo. (Sarmiento Salas & Herrera Rojas, 1992)

La Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga genera gran cantidad de residuos sólidos, los cuales es necesario caracterizarlos y darle un reúso adecuado, dentro de este proyecto se busca incorporar los residuos que sean utilizables para aligerar el concreto. Uno de estos residuos que se pueden utilizar para este fin según la literatura es el icopor el cual se genera en la universidad, aunque se están implementando otras alternativas como platos de porcelana, o bandejas de plásticos.

Con relación los residuos de icopor, estos son recolectados por el personal de mantenimiento todos los días en el horario del medio día, Posteriormente, son retirados por la empresa recolectora de los residuos para depositarlos en el relleno sanitario el Carrasco, donde existe una gran problemática ambiental por la vida útil del relleno. La caracterización de los residuos se realizó en dos cafeterías de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, siendo las localizadas en el edificio A y la el edificio G.

La preparación del concreto se diseñó en los laboratorios de Ingeniería Civil en el edificio K 210 de la Universidad Pontificia Bolivariana, en donde se realizó la mezcla del concreto, haciendo 42 probetas con los tres tipos de residuos y un

control o testigo. Con los mejores resultados se prepararon los ecoladrillos con estos mismos materiales incluyendo la fabricación de un blanco o testigo.

En la figura 1 se puede evidenciar que se da una segregación en la fuente, con tres tipos de bolsas. Estos residuos cuentan con un cuarto de almacenamiento, lo cual es de gran ayuda para no dejar los residuos a la intemperie.

Figura 1. Localización de los residuos.



Fuente: el autor.

En la figura 2 se observa una bolsa de la cafetería del edificio G con gran cantidad de bandejas de icopor o poliestireno expandido.

Figura 2. Residuos generados en cafeterías de la Universidad Pontificia Bolivariana.



Fuente: el autor.

4.2. MARCO TEÓRICO

Día a día la exigencia en los procesos constructivos en las estructuras de concreto reforzado, exige contar con un mayor conocimiento y una permanente actualización en función de optimizar las propiedades de los materiales y la mecánica de sus procesos. (Sánchez, Concretos y Morteros, 2001)

4.2.1. Concreto

El concreto u hormigón como se conoce, es la mezcla entre un material cementante (a base de pulverización de Clinker portland) agregados pétreos como son arena, grava y agua, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. (Sánchez, Concretos y Morteros, 2001)

Es el material más utilizado en la construcción, esto debido a sus propiedades mecánicas que son capaces de aguantar o resistir grandes esfuerzos a base de compresión. Su uso se remonta a épocas antiguas, desde los Babilónicos, pasando por la edad Egipcia y Maya, los seres humanos vieron la necesidad de pegar las diferentes piezas que armaban las estructuras de su época. Algunos usaron arcilla, otros como los romanos usaron ceniza volcánica con caliza como material cementante, e incluso los egipcios llegaron a usar el mortero como se conoce hoy en día la combinación entre arena y mezcla cementosa.

Tal vez el dato más exacto de empleo de materiales cementantes se remonta hacia el año 2690 A.C. cuando los egipcios construyeron la pirámide de Gizeh, en donde los bloques de piedra de esta obra de cuarenta pisos fueron hechos de un mortero echo de yeso calcinado impuro y arena. (Sánchez , Tecnologia del Concreto y del Mortero, 2001).

El cemento es un material pulverulento que por sí mismo no es aglomerante, y que mezclado con agua, al hidratarse se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, y que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo. El cemento consiste principalmente en Silicato Cálcico hidratado (S-C-H), este compuesto es el principal responsable de sus características adhesivas.

Posteriormente, en manos de los ingenieros y de múltiples investigadores, la tecnología del concreto nació en los albores del presente siglo y alcanzó paralelamente al estudio del concreto reforzado la importancia transcendental que tiene en la técnica constructiva de la civilización industrializada que hoy conocemos, por tal motivo es llamada la piedra del siglo XX. (Sánchez , 2001)

La selección de componentes, el diseño, la producción, la colocación, y el manejo de mezclas de concreto y de mortero se han sofisticado a tal punto que

fácilmente y sin mayores costos se pueden obtener toda suerte de tipos de mezclas con el grado requerido de manejabilidad que al fraguar y endurecer a la velocidad apropiada, adquieren propiedades como: resistencia, durabilidad, peso unitario, estabilidad de volumen y apariencia.

4.2.1.1 Propiedades del concreto

- **Concreto fresco**

Debido a que todas las propiedades del concreto en estado endurecido dependen en mayor o en menor grado de sus características en estado fresco, en lo que se refiere a los procesos de mezclado, transporte, colocación, compactación y terminado. A continuación, se plantean las más importantes propiedades del concreto fresco.

- **Manejabilidad**

Según el comité de ACI, la manejabilidad también conocida como trabajabilidad, se considera como aquella propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente y para ser terminado sin segregación dañina alguna.

- **Consistencia**

La consistencia se refiere a su estado de fluidez, es decir, qué tan dura (seca) o blanda (fluida) es una mezcla de concreto cuando se encuentra en estado plástico, por lo cual se dice que es grado de humedad de la mezcla.

- **Plasticidad**

Se denomina como "plasticidad" a una consistencia del concreto tal que pueda ser fácilmente moldeado, pero que le permita al concreto fresco cambiar de forma lentamente si se saca el molde. Por tal razón, no puede considerarse como mezcla de consistencia plástica ni las muy secas ni las muy fluidas. (Sánchez , Tecnología del Concreto y del Mortero, 2001)

- **Resistencia del concreto**

La resistencia del concreto se determina por la cantidad neta de agua utilizada por cantidad unitaria de cemento, esto es lo que se conoce hoy en día como la relación "agua-cemento", la cual está dada en peso. Duff Abrams en 1918 propuso la siguiente expresión de tipo exponencial para hallar la resistencia de

un concreto compactado a una edad dada la cual es inversamente proporcional a la relación agua-cemento.

Abrams propuso la siguiente expresión de tipo exponencial, representada en la ecuación 1.

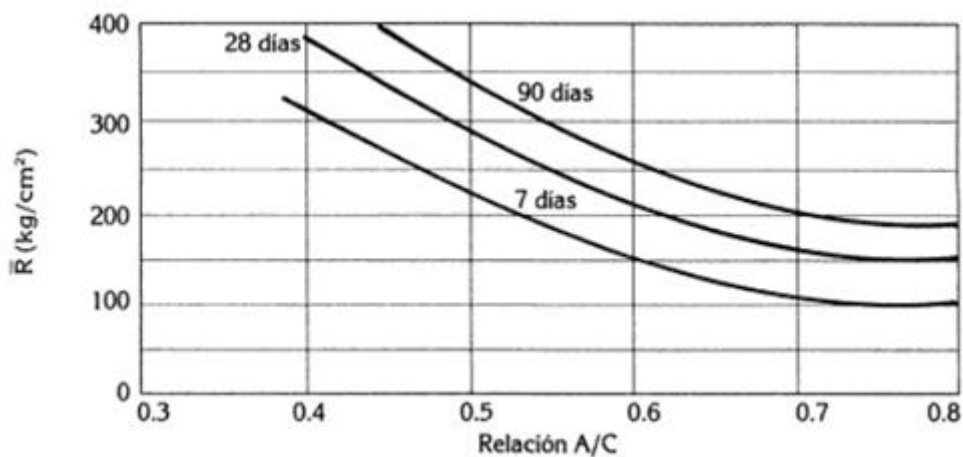
$$R = \frac{A}{B^{\alpha}}$$

Ecuación 1

Donde R= es la resistencia media a la compresión en Kg/cm²
A y B =son constantes empíricas que dependen de la calidad y tipo de cemento, las propiedades de los agregados, los aditivos, y las condiciones de ensayo,
 α = es la relación agua cemento en peso.

En la figura 3, se representa gráficamente la curva entre la relación agua cemento y la medida media a la compresión de diferentes edades.

Figura 3 Curva típica de correspondencia entre la resistencia media a la compresión y la relación agua-cemento del concreto a diferentes edades.



Fuente: (Sánchez , Tecnología del Concreto y del Mortero, 2001)

4.2.2. Clasificación de concretos según propiedades y características

- **Cemento Portland**

El cemento portland en general al cambiar su composición química y sus propiedades físico-mecánicas se pueden obtener características diferentes cuando se hidrata, dando lugar a diferentes tipos de cemento. En Colombia, las normas Icontec sobre cemento están basadas en las normas de las ASTM de los Estados Unidos y en la norma NTC 30.

Se puede clasificar los concretos y morteros según sus propiedades y características, según su grado de especialidad, según el sistema de colocación y compactación empleadas. Esta clasificación no es definitiva, es un

intento por mostrar los tipos de concretos y morteros utilizados en Latinoamérica y especialmente en Colombia. (Sánchez, concretos y morteros manejo y colocación en obra, 2001).

Un ejemplo de esto se presenta en la tabla 2 en donde según la participación y proporción de cada uno de los ingredientes y utilizando como parámetro de clasificación el tamaño máximo de agregado empleado, se obtiene el punto de partida básico para definir términos y tipos de mezclas de cemento portland hidráulico.

Tabla 2. Clasificación de las mezclas de cemento portland hidráulico.

Componente	Tamaño de las partículas(mm)	Denominación más corriente	Proporción aproximada en volumen	Definición de términos
Materiales cementantes	Menos de 0.060	Cemento Portland, adiciones	7 % - 15 %	Pasta de Cemento
Agua	----	Agua	14 % - 18 %	
Aire	----	Atrapado o incluido	4% - 8%	
Agregado fino	0.002 – 0.074 0.074 – 4.76	Limo Arena	0% - 5% 24% - 27%	Pasta + A. Fino = mortero
Agregado grueso	4.76 – 19.10 19.10 – 50.80 50.80 – 152.40	Gravilla Grava Piedra	31% - 47%	Mortero + A. Grueso = Concreto

Fuente:(Sánchez, concretos y morteros manejo y colocación en obra, 2001)

4.2.2.1 Tipos de cemento portland

La tabla 3 presenta los tipos de cemento portland donde se puede observar la descripción del uso para cada uno de ellos.

Tabla 3 Clasificación del cemento portland

Cemento Portland tipo 1.	Es el destinado a obras de hormigón en general, al que no se le exigen propiedades especiales.
Cemento Portland tipo 1 – M.	Es el destinado a obras de hormigón en general, al que no se le exigen propiedades especiales pero tiene resistencias superiores a las del tipo 1.
Cemento Portland tipo 2.	Es el destinado en general a obras de hormigón expuestas a la acción moderada de sulfatos y a obras en donde se requiere moderado calor de hidratación.
Cemento Portland tipo 3.	Es el que desarrolla altas resistencias iniciales.
Cemento Portland tipo 4.	Es el que desarrolla bajo calor de hidratación.
Cemento Portland tipo 5.	Es el que ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos.
Cemento Portland tipo blanco.	Es el que se obtiene con materiales debidamente seleccionados que le confieren una coloración blanca.
Cemento Portland con	Son aquellos a los que se les adiciona un material

incorporaciones de aire.	incorporador de aire durante la pulverización.
Cemento Portland tipo 1- A	Es el cemento portland tipo 1 al cual se le adiciona un material incorporador de aire.
Cemento Portland 1- M A	Es el cemento portland tipo 1-M al cual se le adiciona un material incorporador de aire.
Cemento Portland tipo 2- A	Es el cemento portland tipo 2, de moderado calor de hidratación, al que se le adiciona un material incorporador de aire.
Cemento Portland tipo 3- A	Es el cemento portland tipo 3, al cual se le agrega un material incorporador de aire.

Fuente:(Sánchez , 2001)

Así mismo, la tabla 4 menciona los diferentes tipos de morteros donde se pueden apreciar las características de cada uno de ellos.

Tabla 4 Mortero y tipos de morteros

Tipo de mortero	Característica
Mortero	Mezcla de pasta y agregado fino.
Mortero Aéreo	Endurecen bajo la presencia del aire, al perder agua, y fraguan lentamente.
Mortero Hidráulico	También llamados acuáticos, endurecen bajo agua.
Mortero Calcáreo	Mortero de cal altamente manejable,
Morteros de cal y cemento Portland	Buena trabajabilidad, buena retención de agua, y altas resistencias iniciales.
Morteros de cemento Portland	Altas resistencias iniciales, y resistencias elevadas cuando ha endurecido.

Fuente: (Sánchez , Tecnología del Concreto y del Mortero, 2001)

- **Clases de mortero según el módulo de finura de la arena**

De otra parte, según el "módulo de finura" de arena, los morteros se pueden sub clasificar como se indica a continuación en la tabla 5.

Tabla 5 Clase de mortero según el módulo de finura de la arena.

Tipo de mortero	Módulo de finura	Usos
Morteros finos	1.8 – 2.3	Pañetes y cielo –rasos
Morteros medios	2.3 – 2.7	Pega de mampostería
Morteros gruesos	2.7 – 3.2	Pisos, rellenos para mampostería

Fuente:(Sánchez, Concretos y Morteros, 2001)

- **Concreto u hormigón**

El mortero de cemento portland mezclado con agregado grueso (piedra), da como resultado el concreto y hormigón convencional. De igual modo, según el tamaño máximo del agregado grueso, el concreto se puede clasificar como se indica a continuación en la tabla 6.

Tabla 6: clasificación del concreto según tamaño máximo del agregado.

TIPO DE CONCRETO	TAMAÑO MAXIMO	USOS
Concreto de gravilla fina	4,76 - 19,10	columnas, paredes o elementos esbeltos
concreto de gravilla común	19,10 - 38,10	estructuras convencionales
concreto de grava gruesa	38,10 - 152,40	pavimentos, presas

Fuente:(Sánchez, Concretos y Morteros, 2001)

4.2.2.2 Clasificación según consistencia

Como es sabido, la consistencia de un concreto o un mortero se refiere a su estado de fluidez, es decir que tan dura (seca) o blanda (fluida) es la mezcla cuando se encuentra en estado fresco, por lo cual se dice que es el grado de humedad de la mezcla.

- ***Tipos de concreto según fluidez***

La caracterización más ampliamente difundida de esta propiedad del concreto, es el "ensayo de asentamiento", medido mediante el cano de Abrams y descrito en la norma NTC 396.

Según la consistencia del concreto en estado fresco, la cual a su vez depende del tamaño de la sección que va a construir y la cantidad y espaciamiento del acero de refuerzo, las condiciones de colocación de la mezcla y el sistema de compactación.

- ***Tipos de mortero según fluidez***

Para los morteros, la característica de fluidez de la mezcla se mide en el "ensayo de la mesa de flujo" descrito en la norma NTC 111, aunque hasta el momento dicha propiedad ha dependido de la apreciación subjetiva del albañil del mampostero.

A continuación, se presenta en la tabla 7 la clasificación de los concretos según la consistencia de la mezcla en estado fresco para diversos tipos de construcciones.

Tabla 7 clasificación del concreto según consistencia de la mezcla en estado fresco, para diversos tipos de construcción, y de sistemas de colocación y compactación.

Consistencia	Asentamiento	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaletas, concretos de proyección neumática (lanzado).	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple.	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas sin vibración.
Humedad	100-150	elementos estructurales esbelta	bombeo	Secciones bastante reforzadas sin vibración.
Muy húmeda		elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo embudo - tremie.	Secciones altamente reforzadas sin vibración. (Normalmente no adecuadas para vibrarse).

Fuente: (Sánchez, *Concretos y Morteros*, 2001)

4.2.2.3 Clasificación según tiempo de fraguado

Al considerar el cambio de estado plástico a estado endurecido de los concretos o morteros, surge una nueva clasificación. Según tipo de cemento empleado y el estado del tiempo en la obra (por condiciones de temperatura, humedad ambiente, etc), la determinación de los tiempos de fraguado (inicial y final), es importante para saber si es necesario utilizar aditivos (retardantes o acelerantes) que controlen la velocidad de fraguado. Se expresa la consistencia de las mezclas de los morteros en estado fresco a continuación en la tabla 8.

Tabla 8 Clasificación del mortero según consistencia de la mezcla en estado fresco, para diversos tipos de construcción, y sistemas de colocación y compactación.

Consistencia	Fluidez %	Condiciones de colocación	Ejemplo de tipo de estructura	Ejemplo de sistema de colocación
Dura(Seca)	80 a 100	Secciones sujetas a vibración.	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación y pisos.	Proyección neumática con vibradores de pared.
Media(Plástica)	100 a 120	Sin vibración.	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimiento.	Manual con palas y palustres.
Fluida (Humedad)	120 a 150	Sin vibración.	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para piso.	Manual, bombeos, inyección.

Fuente:(Sánchez, Concretos y Morteros, 2001)

- ***Tipos de Concreto según Fraguado***

De acuerdo con los requerimientos de la obra y con las especificaciones de la norma NTC 1299, los fraguados medios mediante el método de penetración (norma NTC 890), pueden clasificarse de la siguiente manera.

Se presenta continuación en la tabla 9 la clasificación del concreto según el tiempo de fraguado.

Tabla 9 Clasificación de concretos según tiempos de fraguado.

Tipo de Aditivo	Desviación de los tiempos de fraguado con respecto al concreto de ref., sin aditivo	Desviación de la resistencia	Tipo de fraguado
Retardante	De 1:00 a 3:30 horas después	Hasta 25% mas	Lento
Reductor de agua	No más temprano de 1:00, ni más tarde de 1:30	100% a 28 días	Normal
Acelerante	De 1:00 a 3:30 horas antes	Hasta 25% mas	Rápido

Fuente:(Sánchez, Concretos y Morteros, 2001)

Se pueden encontrar tres tipos de concretos según el rango de resistencia a la compresión, presentados en la tabla 10.

Tabla 10 Tipos de concreto según resistencia a la compresión.

Descripción	MPa	Resistencia a la compresión	
		Kg/cm ²	Lb/pulg ²
Normal	7 – 42	70 – 420	1.000 – 6.000
Alta Resistencia	42 – 100	420 – 1.000	6.000 – 14.000
Ultra alta resistencia	Más de 100	Más de 1.000	Más de 14.000

Fuente:(Sánchez, Concretos y Morteros, 2001)

4.2.2.4 Clasificación según durabilidad

Un concreto de resistencia razonable y adecuadamente colocado, es durable bajo condiciones ordinarias, pero cuando las condiciones de exposición sean tales que la alta durabilidad es vital.

Si se quiere clasificar el concreto según su durabilidad, se podrían mencionar los siguientes tipos:

- **Concreto resistente a humedecimiento y secado**

Al referirse a la acción del humedecimiento y secado como causa de deterioro del concreto se deben definir la permeabilidad y la hermeticidad.

La permeabilidad se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando el agua se encuentra a presión.

La hermeticidad, se refiere a la capacidad del concreto de refrenar o retener el agua sin escapes visibles.

Con relación a la permeabilidad del concreto, es conveniente mencionar que esta depende de la porosidad de la pasta de cemento y de la porosidad de los agregados. Para reducir la permeabilidad del concreto, se deben utilizar bajas relaciones agua-cemento (inferiores a 0.5 en peso) y un periodo de curado húmedo adecuado.

- ***Concreto resistente a congelación y deshielo***

Cuando el concreto húmedo se somete a condiciones de congelamiento y deshielo, surge la principal aplicación de los aditivos incluso de aire, por lo tanto con la inclusión de aire, el agua desplazada por la formación del hielo en la pasta se acomoda de tal manera que no resulta perjudicial, pues las burbujas de aire suministran cámaras donde se introduce el agua y así alivia la presión hidráulica.

- ***Concreto resistente a soluciones que contiene sulfatos***

Los concretos sujetos a agentes químicos-agresivos en presencia de ácido o sulfatos se deterioran con el tiempo. El concreto no presenta ningún tipo de resistencia por ser un material calcáreo, y como tal muy susceptible al ácido, por ello tiene que protegerse mediante barreras impermeables y resistentes a los ácidos que los protegen.

- ***Concreto resistente al desgaste***

La resistencia del concreto al desgaste se define como la habilidad que tiene una superficie elaborada con estos materiales para resistir la abrasión producida por fricción, raspaduras o percusiones.

La resistencia al desgaste está íntimamente relacionada con la resistencia a la compresión, un concreto con alta resistencia a la compresión tiene mayor resistencia a la abrasión.

4.2.2.5 Clasificación según apariencia

- ***Concreto coloreados***

En el concreto el color del cemento es el dominante. Pero si la superficie del concreto es progresivamente tratada el color dependerá cada vez más de los agregados. Es posible colorear el concreto a base de cemento blanco y pigmentos, aditivos, colorantes pigmentos de óxidos minerales, colorantes químicos o polvos colorantes con endurecedores.

- ***Concretos estampados***

Para los concretos arquitectónicos de textura lisa, que ordinariamente son bastantes fluidos, se requieren cimbras herméticas y no absorbentes.

- ***Concretos de agregados expuestos***

Este tipo de concreto se utiliza la belleza propia de los materiales expresando el concreto a la vista, dejando el agregado grueso de la mezcla expuesto, bien sea colocando cuidadosamente en dicha superficie.

- ***Concretos abujardados***

El picado y el descascaramiento mecánicos de una superficie de concreto endurecido, aplicados para producir una textura fracturada del agregado expuesto, pueden lograrse utilizando gran variedad de herramientas manuales y eléctricas.

4.2.2.6 Clasificación según el sistema de colocación y compactación.

- ***Concreto compactado con rodillo***

Son concretos de excelente resistencia con características particulares como manejo, impermeabilidad y durabilidad a la abrasión y a la agresividad química mediante la inclusión de aditivos minerales.

- **Concreto de Fraguado Acelerado**

Especialmente diseñados para que presenten un fraguado más rápido que lo normal, son usados en sistemas constructivos que demandan acabados rápidos.

- **Concreto Lanzado**

Son concretos transportados a través de tuberías o mangueras a gran velocidad para ser lanzado sobre una superficie, adhiriéndose perfectamente a ella con una excelente compactación.

- **Concreto para pavimentos**

Se encuentra expuesto a cargas del tránsito, y a otros factores que tienden a destruirlos, como la abrasión, los cambios bruscos de temperatura, y subrasantes y bases de soporte de calidad heterogénea, se recomienda el uso de cemento con bajo contenido de C3A (máximo 8%) para garantizar un calor de hidratación lo más bajo posible y evite retracciones

- **Concreto de agregado precolado**

Este concreto se produce en dos etapas, primero se llenan las formaletas con agregado grueso limpio y bien gradado, luego se inyecta mortero estructural en la masa del agregado, de abajo hacia arriba, mediante el uso de ductos verticales. También conocido como concreto pre empacado, concreto de intrusión, o concreto inyectado. (Sánchez, concretos y morteros manejo y colocación en obra, 2001)

4.2.3. Concretos con aligerantes

Concreto liviano.

- ***Posibilidades del concreto liviano en Colombia.***

Dada la muy poca utilización del concreto liviano en Colombia a pesar de que están dadas las circunstancias para su producción y consumo, analizando y estudiando la tecnología de los concretos livianos.

Una de las más directas aplicaciones de los concretos livianos es en la prefabricación por cuanto sus principales características coadyuvan y complementan las ventajas de la prefabricación.

A continuación, se describen los tipos de concretos livianos más utilizados, explicando sus principales características técnicas, también se hace una relación de las principales investigaciones universitarias y de las aplicaciones usadas en nuestro medio. (Arango, 1990)

Concreto Liviano o aligerado.

Como su nombre lo indica el concreto liviano es aquel cuya densidad es menos que la del concreto convencional, usualmente varían de densidad entre 300Kg/m^3 y 800Kg/m^3 .

La forma de obtener estas bajas densidades es mediante 3 formas básicas:

- Utilizar agregados de peso liviano.
- Preparar concreto sin agregado fino dejando estos espacios vacíos.
- Introducir aire o vacíos dentro de la pasta de cemento y no incluir agregados gruesos.

El concreto ligero se logra mediante el empleo de agregados ligeros naturales o artificiales en la mezcla. Este es usado donde la carga muerta es un factor importante debido a que el concreto de peso normal es muy pesado para ser práctico.

Una opción que se ofrece para hacer la construcción más económica es la de aligerar los elementos de concreto que no estarán sometidos a esfuerzos muy grandes, aunque lo ideal sea que el material a construir sea liviano, económico y de igual o mayor resistencia.

El concreto aligerado tiene el mismo principio de construcción que el concreto convencional, es decir se logra mediante el empleo de agregados ligeros en la mezcla con un material cementante

Las propiedades físicas de los agregados normales y ligeros son diferentes, sus factores de diseño también varían. Sin embargo, los procedimientos de diseño son idénticos.

Es posible que los concretos ligeros alcancen altas resistencias, siempre y cuando se use un agregado que además de ser ligero tenga una buena resistencia a la compresión.

4.2.4. Antecedentes (origen, historia)

Los primeros hormigones livianos utilizados para construir edificaciones surgieron en el imperio romano en los años 20 a.C. Estos primeros hormigones eran el resultado de la mezcla de materiales cementantes formados a partir de limos quemados con materiales de baja densidad como lo es piedra pómez. Entre las obras realizadas entre este tipo de hormigón destacan: La cúpula del Panteón de Agripa (25 a.C.), los arcos del coliseo Romano (70 d.C), con luces mayores a 25 metros.

Los primeros edificios construidos con hormigones estructurales livianos aparecieron luego de la primera guerra mundial en el año 1922 se construyó la ampliación del gimnasio de la escuela de deportes de Kansas y fue este el primer edificio construido con hormigón liviano estructural en la historia.

Con el avance de la tecnología se experimentaron con nuevos tipos de agregados livianos como las arcillas, pizarras y escorias expandida procedentes de plantas industriales, también se ha experimentado con agregados artificiales plásticos como el poliestireno, y agregados ricos en sílice como la cascarilla de arroz.

En la década del 50 y el 60 se instalaron en el mundo plantas de agregados livianos, en Venezuela en 1969 se instala una planta sobre un yacimiento de arcilla que aun constituye su materia prima.

Colombia posee actualmente en su mercado poliestireno expandido, (EPS) como granulado de diferente diámetro o más llamado perlitas, también encontramos en el mercado Colombiano el aserrín de los aserríos, además se genera gran cantidad de residuos vegetales en la industria arroceras como la

cascarilla de arroz, los cuales sirven para la fabricación del concreto aligerado (Valdez & Suarez , 2010).

4.2.5. Tipos de Concretos livianos

Concreto liviano

En lugar de utilizar gravas y rocas trituradas convencionales se puede producir un concreto de apariencia y propiedades similares a las del concreto normal utilizando agregados porosos de baja densidad.

Los agregados livianos pueden ser orgánicos e inorgánicos, naturales o artificiales, de granulometría continua o discontinua.

En la Tabla 11 se observan los tipos de agregados livianos naturales que se pueden utilizar en la fabricación de las probetas y los ecoladrillos

Tabla 11 Agregados livianos naturales

Tipo de agregado liviano	Característica
<i>Piedra pómez o pumicita</i>	<p>La piedra pómez es de origen volcánico es el agregado liviano más común y antiguo que se conoce pues desde aproximadamente 100 A.C. los romanos la utilizaron mezclada con cal en techos y muros; el mejor ejemplo que aún perdura es la cúpula del panteón.</p> <p>Es de color claro, tiene una textura uniforme de pequeños poros intercomunicados y aspectos espumoso con un peso volumétrico comprendido entre 0.5 ton/m³ y 0.9 ton/m³.</p> <p>Las variedades de pumicita que no son excesivamente frágiles estructuralmente, resultan adecuadas para concretos con densidades de 700 a 1.400 kg/m³ de buenas características aislantes y técnicamente aceptables, la resistencia de los concretos es moderada y sus retracciones altas y lentas La resistencia a la compresión a los 28 días entre 39 y 140 kg/cm² según tipo de mezcla. (Arango, 1990)</p>
<i>Escoria volcánica</i>	Es una roca vidriosa vesicular, de color oscuro (pardo y rojizo) de una estructura de poros muy

	<p>grandes y variables los cuales no se encuentran conectados entre sí, con una densidad que oscila entre 700 y 1.500 Kg/m³. Su resistencia a pesar de sus formas angulares y poros grandes y poco uniformes es mayor que la de su análoga la piedra pómez, tienen una absorción de agua más reducida y la mezcla fabricada es menos propensa a la retracción. (Arango, 1990)</p>
<i>Concreto de escoria de lava porosa</i>	<p>La escoria de lava es una piedra eruptiva de color pardo o rojizo de una estructura de poros grandes y de forma irregular que no están conectados. Se presenta en trozos grandes y en forma de módulos mayores o menores.</p> <p>Los concretos de escoria de lava son en su mayoría poco propensos a la retracción. La absorción de agua es reducida debido a su porosidad más gruesa. Es empleado para el moldeo in situ de paredes y para la fabricación de bloques y placas de concreto ligero.</p>
<i>Concreto de piedra pómez vitrificada</i>	<p>Es una piedra eruptiva de color pardo rojizo de una estructura de poros grandes y de forma irregular que no están conectados. Se presenta, parte en trozos grandes, parte en forma de módulos mayores o menores.</p> <p>Presenta facilidad para ser trabajada y buen comportamiento frente a las altas y bajas temperaturas.</p>
<i>Otros agregados naturales</i>	<p>Otro de los agregados naturales es la diatomita la cual es una roca silíceas de origen orgánico formada por esqueletos remanentes de las plantas acuáticas microscópicas (algas protozoarias). Cuando se encuentra pura (libre de arena y arcilla) tiene una densidad promedio de 45 Kg/m³.</p>

Fuente: el autor.

4.2.5.1.1 Subproductos industriales

Por otro lado, en el medio es posible encontrar diferentes subproductos industriales que no pueden ser reutilizados en el proceso productivo por lo cual la generación de estos residuos empieza a acarrear inconvenientes al empresario.

Por esta razón, algunos de estos subproductos industriales han sido evaluados para el mejoramiento de materiales de construcción. En la Tabla 12 se mencionan los agregados de tipo liviano provenientes de subproductos industriales y se hace una descripción sucinta de las principales características.

Tabla 12 Agregados livianos de subproductos industriales.

Tipo de agregado	Característica
Escorias de hulla.	Se trata de gravilla formada por el fundido y la sinterización de residuos bien quemados por los procesos de combustión de hornos industriales a altas temperaturas en donde se usa la hulla como combustible, como es el caso de calderas y plantas termoeléctricas. (Arango, 1990)
Escoria de altos hornos.	La escoria de alto hornos y la pómez siderúrgicas se obtienen como residuo de la fabricación de hierro fundido. Según sea el tratamiento, es posible obtener escorias compactas, escorias granuladas, escorias esponjosas o pómez siderúrgica y lava de escoria. (Arango, 1990)
Concreto de altos hornos y siderúrgicas	Al tener el hierro fundido en el alto horno por cada mil toneladas de fundición se obtienen 700 toneladas de escoria. Según el tratamiento del baño fundido después de la colada de alto horno, la escoria que se obtiene es la escoria compacta, la escoria esponjosa o pómez siderúrgica, la arena de escorias granulada, o bien la lana de escorias que es de estructura fibrosa. Exceptuando esta última que se emplea como aislante térmico, todas las otras variedades de las escorias de altos hornos se emplean para preparar concreto.
Ladrillo triturado o cascote de ladrillo	Para fabricar este tipo de concreto pueden utilizarse los desechos de la fabricación de la industria ladrillera, de las obras de construcción y resultantes de las demoliciones.
Concreto de escoria de basura	Al quemar las basuras domésticas en las instalaciones especiales que para ello existen, queda como residuo la escoria de basuras utilizada para la fabricación de bloques de concreto de escoria. Se utilizan en primer lugar los componentes duros escarificados, separándose las partes de mayor

	<p>contenido en cenizas, que son más blandas. También hay que vigilar la eventual presencia de elementos agresivos para el concreto. Los pesos por unidad de volumen del conjunto de granos de escoria dura de basuras oscilan notablemente entre amplios límites. Su uso es relativamente poco.</p>
--	--

Fuente: el autor.

4.2.5.1.2 Materiales naturales procesados

En la tabla 13 se observa los tipos de materiales naturales procesados, los cuales se pueden utilizar como agregado en la fabricación de ecoladrillos.

Tabla 13 Agregados livianos de materiales naturales procesados.

Tipo de agregado liviano	Característica
Vermiculita o mica esponjada	Es un mineral del grupo de los silicatos, es micáceo y se obtiene por un proceso de exfoliación de la biotita por medio del calentamiento a presión y con temperaturas entre 650 y 1000 C. (Arango, 1990)
Perlita expandida	Es una roca volcánica vidriosa y aunque es natural su estructura física no se parece a la pómez debido a su alta densidad. El concreto liviano que se hace con perlita tiene una resistencia muy baja y un alto grado de contracción por ello se utiliza principalmente como material aislante, como agregado para la fabricación de bloques y muros y para la protección de refuerzo contra el fuego. (Arango, 1990)
Concreto de globulita y análogos	La globulita es un concreto de bolas de arcilla, utilizadas como árido. Las bolas huecas de arcilla tienen un diámetro exterior de 20 mm y un hueco de 14 mm de diámetro, estando constituidas por arcilla cocida, de superficie porosa, que hace las veces de gravilla en el concreto. (Arango, 1990) En los concretos confeccionados con este árido, las bolas de arcilla están totalmente rodeadas de mortero. La fabricación de las esferas huecas de arcilla no resulta barata y el gran volumen de huecos en las bolas no es nada ventajoso desde el punto de vista térmico.
Cenizas sinterizadas de	Se pueden describir como el residuo obtenido

combustible en polvo	de la combustión de carbón pulverizado en los hornos modernos de las plantas termoeléctricas. El concreto liviano hecho de cenizas sinterizadas de combustible en polvo tiene una relación resistencia/densidad notablemente alta y un encogimiento al secarse relativamente bajo. (Arango, 1990)
-----------------------------	--

Fuente: el autor.

4.2.5.1.3 Agregados orgánicos

En la tabla 14 se observa los tipos de agregados orgánicos que se encuentran en la industria, y se pueden utilizar en la fabricación de las probetas y los ecoladrillos con concreto aligerado.

Tabla 14 Tipos de agregados naturales para aligeramiento del concreto.

Tipo de agregado liviano	Característica
<i>Cascarilla de Arroz</i>	Carece de valor como alimento por su bajo poder nutritivo y su contenido del 18 % de sílice, lo cual lo hace dañino para el aparato digestivo. Considerado como un desperdicio, la llevan a sitios que sirven de combustible o abono. Para producir concreto liviano se tiene que seleccionar agregados de baja densidad, con el propósito de producir un concreto ligero, y reducir la problemática ambiental se usa como agregado la cascarilla d arroz, por sus características físico químicas, su baja densidad y su contenido de sílice.
<i>Viruta de madera</i>	Es el producto vegetal más importante para la fabricación del concreto liviano, las virutas son los desperdicios menudos en cascaras y astillas que proceden de aserríos y talleres de carpintería. Los concretos livianos de viruta de madera compactados en forma corriente alcanzan escasas resistencias sin embargo se pueden mejores resistencias compactando con una presión uniforme y constante mediante prensado, este material consume una gran cantidad de cemento.

	(Arango, 1990)
Styropor.	<p>Es un agregado orgánico sintético formado por resinas espumosas de poliéster obtenido a partir de poli estireno con agente de expansión incorporado. El concreto liviano de Styropor se obtiene mediante el mezclado de perlas de poliestireno expandido con cemento, arena y agua en una mezcladora de circulación forzada. En esta mezcla el Styropor ocupa entre el 60 y el 70 del volumen total del concreto.</p> <p>Pueden obtenerse densidades en el concreto entre 200 y 2000 Kg/m³ de acuerdo con la aplicación que se requiera y con la cantidad de Styropor adicionado. (Arango, 1990)</p>

Fuente: el autor.

4.2.5.2 Concreto sin fino

Se refiere a un concreto común de cemento y agregado grueso solamente (1.0 a 2.0 cm) y la eliminación del agregado fino formándose un producto con muchos huecos uniformemente distribuidos en la masa. La densidad de estos concretos sin finos es aproximadamente 2/3 partes de la de un concreto normal.

Se debe tener una relación agua cemento para que allá adherencia entre los granos, puesto que si es muy alta la pasta de cemento tendera a apartarse de las partículas del agregado, si es demasiado baja la pasta no tendrá suficiente adherencia no se lograra la compactación adecuada

El concreto sin fino también puede producirse con agregados livianos produciéndose densidades más bajas y mejores aislamientos térmicos, se encuentran concretos sin fino de escorias de hulla, de cenizas sinterizadas de combustible en polvo de arcilla o esquitos expandidos de pizarras expandidas.

4.2.5.3 Concreto Aireado

Se define como una mezcla con estructura homogénea de silicatos de granos finos que contienen pequeñas celdas de aire no comunicadas entre sí. Contiene una porción considerable de material silicoso en forma de polvo de sílice, cenizas de combustible pulverizadas, quemados y molidos de escorias de alto hornos molidos. El concreto aireado puede producir con densidades entre 400 y 1800 Kg/m³, siendo tan amplias sus densidades tienen un alto índice de variabilidad en otras propiedades. Se distinguen dos tipos de concretos aireados:

- **Concreto aireado de gas**

El método de formación de aire u otros vacíos en el interior de la lechada es por medio de una reacción química dentro de la masa durante su estado líquido o plástico. Para lograr dicho efecto se agrega un metal finalmente pulverizado (usualmente aluminio), el cual reacciona con la cal la cual ha sido usada como agente cementante o se forma dentro del fraguado.

Se puede emplear Zinc en polvo en vez de aluminio, en ambos casos el hidrogeno producido en las celdas es rápidamente remplazado por aire, no existe peligro de fuego cuando los productos de este concreto aireado son usados en la construcción.

El concreto aireado gaseoso curado al aire tiene una resistencia menor de la mitad que de concreto de la misma densidad curados en autoclave, mostrando una contracción de cuatro a cinco veces mayor que la del concreto de autoclave.

- **Concreto aireado espumoso**

Se diferencia del gaseoso en la forma de introducir las burbujas de aire en el interior de la lechada, lo cual se realiza mediante la formación de una espuma estable producida por un generador de espuma especial, después de haberse introducido la espuma se continua el mezclado asegurando una buena distribución de las celdas de aire dentro de las mezclas.

4.2.6. Características técnicas de los concretos livianos.

- **Masa Volumétrica (densidad aparente)**

Es la principal características de un concreto liviano, todo depende de ella tanto las propiedades mecánicas como las propiedades térmicas y ciertas variaciones dimensionales.

La definición del concreto liviano se basa en su masa volumétrica y corresponde a valores de 1800 KG/m^3 .

- **Resistencia a la compresión.**

Se cree que los concretos livianos son de resistencias bajas sin embargo se han obtenido resistencias a la compresión en concretos livianos con agregados livianos en el orden de 600 kg/cm^2 , e inclusive se estarán utilizando en concretos pretensados.

- **Resistencia a la tracción**

Se usan usualmente dos métodos para medir la resistencia a la tracción de los concretos:

1 ensayo por hendimiento o ensayo brasilero

2 ensayo de tracción por flexión

Se ha comprobado en múltiples pruebas la correlación estrecha entre la resistencia a tracción y la resistencia a la compresión en los concretos.

- **Módulo de elasticidad**

Es un parámetro característico de cada material que indica la relación existente entre los elementos de tensión aplicados en el ensayo de tracción y los incrementos de deformación longitudinal unitaria producidos.

Ecuación 2

$$E_c = 0.137w^{1.5}\sqrt{f'_c} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

En donde

f'_c = Resistencia a la compresión

W = Densidad del concreto en Kg/m^3

Se puede observar en la ecuación 2 el módulo de elasticidad de cualquier concreto en función de su densidad y su resistencia a la compresión, en general los valores absolutos para los concretos livianos son inferiores que los concretos normal.

- **Resistencia a esfuerzos constantes**

Al igual que los módulos de elasticidad, las resistencias al esfuerzo cortante son inferiores en los concretos livianos con respecto a los concretos normales. Se especifica que la resistencia a cortante para concretos livianos con agregados livianos se tomara como el 75 % de la resistencia de un concreto normal de la misma resistencia a la compresión.

- **Adherencia al refuerzo**

La adherencia del concreto con el refuerzo tiende a ser menor en el concreto liviano con respecto al concreto normal. Su valor se sitúa del orden del 60% de los correspondientes a concretos normales.

Características térmicas

- **Conductividad térmica**

El aislamiento térmico es una de las propiedades más interesantes de un material moderno. La conductividad térmica en los concretos livianos depende de la masa volumétrica y de su contenido de agua, señalando el exceso de agua en su fabricación, existiendo el riesgo de que en las primeras edades no se puede alcanzar los coeficientes de aislamientos previstos.

- **Resistencia al fuego**

La resistencia al fuego se ha convertido en una de las más importantes características de los constructores, a consecuencia de siniestros.

El concreto liviano siendo de mejores características en cuanto a aislamiento térmico y dilatación térmica se infiere su mejor comportamiento sometido al fuego. (Arango, 1990)

4.2.7. Uso de la Cascarilla de Arroz como Agregado en el Concreto.

Debido a la alta densidad de los agregados convencionales, es prácticamente imposible producir concretos livianos a menos que se seleccione tipos de agregados de baja densidad, o introduciendo aire, hidrogeno o dióxido de carbono dentro de la pasta de cemento. Con el propósito de producir un concreto ligero, y reducir la problemática ambiental, se decidió investigar el uso de la cascarilla de arroz como agregado, por sus características físicas y químicas. Por su baja densidad, por sus condiciones menos perjudiciales para la hidratación del cemento, por su apreciable contenido de sílice, por su bajo costo de adquisición y por el volumen disponible es un gran agregado a utilizar. (Carvajal Niño & Loaiza Camargo, 1975)

Propiedades de la Cascarilla de Arroz.

La cascarilla de arroz carece de valor como alimento, no solo por su bajo poder nutritivo, sino también por contener un 18 % de sílice, lo cual hace que sea dañino para el aparato digestivo y respiratorio de los animales.

Es inmune al ataque de roedores; esto se demostró colocando una rata, agua y 31.8 g de cascarilla dentro de una campana de plástico perforado, hasta que la rata murió por falta de alimento, puesto que el peso de la cascarilla de arroz después de la muerte del roedor fue de 31.4 g. La cascarilla tiene un valor calorífico de 5000 a 6000 BTU (Unidades Térmicas y Británicas) por libra. Por lo que se emplea como combustible en las plantas de vapor de los molinos arroceros.

Propiedades Físicas, químicas y composición mineral de la cascarilla de arroz obtenido de ensayos en los laboratorios de hormigón consultas industriales de la U.I.S.

Propiedades Químicas

Humedad	11.48 %
Cenizas	18.59 %
Proteínas	3.56 %
Extracto de éter	0.93 %
Fibra	39.05 %
Extracto no nitrogenado	29.38 %

Propiedades Físicas

Peso Unitario en condiciones s.s.s.	184.30 kg/m ³
Peso Unitario en condiciones normales	137.19 kg/m ³
Gravedad específica aparente	137.19

Composición Mineral

Sílice	94.50 %
Oxido de Calcio	0.25 %
Oxido de Magnesio	0.23 %
Oxido de potasio	1.10 %
Oxido de sodio	0.53 %

(Sarmiento Salas & Herrera Rojas, 1992)

4.2.8. Eco-ladrillo

Es un ladrillo o bloque elaborado con material desechado que no tiene ningún valor comercial y que no representa peligro para la comunidad, comúnmente se conoce un tipo de eco-ladrillo, el cual consta de una botella pet rellena de residuos no comercialmente reciclables, compactada con el fin de darle la rigidez necesaria para soportar las diferentes cargas, de igual manera se tiene otro tipo de eco-ladrillo fabricado con material desechado en las excavaciones en los procesos de construcción, o mezclados con agregados livianos los cuales han sido residuos de las industrias creando ecoladrillos, mas aligerados.

4.2.8.1 Eco-ladrillos en Colombia

En Colombia los eco-ladrillos se vienen fabricando hace alrededor de diez años y han sido promovidos por empresas, fundaciones, corporaciones e instituciones educativas, que han implementado esta metodología en diferentes comunidades, sembrando la cultura ambiental ciudadana, e incentivando a niños, jóvenes y adultos en el cuidado del ambiente mediante el aprovechamiento de residuos plásticos que no tiene ningún valor comercial y que en su mayoría son desechados de manera indiscriminada.

Este material ha sido de gran utilidad en los diferentes proyectos sociales donde se han elaborado estructuras como bancas, mesas, jardineras, muros divisorios y casas. En los últimos años esta práctica junto a la permacultura se ha incrementado debido a los impactos negativos que se generan por el manejo irracional que tiene los residuos sólidos en los grandes centros urbanos.

4.2.8.2 Tipos de plásticos

Los plásticos se encuentran clasificados en tres grandes grupos los termoplásticos, los termoestables o no termoplásticos y los elastómeros, aunque solo los termoplásticos poseen un subgrupo ya establecido. Este tipo de materiales tiene un alto potencial de recuperación e incorporación en la cadena del reciclaje, debido a su maleabilidad al ser sometido a altas temperaturas son incluidos nuevamente en las cadenas de producción.

Los termoestables por tener una composición estructural más fuerte los convierte en un material rígido el cual no permite ser moldeados después de ser expuestos a elevadas temperaturas. Los elastómeros son un grupo que tiene propiedades de los grupos anteriores debido a que tiene alta resistencia, es flexible y en algunos casos se deja moldear después de haberlo expuesto a altas temperaturas.

Se observa en la figura 4 los tipos de plásticos que existen en el mercado, y que se producen en gran cantidad, para el uso diario generando un volumen grande de residuos. (Hernandez Vargas, 2013)

Figura 4 Clasificación de los tipos de plásticos

Código	Nombre	Material
	PET polietileno tereftalato	
	PEAD Polietileno de Alta Densidad	
	PVC Poli Cloruro de Vinilo	
	PEBD Poli Etileno de Baja Densidad	
	PP Polipropileno	
	PS Poli estireno expandido	
	Otros <ul style="list-style-type: none"> • Policarbonato (PC) • Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) • Poliamida (PA) • Nylon • Acetatos • Estireno Acrilonitrilo (SAN) 	

Fuente: (Hernandez Vargas, 2013)

5. METODOLOGÍA

Este proyecto de grado se ejecutó en tres fases, la primera consistió en la recopilación y análisis bibliográfico de, tesis, monografías, y de antecedentes acerca de los materiales y residuos empleados en la elaboración de los ecoladrillos. Sabiendo que materiales eran usados para este propósito se pudo aprovechar la generación de residuos de la upb ya que hay localizados restaurantes los cuales emplean y generan muchos de los materiales y residuos consultados, para finalizar la fase uno se caracterizó en dos puntos seleccionados en la universidad.

En la segunda fase del proyecto se realizó el diseño de mezcla, empleando los residuos identificados de las caracterizaciones. Seguido se elaboraron las probetas y se dejaban en periodo de curado para sus posteriores pruebas.

La tercera fase se sometieron los ecoladrillos construidos a las pruebas mecánicas, donde se pudo determinar los materiales que más aligeraban el ladrillo, y el que más resistencia presentaba.

5.1. Fase 1. Identificar Residuos Industriales utilizables como materiales aligerantes en la fabricación de ecoladrillos.

A. Caracterización de Materiales

Se identificaron mediante investigaciones y consultas las industrias que generaban gran cantidad de residuos que pueden ser aprovechables para el uso de agregados en la fabricación de ecoladrillos.

Se reconocieron los residuos sólidos que pueden ser aprovechados para aligerar el concreto, disponibles en la Universidad Pontificia Bolivariana. Caracterizando dos cafeterías, pesando y seleccionando la cantidad de residuos producidos de los cuales se seleccionaron los que pudieran utilizarse para la construcción de los ecoladrillos.

El primer punto de generación de residuos está localizado al lado del edificio G, vendiendo diferentes tipos de productos como comidas rápidas, desayunos, almuerzos, los cuales se sirven en bandejas de icopor y se embalan en papel aluminio, en este lugar la mayor parte de las bebidas que se venden están en botellas plásticas.

El segundo punto de generación de residuos que se estableció para la caracterización está localizado en el edificio A en el primer piso. En esta cafetería se generan residuos de tipos ordinarios como envoltura de frituras

también se venden comidas rápidas por lo tanto es la fuente de la contaminación con bandejas de icopor, botellas de plásticos, botellas de vidrio, las cuales son depositadas en los contenedores

A partir de las caracterizaciones realizadas en las cafeterías, se podrán identificar la cantidad (Kg), de los materiales utilizables para el aligeramiento del concreto y la elaboración de ecoladrillos, y su posterior realización de pruebas de resistencia. El material que más se genera y se puede utilizar como aligerante del concreto es el poliestireno expandido.

- **Sitio de almacenamiento transitorio de los residuos de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.**

A continuación se observa en la figura 5 el lugar de almacenamiento de los residuos ordinarios de la Universidad Pontificia Bolivariana. En este sitio se almacenan temporalmente los residuos generados, el personal de mantenimiento es el encargado de la recolección, almacenamiento y posteriormente dispuestos por la empresa encargada de la prestación de los servicios.

Figura 5 Sitio de almacenamiento de residuos ordinarios Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.



Fuente: el autor

La fabricación del material se realiza partiendo de compuestos de poli estireno en forma de perlititas que contiene un agente expansor habitualmente pentano. Después de una pre-expansión, las perlititas se mantienen en silos de reposo y posteriormente son conducidas hacia máquinas de moldeo.

Dentro de dichas máquinas se aplica energía térmica para que el agente expansor que tienen las perlititas se caliente y estas aumenten su volumen a la vez que el polímero se plastifica. Durante dicho proceso, el material se adapta a la forma de los moldes que lo contienen, posee una densidad aparente entre 10kg/m³ y 30 kg/m³. El material a ser utilizado se ajusta para incorporación en el concreto. Se puede identificar el icopor como material aligerante, para su mayor uso se requiere el material de forma granulada, el material se observa en la figura 6.

Figura 6. Poliestireno Expandido.



Fuente-. El autor

B. Recolección de bandejas de poli estireno expandido.

Durante la caracterización de los residuos generados en las cafeterías seleccionadas, se separaron las bandejas de icopor diariamente en bolsas. En la figura 7 se identifica la clasificación del poliestireno expandido generado en las cafeterías del edificio A y del edificio G, los cuales son clasificados para posible uso de agregado aligerantes en la fabricación de ecoladrillos.

Figura 7 Recolección de poliestireno expandido.



Fuente: el autor.

C. Lavado de las bandejas de (poliestireno expandido) icopor

Después de la recolección de las bandejas de icopor se prosiguió a hacer el respectivo lavado de la comida que queda sobrante en las bandejas. Se realizó el procedimiento de lavado después de la recolección diaria durante un mes.

A continuación, se observa en la figura 8 la forma de lavado de los residuos generados.

Figura 8. Lavado de bandejas de poliestireno expandido



Fuente: el autor

5.2. Fase 2. Plantear una clasificación de mezclas de concreto aligerado, elaborado con residuos plásticos y aligerados.

Se construyeron los diseños de mezcla para un concreto testigo con una dosificación de un concreto normal, se variaron los agregados con los materiales utilizables para la elaboración de ecoladrillos, como el aserrín, cascarilla de arroz, y el poli estireno expandido.

A. Dosificación de mezclas para probetas

Inicialmente, se realizó una dosificación de mezcla para un concreto normal. Seguidamente, se disminuyó un porcentaje al agregado fino y se agregó aserrín, y otra con la misma cantidad de aserrín pero con un 10 % más de cemento. Posteriormente, se realizó la misma dosificación con cascarilla de arroz disminuyendo el mismo porcentaje en la arena, y otra dosificación con un 10 % más de cemento. Finalmente, se elaboraron con el material aligerante poliestireno expandido, utilizando una primera dosificación con el 40 % de icopor, y otra con el 20% con respecto a la cantidad de cemento utilizado.

B. Elaboración de Probetas para ensayo de compresión.

Previamente se realizó una mezcla para cilindros o probetas con dimensiones de 10 cm de diámetro y 2 cm de altas, con el objetivo de comparar diferentes tipos de dosificaciones de mezclas con los materiales aligerantes.

Se empezaron fundiendo 6 probetas con la mezcla del concreto normal, en 6 probetas cilíndricas metálicas, las cuales se rellenaron de la mezcla elaborada y apisonando veinticinco veces en cada una de las tres capas de concreto, se deja secar durante 24 horas, se desencofran y se ponen en curado durante 7 días.

Luego se hicieron 6 probetas con aserrín, utilizando el mismo método, y otras seis con un 10 % más de cemento. Se elaboraron también 6 probetas con cascarilla de arroz, y otras 6 con 10% más de cemento.

Finalmente, se elaboraron 6 probetas con el icopor con un porcentaje del 40 %, y otras 6 probetas con un 20%. En total, se fabricaron 42 probetas las cuales se dejaron en agua de curado durante 7 días.

C. Pruebas de resistencia a la compresión para las probetas.

Primero se pesaban las probetas, se medía el diámetro y la altura de cada una, y luego se llevaba a la máquina de compresión donde se le realizaban las pruebas de resistencia a la compresión a cada una, empezando con las probetas testigos, y luego con cada una de las probetas con los materiales aligerantes.

D. Dosificación de mezclas para los ecoladrillos

A partir de las dosis de mayor resistencia obtenidas en el anterior ensayo, se prepararon las nuevas dosificaciones para elaborar los ecoladrillos, variando las dimensiones de las formaletas, por el volumen del ecoladrillo.

Se preparó la dosis patrón, para hacer los ecoladrillos testigo, se prosiguió a hacer los ecoladrillos con residuos de aserrín se hicieron 5, también se hicieron 5 con cascarilla de arroz y 5 con poliestireno expandido, los cuales se desencofraron al día siguiente de la mezcla de cada ecoladrillo, y se les realizó el ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días.

E. Elaboración de Ecoladrillos

Se utilizaron formaletas de 15 cm de altura por 25 cm de largo y un ancho de 7.1 cm primeros. Se vertía la mezcla en las formaletas se dejaba secar durante un día y luego pasado este tiempo se retiraban los ecoladrillos de la formaleta, para posteriormente dejarlos en la pileta en agua de curado durante un periodo de 7 días.

F. Pruebas a la resistencia de los Ecoladrillos.

Pasado el periodo de curado, se procedía a extraerlos de la pileta para el secado, tiempo aproximado de 1 a 2 horas al sol para conseguir un secado uniforme, después del secado se pesaba cada ecoladrillos registrándose el peso y las dimensiones de cada espécimen, finalmente se sometía cada ecoladrillo al ensayo de resistencia de compresión obteniéndose así los datos en KN y MPa.

Finalmente, con los resultados obtenidos de las pruebas de resistencia de los ecoladrillos se elabora un esquema donde se indique que mezcla se utilizó que material aligerante y la dosis empleada para los ecoladrillos de mayor resistencia.

5.3. Fase 3. Realizar las pruebas mecánicas de carga a los ecoladrillos elaborados con residuos plásticos y aligerados.

Las pruebas mecánicas de carga se realizaron en el laboratorio de ingeniería civil en el edificio k en el salón 210, con el equipo de marca Control, este equipo reporta la carga en KN y en MPa, para cada probeta y ecoladrillos se realizó la prueba de compresión estándar. Con los resultados obtenidos se pudo establecer y plantear una clasificación de mezcla según el agregado el cual era proveniente de un residuo industrial.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de las tres fases propuestas en la investigación.

Fase 1.

Identificar Residuos Industriales utilizables como materiales aligerantes en la fabricación de ecoladrillos.

El poliestireno al ser uno de los mejores aislantes térmicos, se usa ampliamente en la construcción de edificios ahorradores de energía. Un edificio aislado adecuadamente con espuma de poli estireno expandido puede reducir la energía utilizada para climatizarlo hasta un 40%.

En el hormigón liviano, se utiliza el poliestireno expandido, el cual puede remplazar totalmente el agregado grueso, y parcialmente el agregado fino, debido a que son áridos que no absorben agua, no tiene impurezas, no reacciona con el cemento y además tiene buena adherencia con el mismo.

Para la elaboración del hormigón liviano con poli estireno expandido se debe tener en cuenta la exacta dosificación del agua, debido a que un exceso de agua puede ocasionar una mezcla no cohesiva y segregación del material en la superficie.

Se puede utilizar este tipo de hormigón en rellenos de pisos y tabiques, en paneles y bloques para mampostería, morteros aislantes, capas estabilizadoras en carreteras y en otras opciones.

6.1. Caracterización de las cafeterías de la Universidad Pontificia Bolivariana.

A continuación en la tabla 15, se presentan los resultados obtenidos de la caracterización realizada en las cafeterías del edificio A y del edificio G, para dos contenedores localizados en estos edificios, durante un mes.

Tabla 15 caracterización de los residuos ordinarios de las cafeterías de los edificios A y G.

Clase de Residuos	Tipo de residuos	Cantidad Kg/mes
Reciclables	Papel	8
	Cartón	7
	Latas	5
	Vidrio	30
	Plásticos (Botellas, tarros, garrafas).	20
Biodegradable	Restos de comida cocinada	6
	Restos de frutas y verduras	5
Ordinario e Inertes.	Icopor (bandejas)	14
	Vasos desechables y pitillos	6
	Envolturas de comida, papel aluminio, papel sucio, papel servilletas	7
	Total de residuos no peligroso recolectados en un mes	108 Kg/mes

Fuente: el autor.

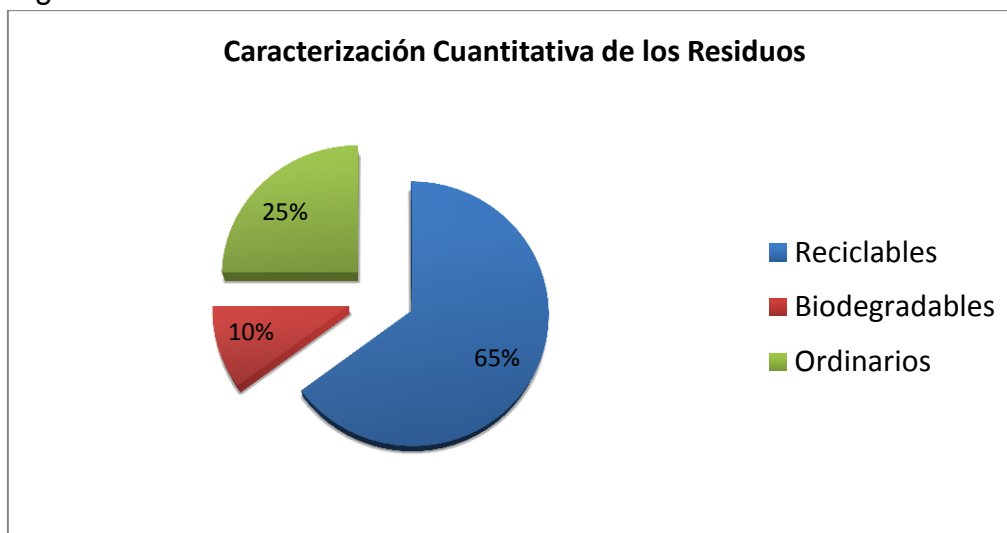
Se puede observar que el residuo que más se generó y el que es más recomendable para servir como agregado liviano es el icopor. Los otros residuos que pueden servir son los plásticos, las botellas pet, y las bolsas plásticas.

Según la caracterización realizada el material más generado en las cafeterías de la Universidad Pontificia Bolivariana, que se puede utilizar como agregado liviano en la fabricación de los ecoladrillos es el poliestireno expandido. A continuación, se puede observar en la figura 6 el tipo de material recolectado y el mismo tipo de material en forma granulada como sirve para la aplicación de agregado liviano.

Caracterización cuantitativa de los residuos

En la figura 9 se presenta los tipos de residuos generados en distribución porcentual.

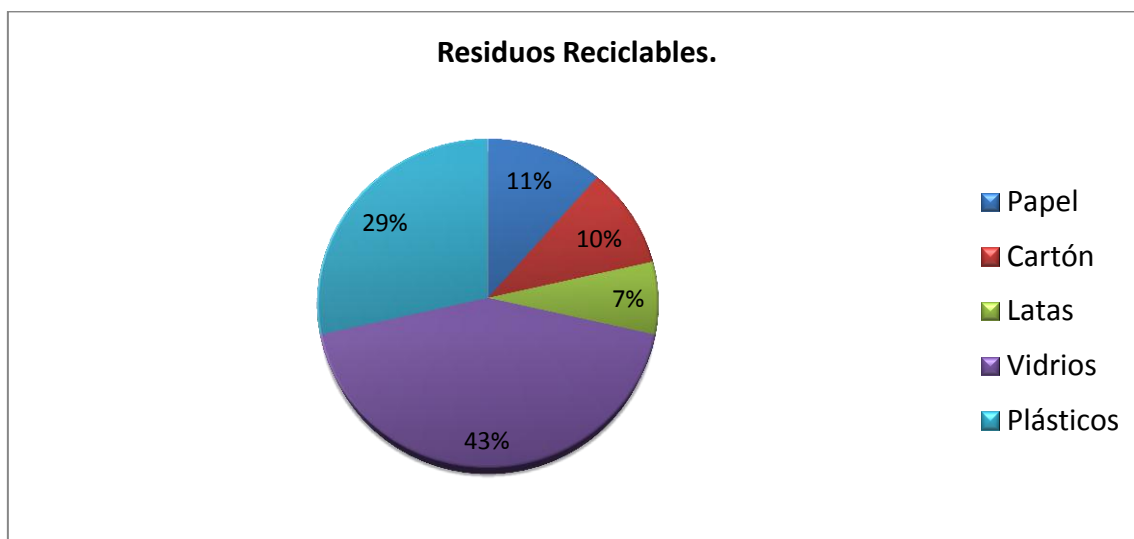
Figura 9. Caracterización cuantitativa de los residuos.



Fuente: el autor.

Una vez realizada la caracterización de residuos en las cafeterías seleccionadas, se determinó que la cantidad de residuos no peligrosos generados es igual a 108 Kg/mes, en donde su mayor predominancia se encuentra en residuos reciclables (papel, cartón, latas, vidrios, plásticos) con un porcentaje de 65 % seguido de los residuos ordinarios (icopor, vasos desechables, envolturas de comida), finalmente los residuos orgánicos (restos de comida) con un 25%. Estos resultados se obtienen por la caracterización realizada poco después de las horas pico en las cafeterías mencionadas. En la figura 10 se observa el porcentaje de residuos reciclables generados en las cafeterías y que fue caracterizado durante un mes.

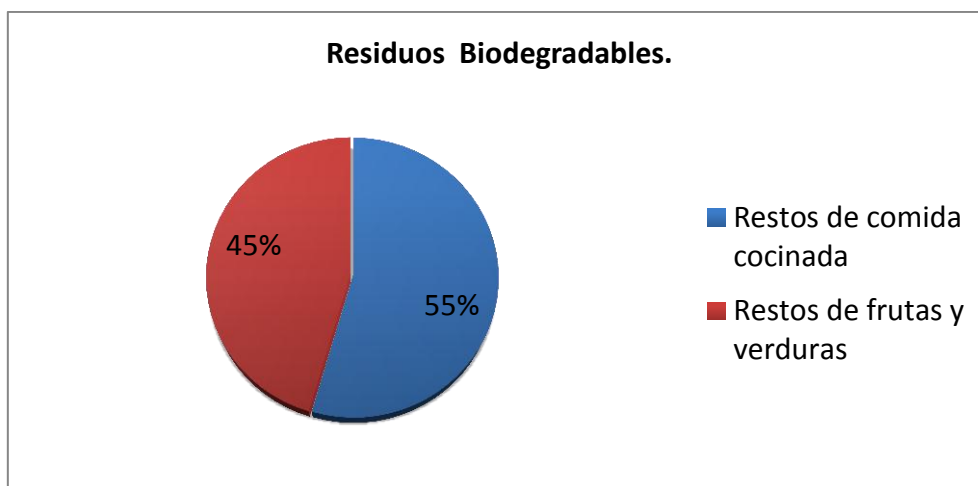
Figura 10 Caracterización de los residuos reciclables.



Fuente: el autor.

De acuerdo con la figura 10, las cafeterías generan una cantidad considerable de residuos con un alto potencial de recuperación, entre los que se encuentran el botellas de vidrio, y botellas plásticas, siendo estos dos residuos reutilizables, su alternativa para ser un agregado ligero es nula. Se observa en la figura 11 los tipos de residuos biodegradables encontrados en las cafeterías.

Figura 11 Caracterización de los residuos Biodegradables.



Fuente: el autor.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye que los residuos biodegradables encontrados en las contenedores de las cafeterías del edificio A, y en la cafetería campestre del edificio G, por la preparación de comidas, de jugos, de ensaladas, las cuales algunos estudiantes no ingieren no son aprovechables ya que son residuos de alimentos procesados, los cuales se descartan por completa de la investigación. En la figura 12 se visualiza la

caracterización de los residuos ordinarios inertes, los cuales no son aprovechables ni reciclables.

Figura 12 Caracterización de residuos ordinarios e inertes.



Fuente: el autor.

Estos residuos ordinarios e inertes son residuos no peligrosos generados en las cafeterías caracterizadas, los residuos ordinarios encontrados son los siguientes: icopor con 52%, seguido de envolturas de comida, aluminio y servilletas usadas con un 26% y en un menor porcentaje los vasos desechables y pitillos con un 22%. Estos residuos son transportados al cuarto de almacenamiento temporal donde luego serán dispuestos por la empresa prestadora del servicio de aseo.

De los residuos ordinarios inertes, el más recomendado para el aligeramiento del concreto es el icopor (poliestireno expandido) por su cantidad generada, sus condiciones físico químicas, su densidad y por ser un residuo el cual no se puede reutilizar, ni reciclar, siendo más apropiado para servir como agregado liviano en la fabricación de ecoladrillos.

6.2. Clasificación de mezclas de concreto aligerado, elaborado con residuos plásticos y aligerados

En esta fase 2 se diseñan las mezclas de las probetas, para hallar las mejores dosificaciones, entre la combinación del cemento y los agregados, gruesos y aligerantes. De esta forma tomar las mejores dosificaciones y diseñar los ecoladrillos aligerados.

6.2.1. Mezclas de concreto testigo, y concretos aligerados con los agregados livianos, para elaboración de probetas.

A continuación se presentan los resultados de las dosificaciones de las mezclas con concreto normal y las otras dosificaciones adicionándoles agregados livianos.

A. Mezcla Concreto Normal o Testigo para probetas.

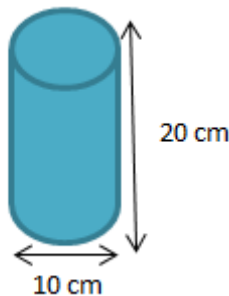
Se diseñó un concreto simple con el cual se fundieron las probetas, y se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión, para comparar los datos con los resultados de los concretos aligerados. En la tabla 16, se pueden observar las relaciones de cemento con respecto a los agregados utilizados para la elaboración de las probetas con concreto normal.

Tabla 16 Relación de cemento con los agregados.

A/C 0.45	Cemento	Arena	Triturado
	1	1.8	2.0
	1	1.8	2.2
	1	1.8	2.4

Fuente: el autor.

Se evidencia en la figura 13 las dimensiones de la probeta utilizada para la fabricación de los ecocilindros, hallando su respectivo volumen para saber las cantidades necesarias de cemento y agregados a utilizar.



$$V = \pi r^2 h$$

$$V = \pi (0.05)^2 (0.2)$$

$$V = 1.57 \times 10^{-3} \text{ Se multiplica por el número de probetas 6.}$$

$$V = 1.57 \times 10^{-3} * 6$$

$$V = 9.42 \times 10^{-3} m^3$$

$$9.42 \times 10^{-3} m^3 = 4.33 * 1.15 = 4.98 \text{ Kg de cemento.}$$

Figura 13 Dimensiones probetas.

Fuente: el autor

Según la metodología 460 Kg de cemento equivalen a $1m^3$

$$\text{Cantidad de Cemento}$$

$$460 \text{ Kg} \longrightarrow 1m^3 \quad x$$

Cantidad de Arena

1Kg de cemento se utiliza 1.8 Kg de arena
Para 4.98 Kg de cemento se utiliza 8.96 de arena

Cantidad de Triturado

1 Kg de cemento se utiliza 2.4 Kg de triturado
Para 4.98 Kg de cemento se utiliza 11.95 Kg de triturado

Se halló la dosificación de un cemento normal, a continuación se presenta las proporciones de diseño de mezclas las cantidades de cemento relación 1, arena relación 1:8, de triturado Relación 2:4, y agua con una relación de 0.45 presentado en la tabla 17.

Tabla 17 Cantidad de cemento y agregados para un concreto normal.

Relación cemento agregados a utilizar.			
1	1:8	2:4	0.45
Cemento (kg).	Arena (kg).	Triturado (kg).	Agua (l)
4.98	8.96	11.95	2.24

Después de la dosificación de la mezcla se prosigue a la fundición de la mezcla y la elaboración de las probetas.

B. Dosificación de mezcla Concreto con agregado aligerante (aserrín) para probetas.

Para la preparación de concreto se acordó trabajar sustituyendo un 5% (0,45 kg) a la arena del concreto testigo, y adicionando un 30% (1.49kg) de aserrín en la tabla 18 se muestran las cantidades a usar.

Tabla 18 Cantidades de cemento y agregados para probetas con aserrín

Cemento (kg).	Arena (kg).	Triturado (kg).	Aserrín (kg).	Agua (l)
4.98	8.51	11.95	1.49	2.24

Se hicieron 6 probetas con aserrín, utilizando el mismo método, y otras seis con un 10 % más de cemento, también se les adicionó un el doble de agua dando como resultados otros valores a usar con aserrín evidenciados en la tabla19.

Tabla 19 Cantidades de cemento y agregados para probetas con aserrín más 10% de cemento

Cemento (kg).	Arena (kg).	Triturado (kg).	Aserrín (kg).	Agua (l)
5.47	8.51	11.95	1.49	4.48

C. Dosificación de mezcla Concreto con agregado aligerante Cascarilla de arroz para probetas

Para la dosificación de la mezcla se disminuyó un 5% (0.45kg) a la arena, del concreto testigo y se adicionó un porcentaje de 30% (1.49 kg) en cascarilla de arroz, más un 80% (2.08 l) más de agua estas cantidades se evidencian en la tabla 20.

Tabla 20 Cantidades de Cemento y agregados para probetas con cascarilla de arroz.

Cemento (kg).	Arena (kg).	Triturado (kg).	Cascarilla de Arroz (kg).	Agua (l)
4.98	8.51	11.95	1.49	4.32

Se hicieron 6 probetas con aserrín, utilizando el mismo método, y otras seis con un 10 % más de cemento, en la tabla 21 se puede observar los datos.

Tabla 21 Cantidades de cemento y agregados para probetas con cascarilla de arroz más 10 % más de cemento

Cemento (kg).	Arena (kg).	Triturado (kg).	Cascarilla de Arroz (kg).	Agua (l)
5.47	8.51	11.95	1.49	4.32

D. Dosificación de mezcla Concreto con agregado aligerante poliestireno expandido (EPS) para probetas.

Para calcular la adición de poliestireno expandido como porcentaje del concreto se hicieron los siguientes cálculos.

$$1\text{m}^3 \text{ concreto} \text{---} 20\% \text{ de EPS} = 0.2\text{m}^3 \text{ de EPS}$$

Teniendo un valor de densidad del poli estireno expandido de 0.0192 g/cm^3 .

$$0.0192 \text{ g/cm}^3 = \frac{(100 \text{ cm})^3}{\text{m}^3}$$

$$19200 \text{ g/m}^3 = \frac{(\text{masa})}{0.2\text{m}^3}$$

M = 3840g para 20% de EPS de volumen 1m^3 de concreto.

$$V = 9.42 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

$$\begin{array}{ll} 1\text{m}^3 & 3840\text{g EPS} \\ 9.42 \times 10^{-3} \text{m}^3 & 36\text{g EPS} \end{array}$$

En la Tabla 22, se puede identificar la cantidad de materiales para la elaboración de las probetas aligeradas con poli estireno expandido. Se le adicionaron a la mezcla 3 l de agua de más, debido a la capacidad de

absorción del EPS. Se fabricaron 6 probetas, los datos se muestran en la tabla 22.

Tabla 22 Cantidad de cemento y agregados para probetas con EPS al 20%

Cemento (kg).	Arena (kg).	Triturado (kg).	Icopor (g)	Agua (l)
4.98	8.51	11.95	36	5.24

Se realizó otra dosificación con un 40% de EPS = $0.4m^3$ de EPS

$$0.0192 \text{ g/cm}^3 = \frac{(100 \text{ cm})^3}{m^3}$$

$$19200 \text{ g/m}^3 = \frac{(\text{masa})}{0.4m^3}$$

M = 7680 g para 40% de EPS de volumen $1m^3$ de concreto.

$$V = 9.42 \times 10^{-3} m^3$$

$1m^3$	3840g EPS
$9.42 \times 10^{-3} m^3$	72g EPS

En LA tabla 23 se aprecia la dosificación para la construcción de 6 probetas cilíndricas con material aligerante en este caso poliestireno expandido (icopor), se le aplico 3.4 litros de agua de más.

Tabla 23 Cantidad de cemento y agregados para probetas con EPS al 40%.

Cemento (kg).	Arena (kg).	Triturado (kg).	Icopor (g)	Agua (l)
4.98	8.51	11.95	72	5.6

Determinada cada dosificación de mezcla, se prosigue a la fabricación de las probetas cilíndricas, dejándose un día para desencoframiento, se introducen en agua de curado durante 7 días, por último se realizan las pruebas mecánicas de resistencia a la compresión para determinar qué tipo de mezcla es la más adecuada para la fabricación de los ecoladrillos.

6.2.2. Pruebas mecánicas de carga a las probetas aligeradas.

A. Pruebas de resistencia a la compresión de las probetas fabricadas con Concreto Normal.

Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión a cada uno de los especímenes fabricados, se tomaron pesos de las formaletas a utilizar, se establece el peso del cilindro seco con el cual se realizaran las diferencias con las probetas aligeradas, esto se percibe en la tabla 24.

Tabla 24 Pesos especímenes de prueba Testigo

Espécimen de prueba	g
Peso Formaleta	4188
Peso Formaleta + concreto fresco	8143
Peso del cilindro fresco	3955
Peso del cilindro seco	3924

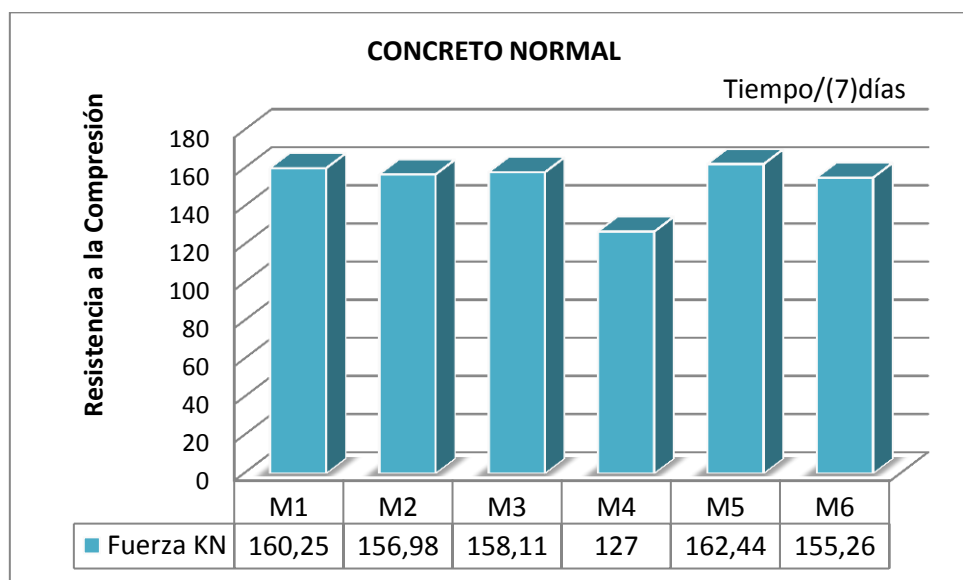
Tabla 25 resultados pruebas de resistencia de las probetas testigo.

Cilindro	Peso (g)	H (cm)	D (cm)	Resistencia		Esfuerzo KN/m ²
				Fuerza (KN)	MPa	
M1	3921	20,3	10	160,25	9.06	20403,61
M2	3928	20,4	10,2	156,98	8.88	19211,13
M3	3849	20	10,2	158,11	8.95	19349,42
M4	3937	20,4	10,3	127	7.18	15241,87
M5	3909	20,3	10,2	162,44	9.19	19879,33
M6	3905	20,2	10,2	155,26	8.79	19000,64

Fuente: el autor.

Según la tabla 25, se puede observar que el rango de las resistencias se encuentra entre 127 KN como la más baja y 162.44 KN como la más alta. El espécimen M5 fue el que dio mejores condiciones con un peso de 3909 g y soportando una fuerza de deformación de 162.44 KN, 9.19 MPa y un esfuerzo de 19879 KN/m².

Figura. 14 Resultados pruebas de resistencia a la compresión de Testigo.



Fuente: el autor.

En la figura 14 se observa las comparaciones entre las fuerzas soportadas por los especímenes con mezcla de concreto normales, detallando que el espécimen con mayor resistencia a la compresión es el M5.

B. Pruebas de resistencia a la compresión de las probetas fabricadas con agregado aligerante (aserrín) 30%.

Se tomó el peso de la formaleta, luego se pesó con el concreto fresco, se pesó en estado fresco y se dejó secar durante dos días en el horno. Se tomaron las diferencias entre las probetas fabricadas con agregado aligerante aserrín, y el concreto testigo. Estos datos se presentan en la tabla. 26.

Tabla 26 Pesos especímenes agregado liviano aserrín.

Espécimen de prueba	g	
Peso Formaleta	4127	
Peso Formaleta + concreto fresco	7415	
Peso del cilindro fresco	3288	
Peso del cilindro secado al horno	3013 1 ^{er} día	2803 2 ^{do} día
Diferencia en peso con el testigo	-911 g	-1121 g
Diferencia en porcentaje	23.21%	28.56%

Fuente: el autor.

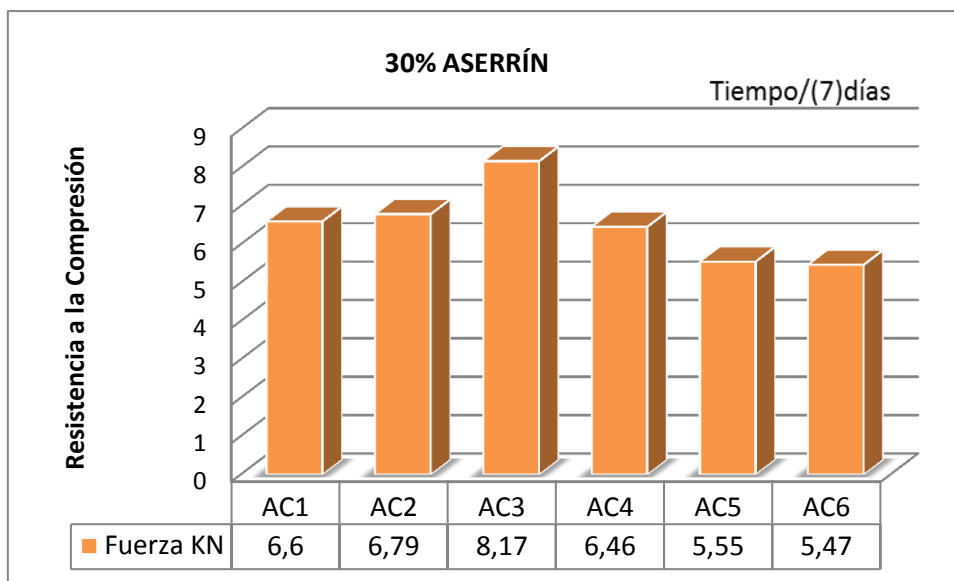
Tabla 27 Resultados pruebas de resistencia de las probetas aligeradas con aserrín.

Cilindro	Peso (g)	H (cm)	D (cm)	Resistencia		Esfuerzo KN/m ²
				Fuerza (KN)	MPa	
AC1	2808	20,3	10	6,6	0.32	840,33
AC2	2832	20	10,2	6,79	0.38	830,95
AC3	2818	20,2	10,1	8,17	0.46	1019,73
AC4	2827	20,5	10,2	6,46	0.37	790,57
AC5	2788	20,3	10,2	5,55	0.31	679,20
AC6	2783	20,4	10,2	5,47	0.31	669,41

Fuente: el autor.

Según los resultados determinados en el laboratorio y estipulados en la tabla 27, para las pruebas de resistencia a la compresión de las probetas aligeradas con aserrín, se analizó que el espécimen que menos resistencia soportó fue el AC6 con una fuerza de 5.47 KN, que representa 0.31 MPa y un esfuerzo de 669.41 KN/m², y el espécimen que más resistencia obtuvo fue el AC3 soportando una fuerza de 8.17 KN, la cual representa 0.46 MPa y un esfuerzo de 1019.73 KN/m², comparándolo con el espécimen testigo de prueba M5, la diferencia entre las fuerzas aplicadas es de 154.27 KN y su diferencia de peso es de 1091g.

Figura 15. Resultados pruebas de resistencia a la compresión Probetas con Aserrín.



Fuente: el autor.

Se observa en la figura 15 los resultados de los datos de las resistencias obtenidas en la máquina de compresión de los cilindros elaborados con agregado liviano aserrín al 30%, dando a conocer que el espécimen que más fuerza soportó a la compresión es el AC3.

C. Pruebas de resistencia a la compresión de las probetas fabricadas con agregado aligerante (aserrín) 30% + 10% más de cemento

Se realizó otra dosificación con el agregado aligerante aserrín, pero se le adicionó un 10% más de cemento, se tomó el peso de la formaleta, la formaleta con el concreto, los cilindros en estado fresco y seco, se dejan secar las probetas durante 2 días en el horno tomando las diferencias con el concreto testigo, se pueden presenciar estos datos a continuación en la tabla 28.

Tabla 28 Pesos especímenes agregado liviano con 10% más de cemento.

Espécimen de prueba	g	
Peso Formaleta	4208	
Peso Formaleta + concreto fresco	7587	
Peso del cilindro fresco	3379	
Peso del cilindro secado al horno	3080 1 ^{er} día	2877 2 ^{do} día
Diferencia en peso con el testigo	-844g	-1047g
Diferencia en porcentaje	21.50%	26.68%

Fuente: el autor.

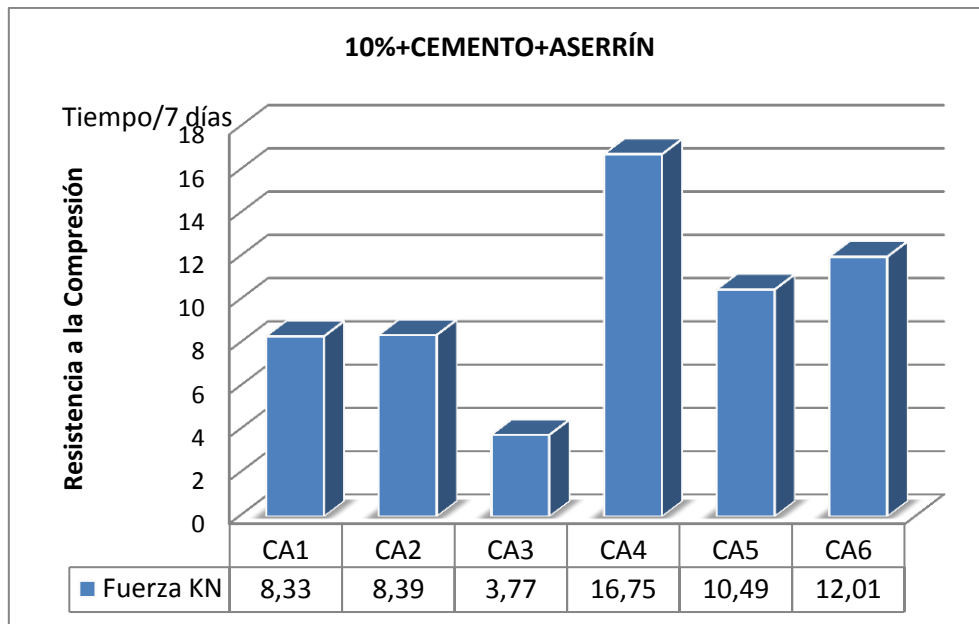
Tabla 29 Resultados pruebas de resistencia a Probetas con aserrín + 10% más de cemento.

Cilindro	Peso (g)	H (cm)	D (cm)	Resistencia	MPa	Esfuerzo
				Fuerza (KN)		
CA1	2914	20,3	10,1	8,33	0.47	1039,70
CA2	2909	20,3	10,2	8,39	0.47	1026,76
CA3	2877	20,1	10,2	3,77	0.50	461,37
CA4	2906	20,4	10,1	16,75	0.95	2090,64
CA5	2908	20,5	10,2	10,49	0.57	1283,76
CA6	2922	20,5	10,2	12,01	0.68	1469,77

Fuente: el autor.

Según los datos obtenidos en la tabla 29 y los resultados de las pruebas de compresión se analiza que el espécimen con menor resistencia es el CA3 reportando una fuerza de 3.77 KN la cual representa 0.50 MPa y un esfuerzo de 461 KN/m², el espécimen que mayor resistencia a la compresión obtuvo fue el CA4 soportando una fuerza de 16.75 KN, representando 0.95 MPa y un esfuerzo de 2090 KN/m², comparándolo con el espécimen testigo de prueba M5, la diferencia entre las fuerza aplicadas es 145.69 KN y su diferencia de peso es de 1003 g.

Figura 16. Resultados pruebas de resistencia a la compresión probetas con aserrín +10% C.



Fuente: el autor.

Se detalla en la figura 16 los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de las probetas fabricadas con material aligerante con aserrín adicionándole un 10% más de cemento, dando como resultado el espécimen que más fuerza soporto al CA4.

D. Pruebas de resistencia a la compresión de las probetas fabricadas con agregado aligerante (cascarilla de arroz30%)

Se realiza el mismo procedimiento pesando la formaleta, luego la formaleta con el concreto fresco aligerado con cascarilla de arroz o tamo. Se pesa el cilindro con concreto fresco, y luego seco, se dejan secar las probetas para realizar las pruebas de resistencia, los datos son incluidos en la tabla 30.

Tabla 30 Pesos especímenes agregado liviano con cascarilla de arroz.

Espécimen de prueba	G
Peso Formaleta	4190
Peso Formaleta + concreto fresco	6901
Peso del cilindro fresco	2711
Peso del cilindro seco	2399
Diferencia en peso con el testigo	-1525
Diferencia en porcentaje	38%

Fuente: el autor.

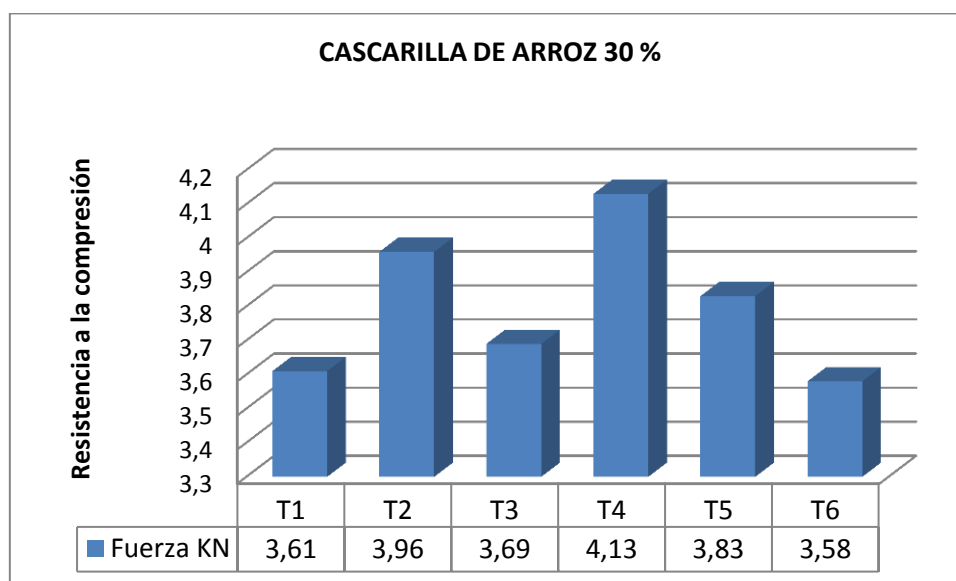
Tabla 31. Resultados pruebas de resistencia a probetas con cascarilla de arroz.

Cilindro	Peso (g)	H (cm)	D (cm)	Resistencia		Esfuerzo KN/m ²
				Fuerza (KN)	MPa	
T1	2358	20,6	10,2	3,61	0.20	441,79
T2	2428	20,5	10,2	3,96	0.22	484,62
T3	2354	20,5	10	3,69	0.21	469,82
T4	2404	20,7	10,1	4,13	0.23	515,48
T5	2466	20,6	10,2	3,83	0.22	468,71
T6	2474	20,4	10	3,58	0.20	455,81

Fuente: el autor.

Se obtiene los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión con el aligerante utilizado cascarilla de arroz o tamo, en la tabla 31 se analiza que el espécimen con menor resistencia a la compresión es el T6 reportando una fuerza de 3.58 KN, la cual representa 0.20 MPa y un esfuerzo de 455 KN/m², el espécimen con mayor resistencia es el T4 soportando una fuerza de 4.13KN, representando 0.23 MPa y un esfuerzo de 515 KN/m², comparándolo con el espécimen testigo de prueba M5, la diferencia entre las fuerzas aplicadas es de 158.31 KN y su diferencia de peso es de 1505 g.

Figura 17 Resultados pruebas de resistencia a la compresión probetas con Cascarilla de Arroz.



Fuente: el autor.

En la figura 17 se observan los resultados de las pruebas de resistencia a las probetas elaboradas con cascarilla de arroz como agregado liviano, dando como resultado el espécimen que mayor fuerza a la compresión soporto fue el T4.

E. Pruebas de resistencia a la compresión de las probetas fabricadas con agregado aligerante (cascarilla de arroz 30%) más 10 % de cemento.

Se experimentó con otro porcentaje de cemento buscando superar las resistencias expuestas por las probetas anteriores con cascarilla de arroz. Se pesó la formaleta, luego con el cemento fresco, el cilindro fresco y luego seco, dejándolas en curado durante 7 días y luego realizar las pruebas de resistencia. Estos datos se presentan a continuación en la tabla 32.

Tabla 32 Pesos especímenes agregado liviano con cascarilla de arroz más 10% de cemento.

Espécimen de prueba	g
Peso Formaleta	4186
Peso Formaleta + concreto fresco	7343
Peso del cilindro fresco	3157
Peso del cilindro seco	2910
Diferencia en peso con el testigo	-1014
Diferencia en porcentaje	26%

Fuente: el autor.

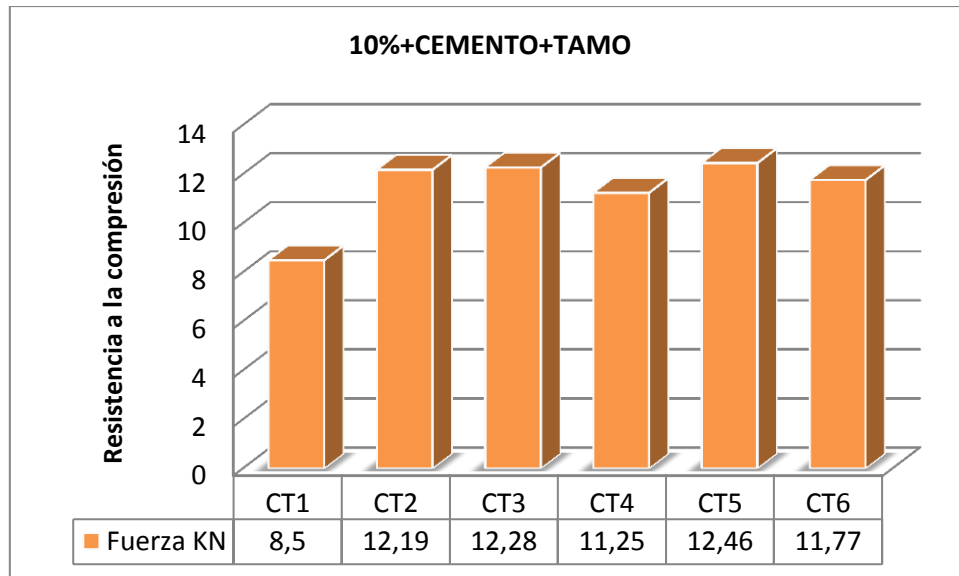
Tabla 33 Resultados pruebas de resistencia a probetas con cascarilla de arroz + 10% más de cemento

Cilindro	Peso (g)	H (cm)	D (cm)	Resistencia		Esfuerzo
				Fuerza(KN)	MPa	
CT1	2662	20,6	10,2	8,5	0.47	1040,22
CT2	2867	20,5	10,3	12,19	0.68	1462,97
CT3	2753	20,5	10,2	12,28	0.69	1502,82
CT4	2735	20,5	10,2	11,25	0.64	1376,76
CT5	2832	20,7	10,3	12,46	0.71	1495,38
CT6	2771	20,5	10,2	11,77	0.67	1440,40

Fuente: el autor.

Con los resultados del ensayo de resistencia a la compresión en la tabla 33 se analiza que la probeta con menor resistencia fue la CT1 soportando una fuerza de 8.5 KN, que interpreta 0.47 MPa, y un esfuerzo de 1040KN/m², y la de mayor resistencia fue la CT5 reportando una fuerza de 12.46 KN, la cual representa 0.71 MPa, y un esfuerzo de 1495 KN/m², comparándolo con el espécimen testigo M5, se obtiene una diferencia entre las fuerzas aplicadas de 149.98 KN, y una diferencia de peso de 1077 g.

Figura 18 Resultados pruebas de resistencia a la compresión con cascarilla de arroz +10% de cemento.



Se observa los resultados en la figura 18 los datos de las pruebas de compresión a las probetas con cascarilla de arroz más 10% de cemento, encontrando como el espécimen que más fuerza a la compresión soporto al CT5.

F. Pruebas de resistencia a la compresión de las probetas fabricadas con agregado aligerante (poli estireno expandido 20%).

Se procede al pesaje de la formaleta, formaleta con el concreto fresco, al espécimen fresco y seco, se dejó en agua de curado durante 7 días, y se procedió a las pruebas de resistencia. Estos datos se presentan en la tabla 34.

Tabla 34. Pesos especímenes con agregado liviano poliestireno expandido 20%.

Espécimen de prueba	g
Peso Formaleta	4180
Peso Formaleta + concreto fresco	7194
Peso del cilindro fresco	2972
Peso del cilindro seco	2850
Diferencia en peso con el testigo	1074
Diferencia en porcentaje	27%

Fuente: el autor.

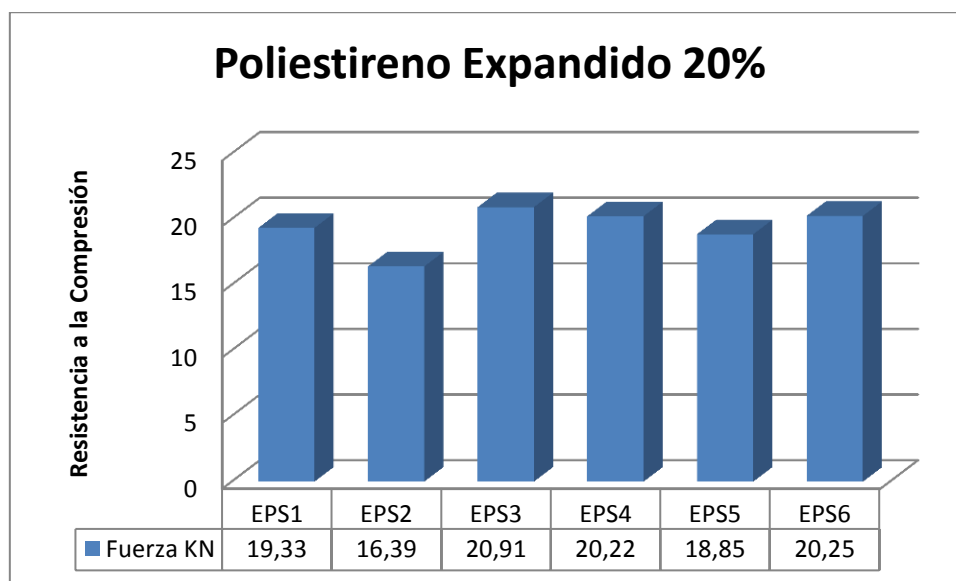
Tabla 35 Resultados pruebas de resistencia a probetas con poliestireno expandido 20%.

Cilindro	Peso (g)	H (cm)	D (cm)	Resistencia		Esfuerzo KN/m²
				Fuerza (KN)	MPa	
EPS1	2959	20,8	10,2	19,33	1.09	2365,59
EPS2	2893	20,4	10,2	16,39	0.93	2005,80
EPS3	2904	20,4	10	20,91	1.18	2662,33
EPS4	2902	20,5	10,1	20,22	1.14	2523,75
EPS5	2881	20,1	10	18,85	1.12	2400,05
EPS6	2857	20,1	10	20,25	1.15	2578,3

Fuente: el autor.

Según los datos obtenidos y analizados en la tabla 35 se establece que el espécimen con menor resistencia a la compresión es el EPS2 soportando una fuerza de 16.39 KN, representando 0.93 MPa, y un esfuerzo de 2005.80 KN/m² y el de mayor resistencia fue el EPS3, aguantando una fuerza aplicada de 20.91 KN, la cual representa 1.18 MPa, y un esfuerzo de 2662.33 KN/m², haciendo una comparación con el cilindro testigo M5, obteniendo una diferencia de fuerzas de 141.53, y una diferencia de peso de 1005g.

Figura. 19 Resultados pruebas de resistencia a probetas con poliestireno expandido 20%.



Fuente: el autor.

Observando los resultados en la figura 19, de las pruebas de compresión se analiza que el espécimen con mayor fuerza a la compresión reportada es el EPS3.

G. Pruebas de resistencia a la compresión de las probetas fabricadas con agregado aligerante (poliestireno expandido 40%) EPS.

Se realiza el mismo procedimiento para el ensayo de pesos con poliestireno expandido 40%, se pesa la formaleta con el concreto fresco, los cilindros fresco, y seco para hallar la diferencia, se desencofran y se dejan en curado durante 7 días, y se prosigue a las pruebas de resistencia. Estos datos se presentan en la tabla 36.

Tabla 36. Pesos especímenes con agregado liviano poliestireno expandido 40%.

Espécimen de prueba	g
Peso Formaleta	4195
Peso Formaleta + concreto fresco	6481
Peso del cilindro fresco	2234
Peso del cilindro seco	2180
Diferencia en peso con el testigo	1744
Diferencia de porcentaje	44.4%

Fuente: el autor.

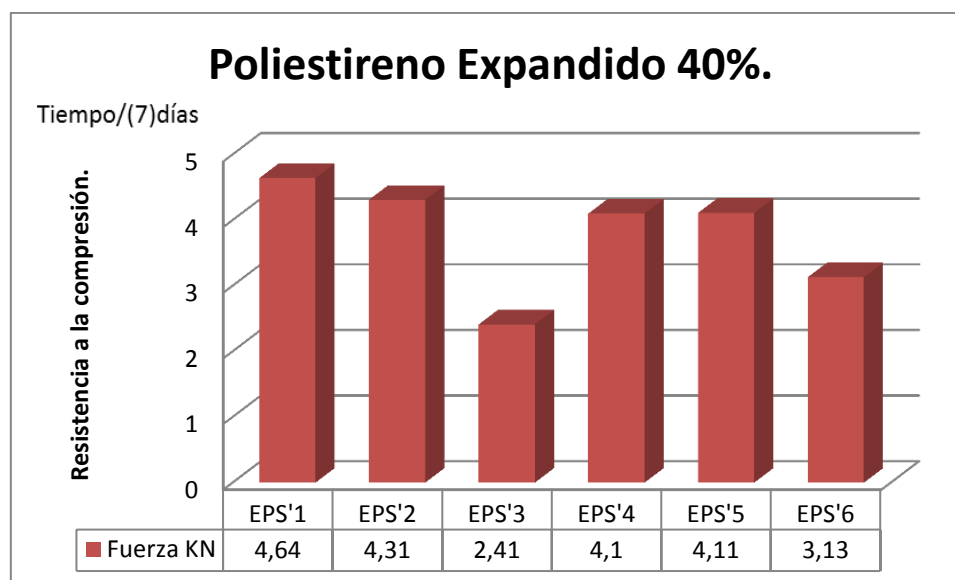
Tabla 37. Resultados pruebas de resistencia a probetas con poliestireno expandido 40%.

Cilindro	Peso (g)	H (cm)	D (cm)	Resistencia		Esfuerzo
				KN	MPa	KN/m ²
EPS'1	2223	20,1	10,1	4,64	0.26	579,14
EPS'2	2209	20,1	10,2	4,31	0.24	527,45
EPS'3	2040	20,1	10	2,41	0.14	306,85
EPS'4	2036	20	10,2	4,1	0.23	501,75
EPS'5	2102	19	10	4,11	0.23	523,30
EPS'6	1980	18	10,1	3,13	0.18	390,67

Fuente: el autor.

Según los datos obtenidos y los resultados en la tabla 37 se analiza que el espécimen con menor resistencia a la deformación es el EPS'3 soportando una fuerza de 0.14 KN, comprendiendo 8.95 MPa y un esfuerzo de 306.85 KN/m² y el de mayor resistencia fue el EPS'1 reportando una fuerza de 4.64 KN, representando 0.26 MPa y un esfuerzo de 579, 14 KN/m², haciendo una comparación con el cilindro testigo M5, obteniendo una diferencia fuerzas aplicadas de 157.8 KN, y una diferencia de peso de 1683g.

Figura 20. Resultados pruebas de resistencia a probetas con poliestireno expandido 40%.



Fuente: el autor.

Analizando los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia de las probetas aligeradas con concreto liviano a partir de poliestireno expandido 40%, se analiza en la figura 20 que el espécimen que mayor fuerza registro fue el EPS'1.

A continuación se presenta la comparación entre las fuerzas aplicadas a las probetas en el ensayo de resistencia a la compresión expresadas en la tabla 38.

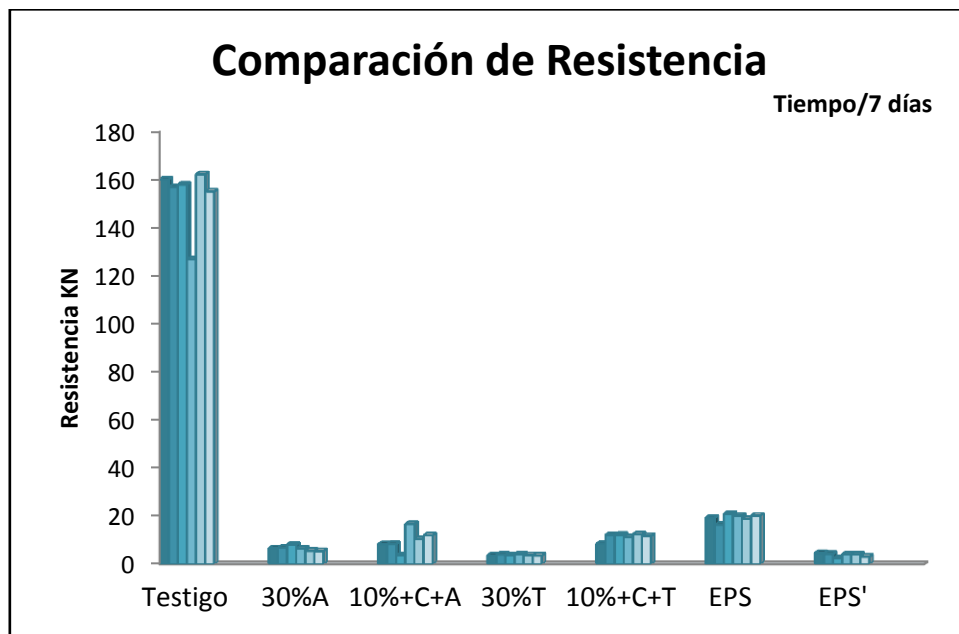
Tabla 38 Comparación entre las fuerzas soportadas por las probetas entre el testigo, y los residuos aligerantes.

Concreto Normal	30% Aserrín	10% + Cemento + Aserrín	30% Tamo	10% + Cemento + Tamo	Icopor 20%	Icopor 40%
KN	KN	KN	KN	KN	KN	KN
160,25	6,6	8,33	3,61	8,5	19,33	4,64
156,98	6,79	8,39	3,96	12,19	16,39	4,31
158,11	8,17	3,77	3,69	12,28	20,91	2,41
127	6,46	16,75	4,13	11,25	20,22	4,10
162,44	5,55	10,49	3,83	12,46	18,85	4,11
155,26	5,47	12,01	3,58	11,77	20,25	3,13

Fuente: el autor.

Analizando los resultados obtenidos de fuerzas aplicadas, se concluye que el material liviano más recomendable para el aligeramiento de concreto para la fabricación de los ecoladrillos es el poliestireno expandido al 20%, ya que su valor de resistencia a la compresión obtenida corresponde a un rango superior a los otros materiales utilizados.

Figura 21. Comparación de resistencias obtenidas entre el testigo, y los residuos aligerantes.



Fuente: el autor.

Según la figura 21 se puede observar que el material aligerante con mayores resultados de resistencia a la compresión es el poliestireno expandido al 20%.

6.3. Pruebas mecánicas de carga a los ladrillos elaborados con residuos plásticos y aligerados.

Con el fin de cumplir el tercer objetivo se utilizaron los datos obtenidos de las pruebas realizadas a las probetas aligeradas con los residuos, tomando los mejores resultados se diseñaron las mezclas para la elaboración de los ecoladrillos aligerados con los residuos.

A. Concreto Normal

La dosificación partió de la mezcla estándar de un concreto simple, con el objetivo de construir un ladrillo testigo para compararlo con los ecoladrillos aligerados.

A/C 0.45	Cemento	Arena	Triturado
	1	1.8	2.0
	1	1.8	2.2
	1	1.8	2.4

Se utilizaron 25 formaletas de madera con unas dimensiones de 15 cm de altura, 25 cm de largo y 7 cm de ancho. Se fabricaran 5 ladrillos testigos, las dimensiones de los ecoladrillos elaborados las observamos en la figura 22, con el volumen y las cantidades de cemento requeridas.

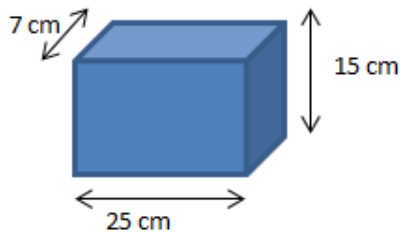


Figura 22 Dimensiones de ecoladrillo

Fuente: el autor

$$V = L * L * L$$

$$V = 15 * 25 * 7$$

$$V = 2625 \text{ cm}^3 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000000} = 0.0026 \text{ m}^3$$

$$V = 0.0026 * 5$$

$$V = 0.013 \text{ m}^3$$

Según la metodología 460 Kg de cemento equivalen a 1m³

Cantidad de Cemento

$$460 \text{ Kg} \longrightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$x \quad 0.013 \text{ m}^3 = 6 \text{ Kg} * 1.15 = 6.9 \text{ kg de cemento.}$$

Cantidad de Arena

1Kg de cemento se utiliza 1.8 Kg de Arena
Para 6 Kg de cemento se utiliza 10.8 kg arena.

Cantidad de Triturado

1 Kg de cemento se utiliza 2.4 Kg de triturado
Para 6 Kg de cemento se utiliza 14.4 kg de triturado

Cantidad de agua.

1 Kg de cemento se utiliza 0.45 l de agua
Para 6 Kg de cemento se utiliza 2.76 l de agua.

Se halló la dosificación de un cemento normal, a continuación se representan las dosificaciones para el ladrillo testigo.

Relación cemento agregados a utilizar.			
1	1:8	2;4	0.45
Cemento (kg).	Arena (kg).	Triturado (kg).	Agua (l)
6.9	10.8	14.4	2.76

Después de la dosificación de mezcla se prosigue a la fundición de la mezcla y la elaboración de las ecoladrillos con los agregados livianos.

B. Dosificación de mezcla Concreto con agregado aligerante (aserrín 30%) para elaboración de ecoladrillos.

Para la dosificación de la mezcla se le disminuyó un 5% a la arena del concreto testigo y se le adicionó 30% de aserrín, se le adicionó un 100% más de agua.

Cantidad de cemento

$$460 \text{ Kg} \xrightarrow{x} 1\text{m}^3$$
$$0.013\text{m}^3 = 6 \text{ Kg} * 1.15 = 6.9 \text{ kg de cemento.}$$

Cantidad de arena

$$10.8 \text{ kg arena} \quad 100\%$$
$$X \text{ arena} \quad 5 \% = 0.54 \text{ kg.}$$

$$10.8 - 0.54 = 10.26 \text{ kg de arena}$$

Cantidad de Triturado

1 Kg de cemento se utiliza 2.4 Kg de triturado
Para 6 Kg de cemento se utiliza 14.4 kg de triturado

Cantidad de aserrín

6 kg cemento 100%
X 30% = 1.8 kg de aserrín

Se hallan las dosificaciones para la elaboración del ecoladrillo con aserrín las cuales se presentan en la tabla 39.

Tabla 39 Cantidad de cemento y agregados para ecoladrillo con aserrín.

Cemento (kg).	Arena (kg).	Triturado (kg).	Aserrín (kg).	Agua (l)
6.9	10.26	14.4	1.8	5.52

Se fabricaron 5 ecoladrillos con aligerante aserrín 30%.

C. Diseño de mezcla Concreto con agregado aligerante (Cascarilla de arroz 30%) para elaboración de ecoladrillos.

Para la dosificación de la mezcla se le disminuyó un 5% a la arena, del concreto testigo y se adicionó 30% en cascarilla de arroz, más un 80% de agua,

Cantidad de cemento

460 Kg \longrightarrow 1m³
X 0.013m³ = 6 Kg * 1.15 = 6.9 kg de cemento.

Cantidad de arena

10.8 kg arena 100%
X arena 5 % = 0.54 kg.

10.8 – 0.54 = 10.26 kg de arena

Cantidad de Triturado

1 Kg de cemento se utiliza 2.4 Kg de triturado
Para 6 Kg de cemento se utiliza 14.4 kg de triturado

Cantidad de cascarilla de arroz

6 kg cemento 100%
X 30% = 1.8 kg de cascarilla de arroz

Se hallan las dosificaciones de los ecoladrillos diseñados con aligerante cascarilla de arroz, los cuales se presenta en la tabla 40.

Tabla 40 Cantidad de cemento y de agregados para ecoladrillo con cascarilla de arroz.

Cemento (kg).	Arena (kg).	Triturado (kg).	Cascarilla de Arroz (kg).	Agua (l)
6.9	10.26	14.4	1.8	4.96

D. Diseño de mezcla Concreto con agregado aligerante poli estireno expandido (EPS 10%) para elaboración de ecoladrillos.

Cantidad de poli estireno expandido.

Se realizaron los siguientes cálculos para determinar la cantidad de poliestireno expandido.

$$1\text{m}^3 \text{ concreto} \rightarrow 10\% \text{ de EPS} = 0.1\text{m}^3 \text{ de EPS}$$

Teniendo un valor de densidad del poli estireno expandido de 0.0192 g/cm^3 .

$$0.0192 \text{ g/cm}^3 = \frac{(100 \text{ cm})^3}{\text{m}^3}$$

$$19200 \text{ g/m}^3 = \frac{(\text{masa})}{0.1\text{m}^3}$$

1920g para 10% de EPS de volumen 1m^3 de concreto.

$$V = 0.013\text{m}^3 \text{ De 5 ecoladrillos.}$$

$$\begin{array}{ll} 1\text{m}^3 & 1920\text{g EPS} \\ V = 0.013\text{m}^3 & 25\text{g EPS} \end{array}$$

Cantidad de cemento

$$\begin{array}{l} 460 \text{ Kg} \longrightarrow 1\text{m}^3 \\ \times \qquad \qquad \qquad 0.013\text{m}^3 = 6 \text{ Kg} * 1.15 = 6.9 \text{ kg de cemento.} \end{array}$$

Cantidad de arena

$$\begin{array}{ll} 10.8 \text{ kg arena} & 100\% \\ X \text{ arena} & 5 \% = 0.54 \text{ kg.} \end{array}$$

$$10.8 - 0.54 = 10.26 \text{ kg de arena}$$

Cantidad de Triturado

1 Kg de cemento se utiliza 2.4 Kg de triturado
Para 6 Kg de cemento se utiliza 14.4 kg de triturado

Se observa la dosificación para la elaboración de 5 ecoladrillos y sus cantidades de agregados como de cemento en la tabla 41.

Tabla 41 Cantidades de Cemento y agregados para ecoladrillo con EPS.

Cemento (kg).	Arena (kg).	Triturado (kg).	Icopor (g)	Agua (l)
6.9	10.26	14.4	25	5.4

6.3.1. Pruebas de resistencia a la compresión a los ecoladrillos elaborados con residuos plásticos y aligerados.

Pruebas de resistencia a la compresión de las ecoladrillos elaborados con concreto normales.

Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión a cada uno de los especímenes fabricados empezando por los ecoladrillos testigos, y por cada uno de los residuos usados para el aligeramiento.

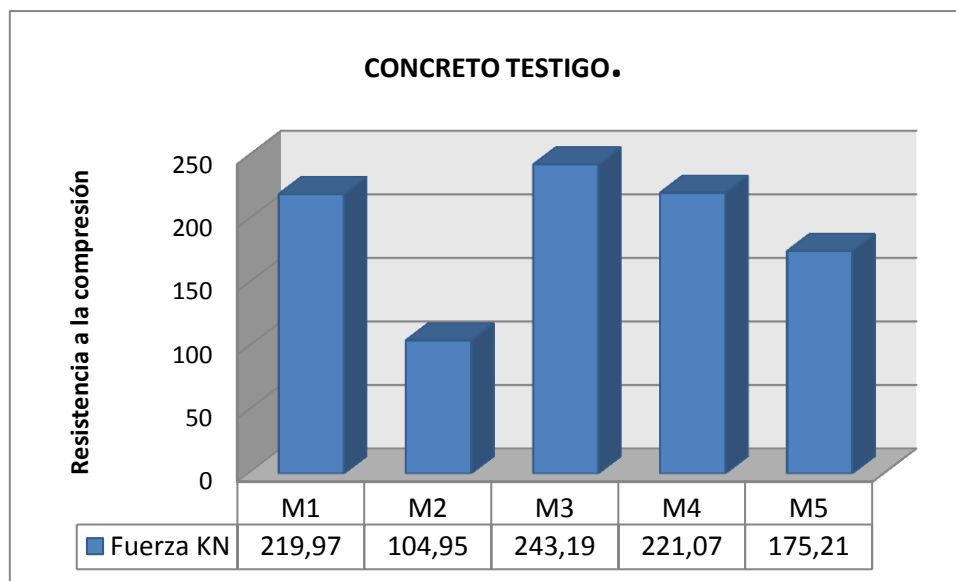
Tabla 42 Resultados pruebas de resistencia de compresión a ecoladrillos testigo.

Ecoladrillo	Peso (Gr)	H (cm)	L (cm)	A (cm)	Resistencia		Esfuerzo KN/m ²
					Fuerza(KN)	MPa	
M1	6121	15,1	25,3	7,2	219,97	12,45	5757,92
M2	6167	15	25,5	7,3	104,95	5,91	2743,79
M3	6179	15,1	25,1	7,2	243,19	13,76	6416,45
M4	6223	15,1	25,1	7,1	221,07	12,5	5832,82
M5	6188	15	25,1	7,3	175,21	9,91	4653,65

Fuente: el autor.

Según los datos obtenido se analiza en la tabla 42 que el ecoladrillo testigo que menos resistencia obtuvo fue el M2 soportando una fuerza de 104.95 KN, que representa 5.91 MPa y un esfuerzo de 2743 KN/m², el ecoladrillo con mayor resistencia fue el M3 resistiendo 243.19 KN de compresión, los cuales representan 13.76 MPa y un esfuerzo de 6417 KN/m², con el cual se harán las comparaciones debidas.

Figura 23. Resultados pruebas de resistencia de compresión a ecoladrillos testigos.



Fuente: el autor.

Se observa en la figura 23 los valores de las fuerzas aplicadas a los ecoladrillos con una mezcla normal, presenciando el de mayor resistencia a la compresión el espécimen M3.

E. Pruebas de resistencia a la compresión de ecoladrillos elaborados con agregado aligerante (aserrín) 30%.

Se fundieron los ecoladrillos con agregado liviano aserrín al 30% se desencofraron y se depositaron en agua de curado durante 7 días, se dejaron secar y luego se prosigió a las pruebas mecánicas de compresión.

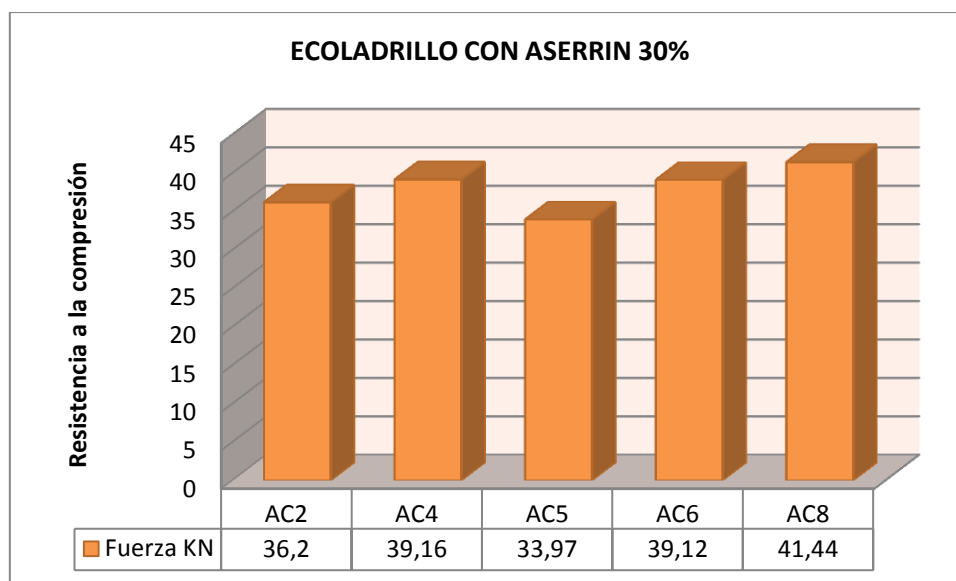
Tabla 43 Resultados de pruebas de resistencia a la compresión aligerados con aserrín 30%.

Ecoladrillo	Peso (g)	H (cm)	L (cm)	A (cm)	Resistencia		Esfuerzo KN/m ²
					Fuerza(KN)	MPa	
AC2	4869	15,1	25	7	36,2	2,05	958,94
AC4	4986	15,4	25,2	7,2	39,16	2,22	1009,07
AC5	5058	15,1	25,1	7,2	33,97	1,92	896,28
AC6	4955	15	25,1	7,1	39,12	2,21	1039,04
AC8	5037	15	25,2	7,2	41,44	2,34	1096,29

Fuente: el autor.

Según los resultados de la tabla 43 de resistencia a la compresión el ecoladrillo aligerado con aserrín que menos resistencia obtuvo fue el AC2 el cual reporto una fuerza de 36.2 KN, representando 2.05 MPa, y un esfuerzo de 958.9404 KN/m², el que más resistencia dio fue el AC8 soportando una fuerza de 41.44 KN, la cual representa 2.34 MPa y un esfuerzo de 1096.2963 KN/m². Haciendo una comparación con ecoladrillo testigo se halla una diferencia de fuerzas de 201.75 KN y una diferencia de peso de 1142 g. Dada la figura 24 se analiza que el ecoladrillo con aserrín que más fuerza de compresión resistió fue el AC8.

Figura 24 Resultados pruebas de resistencia a ecoladrillos aligerados con aserrín 30%.



Fuente: el autor.

F. Pruebas de resistencia a la compresión de las ecoladrillos fabricados con agregado aligerante (cascarilla de arroz 30%)

Con la mejor dosificación de las probetas con aligerante de cascarilla de arroz se dosificaron los ecoladrillos, los cuales se fundieron y se dejaron en agua de curado durante 7 días.

Según los resultados obtenidos en la tabla 44 se analizó que el ecoladrillo aligerado con cascarilla de arroz que menos resistencia a la compresión soporto fue el T4 reportando una fuerza de 34.94 KN, correspondiente a 1.98 MPa y un esfuerzo de 931 KN/m², el ecoladrillo que más resistencia obtuvo fue el T9 soportando una fuerza de 39.55 KN, la cual representa 2.24 MPa, y un esfuerzo de 1054 KN/m², se hace una diferencia entre el testigo y el aligerado con cascarilla de arroz, obteniendo una diferencia de fuerzas de 203.64 KN y una diferencia de peso de 1336 g.

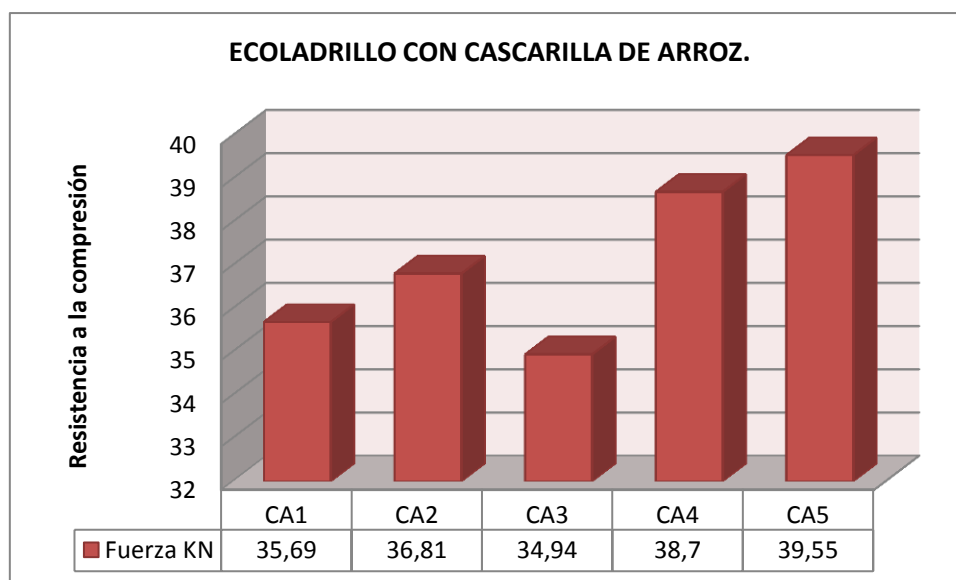
Tabla 44 Resultados de pruebas de resistencia a la compresión de ecoladrillos aligerados con cascarilla de arroz 30%.

Ecoladrillo	Peso (g)	H (cm)	L (cm)	A (cm)	Resistencia		Esfuerzo KN/m ²
					KN	MPa	
T1	4686	15	25	7,1	35,69	2,02	951,73
T3	4770	14,9	25,1	7,4	36,81	2,08	984,25
T4	4860	15	25	7,1	34,94	1,98	931,73
T8	4657	15	25	7,2	38,7	2,19	1032
T9	4843	15	25	7,2	39,55	2,24	1054,66

Fuente: el autor.

Analizando la figura 25 se concluye que el espécimen que mayor fuerza de compresión soporto es el CA5.

Figura 25. Resultados pruebas de resistencia a ecoladrillos aligerados con cascarilla de arroz.



Fuente: el autor.

G. Pruebas de resistencia a la compresión de los ecoladrillos construidos con agregado liviano (poliestireno expandido 10%)

Se realizó la fundición de los ecoladrillo con poliestireno expandido al 20%, se dejó en agua de curado durante 7 días, y se realizan las pruebas de resistencia a la compresión.

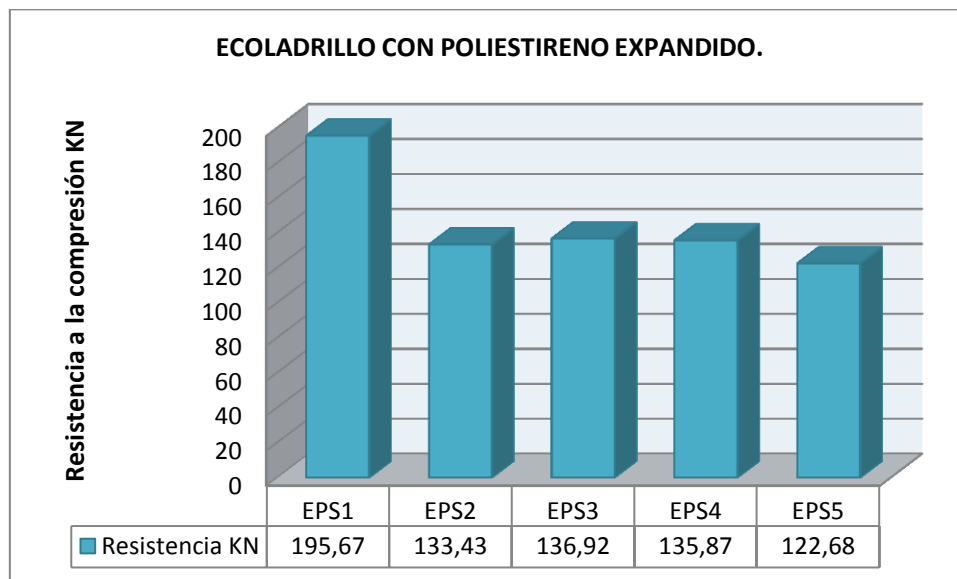
Tabla 45 Resultados de pruebas de resistencia a la compresión a ecoladrillos aligerados con poliestireno expandido 10%.

Ecoladrillo	Peso (g)	H (cm)	L (cm)	A (cm)	Resistencia		Esfuerzo KN/m ²
					KN	MPa	
EPS1	5735	15	25	7,1	195,67	11,06	5217,86
EPS2	5803	15,3	25,2	7,2	133,43	7,55	3460,68
EPS3	5907	15,1	25,1	7,2	136,92	7,74	3612,56
EPS4	5864	15,2	25,1	7,3	135,87	7,68	3561,28
EPS5	5854	15,1	25,1	7,2	122,68	6,94	3236,85

Fuente: el autor.

Se obtiene los datos a resistencias a la compresión en la tabla 45 de los ecoladrillos elaborados con agregado liviano poliestireno expandido 10%, y se obtiene que el ecoladrillo con la menor resistencia es el EPS5, soportando una fuerza de 122.68 KN, que representa 6.94 MPa, y un esfuerzo de 3236 y el ecoladrillo con la mayor resistencia fue el EPS1 reportando una fuerza de 195.67, y obteniendo 11.06 MPa y un esfuerzo de 5217, se hace la diferencia con el ecoladrillo testigo, obteniendo una diferencia de fuerzas de 47.52 KN, y una diferencia de peso de 444 g.

Figura 26 Resultados pruebas de resistencia a ecoladrillo aligerados con EPS 10%.



Fuente: el autor.

Se puede observar en la figura 26 las pruebas de resistencia a la compresión de los ecoladrillos realizados con EPS 10%, dando como mejor resultado el espécimen 1.

H. Comparación entre las fuerzas a la Compresión resistidas por los Ecoladrillos aligerados con residuos.

Se analizó las pruebas de resistencias encontradas y se hizo una comparación entre el ladrillo testigo, y los ecoladrillos con materiales aligerantes, encontrando que el ecoladrillo con mayor resistencia y más aproximado a la resistencia de los ladrillos testigo es el espécimen 1 con EPS. Estos datos se escriben en la tabla 46.

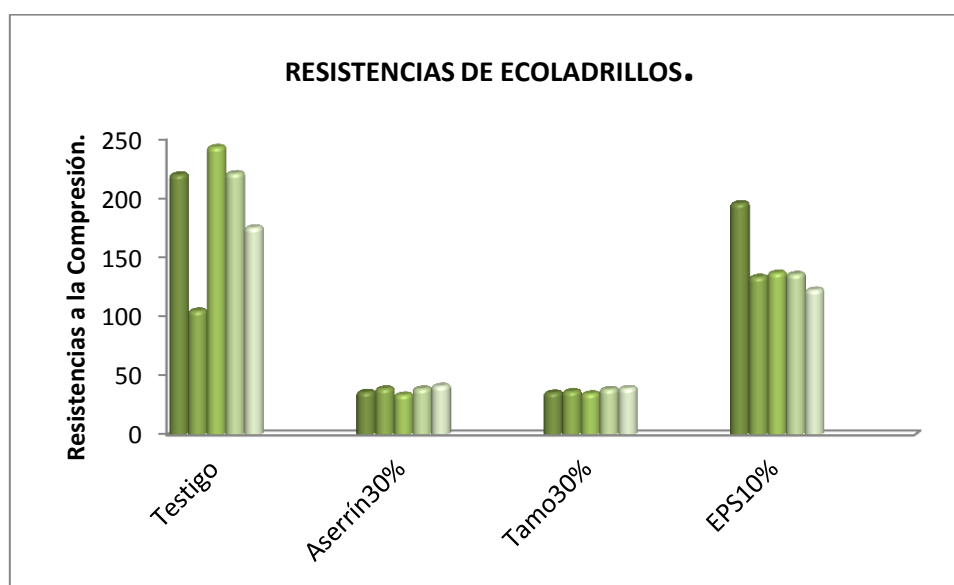
Tabla 46 Comparación entre las fuerzas a la compresión resistidas por los ecoladrillos aligerados con residuos.

Testigo	Aserrín30%	Tamo30%	EPS10%
KN	KN	KN	KN
219,97	36,2	35,69	195,67
104,95	39,16	36,81	133,43
243,19	33,97	34,94	136,92
221,07	39,12	38,7	135,87
175,21	41,44	39,55	122,68

Fuente: el autor.

Se hizo una comparación grafica de las resistencias obtenidas con el ladrillo testigo y con los ecoladrillos aligerados con materiales livianos, identificando el de más alta resistencia. Se observa en la figura 27 la comparación entre los resultados de resistencia entre el ladrillo testigo y los ecoladrillos aligerados a base de residuos, dando como mejor resultado los ecoladrillos aligerados con poli estireno expandido, el espécimen EPS1 fue el que mayor resistencia a la compresión obtuvo.

Figura 27 Comparación entre resistencias testigo y con ecoladrillos.



Fuente: el autor.

Comparación de pesos entre el ladrillo testigo y los ecoladrillos aligerados con materiales livianos.

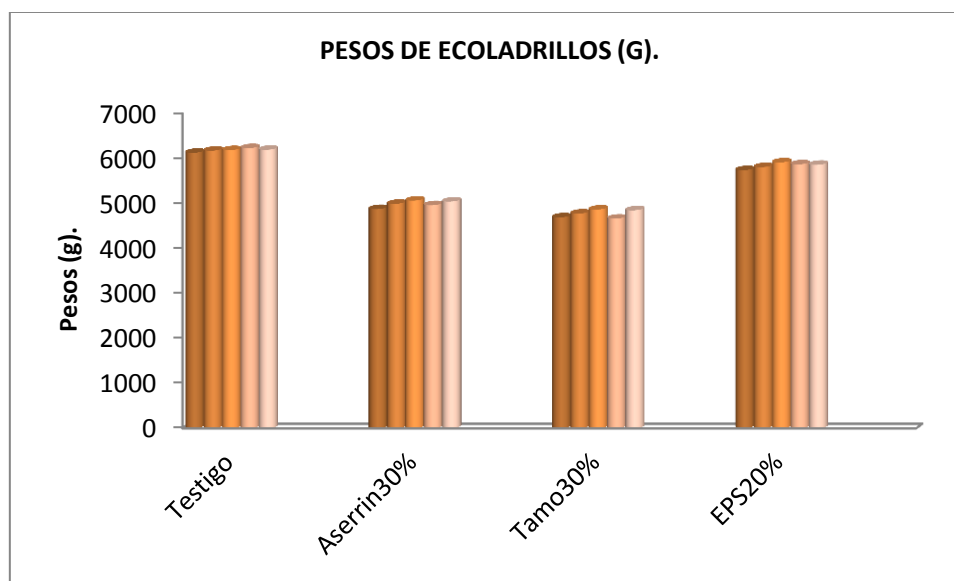
Se realizó un cuadro comparativo entre los pesos obtenidos de todos los ecoladrillos contra el testigo como se percibe en la tabla 47, obteniendo que el ecoladrillo que más se aligero fue el espécimen de Tamo 4 con un peso de 4657 g.

Tabla 47 Comparación entre los pesos obtenidos entre el testigo y los residuos aligerantes.

Testigo	Aserrín30%	Tamo30%	EPS20%
Peso (g).	Peso (g).	Peso (g).	Peso (g).
6121	4869	4686	5735
6167	4986	4770	5803
6179	5058	4860	5907
6223	4955	4657	5864
6188	5037	4843	5854

Fuente: el autor.

Figura 28 Comparación de pesos entre el testigo y los ecoladrillos aligerados con residuos.



Fuente: el autor.

Comparando los ecoladrillos obtenidos y analizando los valores de los gráficos, se analizó que los ecoladrillos que más redujeron su peso fueron los ecoladrillos de aserrín y de tamo, respectivamente. Los ecoladrillos que menos redujeron su peso fueron los de EPS. Esto se logra identificar en la figura 28

7. CONCLUSIONES

Según esta investigación el concreto aligerado es una alternativa en la construcción de obras civiles, los usos y aplicaciones pueden ser ilimitados por la creatividad del constructor. Se debe empezar a cambiar el método de construir y este concreto aligerado fabricando ecoladrillos es una manera amigable y ecológicamente viable.

Se pudo comprobar que el poli estireno expandido es un residuo industrial el cual actúa de manera eficiente como aligerante del concreto, este a su vez se puede aprovechar de los residuos ordinarios de las cafeterías y restaurante.

Se logró demostrar que tipos de residuos como el aserrín y el tamo se pueden utilizar como material aligerante para el concreto debido a que no aumentan la masa del espécimen con relación a un agregado común

Se estableció una dosificación y diseño de mezcla para cada residuo empleado como material aligerante, icopor, tamo y aserrín a partir de esta clasificación se identificó, que disminuyendo un 5 % en arena, y agregando un 30 % del material aligerante se lograba una mezcla homogénea permitiendo aligerar el concreto de una forma adecuada.

Los resultados más sobresalientes de las pruebas mecánicas de resistencia a la compresión realizadas a los ecoladrillos fueron los especímenes con poli estireno expandido, el cual el mejor espécimen fue el EPS1 dando como resultado 195.67 KN, y el espécimen que más se aligero fue el T8 4657 g con cascarilla de arroz.

Los resultados obtenidos mostraron que se obtuvieron especímenes con baja densidad y elevada porosidad que los convierte en candidatos para materiales de construcción para aislamiento térmico y acústico, pero no para fabricar elementos portantes debido a su baja resistencia.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir con la investigación de concretos aligerados y de los ecoladrillos a base de agregados livianos, ya que es un tema tan amplio y con gran posibilidad de aplicación en viviendas.

Se aconseja realizar una investigación donde aparezca como variable el uso de fibras de polipropileno y poliéster con la mezcla de poliestireno expandido, de tal forma que se analice su influencia en las propiedades del concreto reforzado.

Desarrollar procedimientos de pruebas estandarizadas para determinar las propiedades de resistencia al fuego de los diversos tipos de ecoladrillos fabricados, de igual forma pruebas de aislamiento térmico y acústico.

Se indica realizar pruebas a largo plazo de los especímenes establecidos para comprobar las propiedades mecánica y su variación a medida del tiempo, de tal forma que se describa e comportamiento de las fibras de aligeramiento.

Se sugiere continuar este estudio incluyendo la factibilidad económica de la producción de concreto aligerado para aplicaciones arquitectónicas.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agreda T, Luis X, Keiner A, Magin A, (2012), Universidad de Oriente de Venezuela, Análisis de la Propiedades mecánicas del mortero modificado a base de residuos industriales, para ser usado en elementos estructurales y no estructurales.

Arias A, Martínez L, (2001), Universidad Pontificia Bolivariana, Uso de fibras de polipropileno y plásticos reciclados en pavimentos de concreto "fibro-concreto"

Arango J, (1990), Reunión del concreto 1990 materiales.

Carvajal L, Loaiza J, (1975) "Preparación y caracterización de concreto ligero (agregado liviano: cascarilla de arroz) impregnado con poliestireno". Universidad Industrial de Santander.

Delgado H, Sánchez H, (2005), Análisis del comportamiento mecánico de un concreto aligerado con la corteza que contiene las semillas del pino cupressus sempervirens, Universidad Pontificia Bolivariana.

Gutiérrez J. (1995), Posible utilización del bagazo y del bagazo de la caña de azúcar calcinado en la elaboración de elementos estructurales del concreto aligerado, Universidad Industrial de Santander.

Hernández N, (2013), Evaluación mecánica de Ecoladrillos elaborados con residuos plásticos, Universidad Pontificia Bolivariana.

Ingeniería Civil y arquitectura. Aligerantes de concreto permanentes para losas y muros aligerados, Norma Técnica Colombiana NTC 4253 (1997)

Linero A, Andrade J, Investigación sobre la posible utilización de los residuos de madera como agregado en el concreto liviano, Universidad Industrial de Santander.

Morantes H, (1970), posible utilización de la cascarilla de arroz como agregado en el concreto liviano, Universidad Industrial de Santander.

Sarmiento C, Herrera E, (1992) propiedades mecánicas del concreto aligerado con cascarilla de arroz adicionándole fibras poliméricas, Universidad Industrial de Santander.

Sánchez D, (2001), Tecnología del concreto y del mortero. Santa fe de Bogotá, Bhandar Editores.

Sánchez D, (2001) Concreto y morteros manejo y colocación en obra, Bogotá.

Valdez L, Suarez G, (2010) Hormigones livianos, Guayaquil

Tejada, Julio (2004). Recuperación y Reciclado de EPS (icopor) con su respectiva aplicación en el ámbito de la construcción (Corporación Profesional de Boston) Universidad de Medellín, Colombia.

Green Living projects, 2010 Green Living Projects. Certification LEED, <http://www.greenlivingprojects.com/>

Vivienda y Construcción Sostenible, http://www.soyecolombiano.com/site/Portals/0/documents/biblioteca/A_PUBLICACIONES/I_FASCICULOS_COLECCIONABLES_EL_ESPECTADOR/Fasciculo_9_Soy%20Ecolombiano_FINAL_BAJA_65-72.pdf