



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

“ESTUDIO Y FABRICACIÓN DE LADRILLO RECICLADO”

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Royman Miguel Lanuza Bucardo

Br. Marvin Benjamín Betanco Gadea

Br. Claudio José Parrilla Torres

Tutor

Ing. Silvia Lindo O'connors

Managua, Nicaragua 2021

Dedicatoria

El presente trabajo investigativo lo dedicamos principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres, Marvin Betanco, Blanca Gadea, Miguel Lanuza, Urania Bucardo, Claudio Parrilla y Jilma Torres les agradecemos su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Es un orgullo y privilegio el ser sus hijos y en este momento al culminar esta etapa, queremos devolver un poco de lo mucho que nos han dado.

A nuestro amigo Ing. Raúl Briones por estar siempre presente, acompañándonos y por el apoyo moral, que nos brindó a lo largo de esta etapa de nuestras vidas. A todas esas personas que nos han apoyado, tíos, abuelos, hermanos y hermanas a todas ellas, que han facilitado nuestro trabajo con su granito de arena permitiendo se realice con éxito; hoy les dedicamos.

Agradecimiento

Nos gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas y colegas nos han prestado durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo. En primer lugar, quisiéramos agradecer a nuestros padres que nos han ayudado y apoyado en todo momento, nuestra tutora, Ing. Silvia Lindo O'connors, por habernos orientado en todo lo que necesitamos, gracias por sus consejos, siendo un pilar indispensable para el desarrollo de nuestro trabajo.

Así mismo, deseamos expresar el reconocimiento a la Universidad Nacional de Ingeniería UNI - RUACS por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años, docentes y amigos el día de hoy les agradecemos.

Resumen Ejecutivo

La presente tesis monográfica abarca el estudio, ensayos y resultados de un ladrillo fabricado con plástico reciclado tipo PET, los capítulos son desarrollados con metodología explicativa y correlacional, en la cual se aplicó un método experimental para determinar las propiedades mecánicas de los ladrillos reciclados a base de plástico y mortero. Se pretende estudiar dichas propiedades para generar elementos capaces de resistir cargas mínimas a la compresión de 1137 PSI (80 kg/cm²) a como lo establece la Norma mínima de diseño y construcción de mampostería (MP-001). Es importante establecer que, al ser esta una investigación innovadora en el país (Nicaragua) aún no existe una normativa a la que se rijan los ladrillos de plástico y mortero por lo tanto se decidió apoyarnos bajo los parámetros establecidos por la Norma mínima de diseño y construcción de mampostería (MP-001)

El **Capítulo I** aborda en su mayoría todo lo que es marco teórico, define aspectos generales del reciclaje, plástico, cemento, arena y mortero, así como también, los lugares de su procedencia. En el desarrollo de este capítulo se describe los ensayos que fueron realizados para los materiales que componen el ladrillo; cemento (Holcim de uso general) y el agregado fino (arena Rio Macuelizo en Ocotal).

En el **Capítulo II** se presenta y analizan los resultados de ensayos de laboratorio conforme a la normativa correspondiente (ASTM). Se abordaron un total de 8 ensayos divididos entre ensayos para la arena y cemento.

El **capítulo III** se centra en el diseño de mezclas de mortero y la selección de las dosificaciones óptimas para la fabricación de ladrillos con propiedades similares a las establecidas por la MP-001. En este capítulo nos apoyamos en la norma ASTM-C109.

El **capítulo IV** describe el proceso de fabricación de ladrillos de mortero y plástico, presenta el análisis de los resultados de ensayos de laboratorio y compara la resistencia a compresión de las unidades de ladrillos fabricadas, entre los porcentajes de plástico y las propiedades de los ladrillos existentes en el mercado.

El último capítulo, el **Capítulo V** presenta una guía explicativa que detalla paso a paso el procedimiento correcto para elaborar los ladrillos, orienta los materiales a usar y la manera en que deben ser manipulados para prever cualquier inconveniente y alcanzar el resultado planeado.

Finalmente, están las conclusiones y recomendaciones, en donde se recalcan los aspectos más importantes a lo largo de este trabajo monográfico.

INDICE

Capítulo I: Generalidades	1
1.1 Introducción.....	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Antecedentes	5
1.5. Marco Teórico	6
1.5.1. Ladrillo Reciclado	8
1.5.2. Plástico.....	8
1.5.3. Tratamiento del reciclaje	10
1.5.4. Polietileno Tereftalato PET	10
1.5.5. Obtención del PET	10
1.5.6. Proceso de reciclado plástico PET	10
1.5.7. Arena.....	11
1.5.1. Cemento	12
1.5.1. Tipos de cemento	12
1.5.9. Mortero.....	13
1.5.10. Aspectos Técnicos	14
1.5.11. Norma mínima de diseño y construcción de mampostería MP-001	14
1.5.12. Ensayos para los Materiales utilizados (Arena y Cemento)	16
1.5.13. Determinar gravedad específica y porcentaje de absorción de los agregados finos (arena) ASTM C-18.....	19
1.5.14. Determinar el peso unitario o peso volumétrico.	20
1.5.15. Análisis granulométrico para el agregado fino (arena).	23
1.5.16. Análisis de impurezas orgánicas agregado fino (arena).....	24
1.5.17. Determinación del tiempo de fraguado del cemento por el método de la aguja Vicat ASTM- C191.....	26
1.5.18. Determinación del peso específico relativo del cemento hidráulico ASTM C-188.....	28
Capitulo II. Ensayos para materiales del ladrillo reciclado.....	29

2.1. Obtención del Plástico PET	29
2.2. Determinación de muestras de agregados a tamaños de ensayos (ASTM C – 072).....	31
2.3. Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino ASTM C – 128.....	33
2.3.1. Método gravimétrico.....	34
2.4. Determinación de los pesos unitarios secos sueltos y seco compacto de los agregados gruesos y finos ASTM C 29.....	36
2.4.1. Procedimiento de cálculo	37
2.4.2. Presentación de Datos y Resultados	38
2.5. Determinación del análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos ASTM C – 136.....	40
2.5.1. Procedimiento de Cálculos.....	40
2.5.2. Presentación de Datos y Resultados:	43
2.6. Agregado fino - PET.....	47
2.6.1. Presentación de datos y Resultados (PET).....	47
2.7. Determinación de las impurezas orgánicas en el agregado fino para mezclas de mortero.....	49
2.8. Determinación de la consistencia normal de pastas de cemento hidráulico (ASTM-C187)	50
2.8.1. Procedimiento de cálculo	50
2.8.2. Presentación de datos y resultados de la consistencia normal	51
2.9. Determinación del tiempo de fraguado del cemento por el método de la aguja Vicat ASTM- C191.....	53
2.10. Determinación del peso específico relativo del cemento hidráulico ASTM C 188.....	58
2.10.1. Proceso de cálculo	58
2.10.2. Presentación de datos y Resultados	59
Capítulo III: Diseño de mezclas de mortero	60
3.1. Procedimiento para determinar dosificación 1:3.....	61
3.2. Dimensiones probetas para fundida de prototipos	66
Capítulo IV: Fabricación y Ensayos del Mampuesto.....	71
4.1. Aplicaciones	71
4.2. Fabricación del ladrillo reciclado y Ensayo resistencia a la compresión	72
4.2.1. Los resultados obtenidos a los 7 ,14 y 28 días fueron los siguientes:.....	72
4.3. Esquema de fabricación del mampuesto.....	73
4.4. Almacenamiento de materiales y equipo seleccionados	74

4.5. Elaboración de las dosificaciones por bolsa de Cemento	74
4.6. Mezclado de los materiales.	77
4.7. Elaboración de los ladrillos.....	78
4.8. Curado.....	79
4.9. Almacenamiento de los ladrillos	79
4.10. Dimensión de los ladrillos.....	80
4.11. Resistencia a la compresión de ladrillos reciclados.	85
4.12. Determinación de propiedades de los ladrillos	95
4.13. Ensayo de Absorción.....	96
Capítulo V. Guía de fabricación de Ladrillos a base plástico reciclado	101
5.1. Conclusiones.....	106
5.2. Recomendaciones.....	107
5.3. Bibliografía	109

INDICE DE TABLA

Tabla 1 - Código de condiciones y Clasificación de plástico	9
Tabla 2- Tipos de cemento.....	13
Tabla 3 - Tamaño de mallas de cada tamiz ASTM C136	22
Tabla 4 - Colores de Referencia.....	25
Tabla 5 - Resultados obtenidos del ensayo	28
Tabla 6 - Gravedad Específica del Agregado Fino.....	35
Tabla 7 - Peso Volumétrico Seco Compacto de la Arena	38
Tabla 8 Peso Volumétrico Seco Suelto de la Arena.....	39
Tabla 9 - Determinación del factor de calibración de Moldes.....	40
Tabla 10 - Formato para determinar la granulometría del agregado fino.	43
Tabla 11 – Análisis granulométrico de material fino reciclado PET.....	47
Tabla 12 - Uso del agregado fino según contenido de impurezas orgánicas	49
Tabla 13 - Consistencia Normal del Cemento, Muestra 1.	51
Tabla 14 – resultados de la consistencia normal de la muestra 2.....	52
Tabla 15 - Tiempo de fraguado del Cemento Muestra 1 y 2	54

Tabla 16 - Comparación de los tiempos de fraguado del cemento	57
Tabla 17 - Gravedad Especifica del Cemento muestra 1	59
Tabla 18 - Gravedad Especifica del Cemento muestra 2	59
Tabla 19 - Proporciones de mezclas de mortero.....	63
Tabla 20 - Proporción 1:3: R a/c 0.60.....	64
Tabla 21 - Proporción 1:3 R a/c 0.75.....	64
Tabla 22 - Proporción 1:3 R a/c 0.9.....	65
Tabla 23 - Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:3 R a/c 0.6.....	65
Tabla 24 - Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:3 R a/c 0.75...	66
Tabla 25 - Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:3 R a/c 0.9.....	66
Tabla 26 - Resistencias obtenidas por cada edad con respecto a su R a/c.	68
Tabla 27 - Promedio de Resistencias promedio obtenidas por edad con respecto a su R a/c	69
Tabla 28 - Resistencia promedio de ladrillos de mortero y PET 1:3: 0% (Mezcla Patrón)	72
Tabla 29 - Resistencia promedio de ladrillos de mortero y PET 1:3: 30% Sustituido en arena	73
Tabla 30 - Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:3 Sin Plástico	75
Tabla 31 - Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:3 10% plástico	75
Tabla 32 - Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:3 20% plástico	76
Tabla 33 - Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:3 30% plástico	76
Tabla 34 - Dimensión de cada ladrillo (30 especímenes).....	81

Tabla 35 - Resultado de pruebas de resistencia a ladrillos	85
Tabla 36 – Resultado de pruebas de resistencia a ladrillos de 10 %	87
Tabla 37 - Resultado de pruebas de resistencia a ladrillos de 20 %	89
Tabla 38 - Resultado de pruebas de resistencia a ladrillos de 30 %	91
Tabla 39 – Tabla de resultado de cada muestra	93
Tabla 40 - Área promedio de los ladrillos de mortero con 0% de plástico.	96
Tabla 41 - Área promedio de los ladrillos de mortero con 10% de plástico.	96
Tabla 42 - Área promedio de los ladrillos de mortero con 20% de plástico.	96
Tabla 43 - Área promedio de los ladrillos de mortero con 30% de plástico.	96
Tabla 44 - Absorción del ladrillo Proporción 1:3, 0% PET	97
Tabla 45 - Absorción del ladrillo Proporción 1:3, 10% PET	97
Tabla 46 - Absorción del ladrillo Proporción 1:3, 20% PET	97
Tabla 47 - Absorción del ladrillo Proporción 1:3, 30% PET	97
Tabla 48 – Datos recopilados para tabla de resultados obtenidos;Error! Marcador no definido.	

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Proceso de reciclado plástico PET	11
Ilustración 2: Empresa JJ comercial centro de acopio reciclador de plástico	24
Ilustración 3: Rio Macuelizo Ocotal, Nicaragua	25
Ilustración 4: Certificación Holcim, Nicaragua	30
Ilustración 5 – Proceso de muestreo del agregado fino	27
Ilustración 6 – Tamizado (Tamiz No 4) y pesado del material fino	29
Ilustración 7 – Proceso de Elaboración del ensayo de gravedad especifica para agregado fino	36

Ilustración 8 – Procedimiento de elaboración de ensayo 3	39
Ilustración 9 – peso del porcentaje retenido por cada tamiz	45
Ilustración 10 – proceso de cada porcentaje retenido de material	48
Ilustración 11 – Proceso de Elaboración del ensayo de impurezas orgánicas	46
Ilustración 12 – Proceso del ensayo para consistencia normal.	49
Ilustración 13 - Determinación del tiempo de fraguado del cemento.....	57
Ilustración 14 – Elaboración de la prueba de gravedad específico.....	60
Ilustración 15 – Dimensiones de los especímenes de prueba.....	67
Ilustración 16 - Proceso de curado en los cubos de ensayo	68
Ilustración 17 – Proceso de prueba de resistencias a los cubos de ensayo	70
Ilustración 18 – Flujograma del proceso de elaboración del mampuesto	74
Ilustración 19 – Materiales pesados para la elaboración de la mezcla.....	77
Ilustración 20 – Mezcla de los agregados de modo manual.....	77
Ilustración 21 – Introducción de la mezcla en el molde	78
Ilustración 22 – Proceso de curado de los ladrillos	79
Ilustración 23 – Ladrillos utilizados para el ensayo de 20% de plástico	80
Ilustración 24 - Resistencia a la compresión de ladrillos de mortero y plastico 1:3	94
Ilustración 25 – Resultados de peso volumétrico de los ladrillos.....	99
Ilustración 26 – Proceso de elaboración de peso volumétrico	100
Ilustración 27 – Materiales utilizados para el moldeo.	103
Ilustración 28 – Proceso de elaboración de mezcla y llenado	104
Ilustración 29 – Proceso de desmoldado de los ladrillos	105
Ilustración 30 – Proceso de curado de los ladrillos	105

INDICE DE GRAFICA

Grafica 1 - Graficar los resultados obtenidos en la tabla granulométrica y compararlos con la norma ASTM C 33	45
Grafica 2 – granulometría de plástico del porcentaje que pasa.....	48
Grafica 3 - Consistencia Normal del Cemento, Muestra 1	51
Grafica 4 - Consistencia Normal del Cemento, Muestra 2	52
Grafica 5 - Tiempo de Fraguado del cemento, Muestra 1	56
Grafica 6 - Tiempo de Fraguado del cemento, Muestra 2	56
Grafica 7 - Resistencia a la compresión.....	70
Grafica 8 – Resistencia a la compresión de los ladrillos con porcentaje de plástico	94
Grafica 9 – Resultado del promedio de absorción de los ladrillos.....	98

Capítulo I: Generalidades

1.1. Introducción

La importancia de esta investigación radica en brindar un material alternativo de construcción para viviendas a bajo costo, liviano y fácil de transportar, que no requiera mano de obra calificada y sea amigable con el ambiente.

Debido al aumento constante de la población y la contaminación ambiental que se genera por la mala o nula disposición final de los residuos plásticos nos han motivado a iniciar un estudio que permitirá atacar estas dos problemáticas mencionadas que aquejan a la sociedad.

Según lo anterior, se plantea algún día lograr incursionar con un nuevo material de construcción, al que se llama ladrillo reciclado, donde se utiliza el plástico reciclado como materia prima para su elaboración, siendo el plástico uno de los productos que es más desechado y que a su vez más contaminación genera.

Se debe recalcar que los ladrillos son un sistema constructivo muy utilizado en nuestro país, pero la calidad depende de cada etapa del proceso de fabricación, fundamentalmente de la cuidadosa selección y análisis de los agregados, la correcta determinación de la dosificación, un buen control en la elaboración específicamente durante el mezclado, moldeo y por supuesto el curado adecuado. En el caso del ladrillo de arcilla en Nicaragua encontramos que para los ladrillos deberán tener una resistencia de 80 kg/cm^2 es decir 1137.87 Psi según la " Norma mínima de mampostería" (MP-001)

Es por ello, que se propone un nuevo elemento para la construcción de vivienda, que produzca un impacto ambiental positivo, pero con la vista siempre en cumplir con los estándares de calidad y normatividad vigente establecidos por la MP-001.

Para ello, el documento se desarrolla en capítulos, el primero define los aspectos generales del estudio y el inicio del proceso investigativo, partiendo del muestreo de los materiales componentes de mezclas de mortero, la caracterización de estos materiales a través de ensayos de laboratorio basados en procedimientos estandarizados por normativas ASTM correspondientes.

En el capítulo 2 se desarrollan los cálculos de dichos ensayos para los materiales acompañado de gráficas, ilustraciones y tablas para consolidar los resultados obtenidos.

A partir de los resultados obtenidos del capítulo anterior, en el capítulo 3 se presentan diseños de mezclas de prueba de mortero, se detalla el proceso de elaboración de dichas mezclas y se le realizan pruebas de resistencias a la compresión, que permitan identificar su comportamiento y seleccionar la condición óptima (proporción y relación agua – cemento) para la fabricación de ladrillos reciclados.

Antes de llegar a la etapa final en el capítulo 4 se fabrican los ladrillos ya con porcentajes de plástico PET sustituidos en la arena con relación al peso, en este capítulo se ensayan 3 diferentes opciones para al final poder definir la mejor.

El Capítulo 5 presenta una guía explicativa que detalla paso a paso el procedimiento correcto para elaborar los ladrillos hasta alcanzar el resultado planeado.

Posteriormente y para culminar el estudio, se generan las conclusiones y recomendaciones sobre el tema.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Fabricar y estudiar las propiedades físicas y mecánicas de ladrillo a base de material reciclado. (Plástico - Mortero)

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar los materiales del ladrillo con plástico reciclado
- Elaborar mezclas con diferentes porcentajes de inclusión plástico para determinar el comportamiento del mampuesto.
- Realizar pruebas físicas y mecánicas a los ladrillos con materiales reciclados
- Seleccionar la mezcla óptima para producir el ladrillo reciclado definitivo.
- Elaborar guía para la fabricación del ladrillo con materiales reciclado.

1.3. Justificación

Los **envases plásticos** no retornables son uno de los desechos que más genera la sociedad moderna, y su gestión inadecuada representa un problema ambiental, ya que pueden tardar hasta 500 años en degradarse. Es por ello que el sector del reciclaje se afana en recuperar y reciclar estos residuos de la forma más eficiente y sostenible posible.

En el presente estudio se pretende demostrar la importancia y aprovechamiento del ladrillo reciclable en nuestro país, como un recurso que podemos adquirir de nuestro entorno y que contribuye a una mejor calidad de vida, segura y ecológica por evitar el deterioro del medio ambiente.

Este estudio se enfoca en la elaboración del ladrillo, un mampuesto reciclado en el que la materia prima son los residuos de plástico, mezclado con cemento, arena y agua para poder formar un producto con materiales reciclados, con el objetivo de mejorar sus condiciones de resistencia a la compresión y estabilidad ante la presencia de humedad.

La contribución de este ladrillo se enfocaría principalmente en un futuro en la construcción de las viviendas unifamiliares de tipo social, para brindar mejores condiciones de vida a las personas que habitan actualmente viviendas en mal estado, en condiciones precarias y de alto riesgo.

Este elemento aún no posee una normativa o reglamento específico para su elaboración ya que es un método de construcción utilizado en otros países y no posee certificación en el nuestro, Nicaragua. Ante este detalle nos sentimos inspirados a innovar para quizás un día, esta investigación contribuya a una futura certificación.

1.4. Antecedentes

A lo largo del tiempo han existido autores que con sus investigaciones han aportado la técnica del uso de materiales reciclados en la construcción, aportando así esta tendencia como punto de partida de la presente investigación. El alemán Andreas Froese es el inventor de la técnica "Ecotec". Consiste en el uso de botellas desechables de Pet, basura, escombros y tierra, como materia prima para construcciones como casas, muros y tanques de reserva de Agua, para reemplazar al ladrillo. La idea se ha modificado con el paso del tiempo, los principales antecedentes son los siguientes:

Nombre del documento: Ladrillos de pet reciclado. Modificaciones para la renovación del certificado de aptitud técnica según la normativa actual. (Ladrillo de pet reciclado, s.f.)

En este documento mencionado, se han utilizado materiales plásticos descartables en elementos constructivos. En algunos casos se han obtenido productos de alta calidad, con procesos de reciclado químico del PET, altamente mecanizados y automatizados, impracticables en nuestro medio por su alto costo. Sin embargo, para el caso de nuestro país, Nicaragua no existe ningún tipo de antecedente relacionado, el caso más cercano podemos encontrarlos en países como Colombia, Guatemala y Costa Rica, por supuesto cada uno elaborándolos bajo su propio criterio.

La originalidad del trabajo desarrollado en este estudio es que se utiliza una tecnología barata, de fácil aprendizaje, con proceso de reciclado mecánico del PET, adecuada para la ejecución de viviendas económicas y ecológicas, tema con mínimos antecedentes en nuestro país.

Los Ladrillos son piezas de forma de paralelepípedo resultantes de la cocción de tierras arcillosas. Los primeros ladrillos se fabricaron en Oriente Medio hace más de 6.000 años utilizándose un método primitivo, todavía vigente en

cabañas de adobe de África, Centro y Sur América. En la actualidad el ladrillo es un material muy presente en el ámbito doméstico.

A lo largo del tiempo ha sufrido cambios en el ámbito constructivo según el propósito que amerita. Siendo uno de ellos el ladrillo hecho con materiales reciclados. (Espanola, s.f.)

Estos mampuestos se utilizan para la elaboración de mampostería reforzada y confinada, siendo responsable en una buena medida de las características mecánicas y estéticas de dicha mampostería. En ningún caso la altura de las unidades será mayor que $\frac{2}{3}$ de su longitud, con excepción de las medias piezas utilizadas en los bordes verticales de los muros para obtener el confinamiento. Cada uno de los mampuestos debe estar intacto para que su unión sea la apropiada y encajen perfectamente con los otros sin presentar imperfecciones como fisuras.

La presencia de fisuras, inherentes al proceso de fabricación, o de destornillamientos pequeños, se presenta debido a los métodos corrientes de manejo, durante el transporte a la obra. (Ing., 2008)

1.5. Marco Teórico

El ladrillo reciclado es un mampuesto de dimensiones constantes y convencionales (20cm de largo, 12 cm de ancho y 5 cm de alto) fabricado con cemento, arena, agua y su esencia; residuos de plástico. Los ladrillos reciclados tienen cualidades similares a los tradicionalmente utilizados para la construcción de viviendas. Por tanto, su uso no se deriva en pérdida de calidad puesto que, como la mayoría de los productos ecológicos, sufren más pruebas de su viabilidad que los tradicionales.

La idea surge con el fin de amortiguar el impacto ambiental de los desechos potenciales que siempre acaban en la basura y se convierten en un problema. La mejor manera de lograr ese objetivo es brindando un nuevo uso a esos desechos, por supuesto los apuntan a la creación de un mampuesto reciclado.

Los materiales propuestos para la elaboración del mampuesto son: cemento, arena y plástico. Trabajando este último mencionado como un aditivo.

La construcción ha generado un impacto ambiental, debido a que para la obtención de materiales se realizan procesos de extracción que afectan la corteza terrestre. Teniendo en cuenta eso, el aporte de esta investigación podría generar el reemplazo de materiales que se extraen de la corteza terrestre por otros. Como tal es el caso del plástico.

El plástico es un material que los podría sustituir ya que al utilizarlo en la construcción reduciría el impacto generado por utilizar un material pétreo y así mismo ayudar con la reutilización del plástico que ha servido esencialmente al ser humano por su bajo costo de producción y porque suple el consumo masivo de materiales extraídos de los minerales terrestres.

Actualmente en el planeta hay alrededor de siete mil millones de personas, los cuales requieren una vivienda, generando un crecimiento y demanda exponencial; lo que implica la exigencia de mayor cantidad de recursos naturales tanto para alimentación como para obtener un techo digno y confortable. ¿De dónde se tendrá que extraer todos los recursos necesarios para construir esas viviendas?

“El ritmo que es insostenible, no es el del crecimiento de la población mundial, sino el consumo que tienen los habitantes y las empresas multinacionales del mundo, cuando en el proceso de producción se agotan los recursos del planeta”

La producción de basura en las viviendas es un problema cultural y social muy difícil de solucionar, debido a la gran cantidad de desperdicios generados por unidad habitacional, más aún el problema se agrava por la falta del proceso de reciclaje de los mismos. Esto se evidencia porque la producción de desechos sólidos en América Latina y el Caribe ha variado considerablemente; ya que en los últimos 30 años el promedio era de 0.2 a 0.5 kg/hab./día, en la actualidad puede llegar a 1.2 kg/hab./día. La solución a este problema es simple pero efectiva, la respuesta a esto es el reciclaje. (Ing., 2008)

1.5.1. Ladrillo Reciclado

El ladrillo reciclado es un mampuesto de dimensiones constantes y convencionales (25cm de largo, 12 cm de ancho y 5 cm de alto) fabricado con cemento, arena, agua y su esencia; residuos de plástico.

Los ladrillos reciclados tienen cualidades similares a los tradicionalmente utilizados para la construcción de viviendas. Por tanto, su uso no se deriva en pérdida de calidad puesto que, como la mayoría de los productos ecológicos, sufren más pruebas de su viabilidad que los tradicionales. (Española, s.f.)

El convertir residuos poliméricos termoplásticos (Plástico PET) en una sustancia aglutinante que podría mezclarse con otros materiales, como la arena y el cemento para dar lugar a un mampuesto reciclado, podría no solo ofrecer el mismo rendimiento de los elementos ya existentes si no, aportar un valor añadido a los componentes constructivos elaborados con materiales plásticos reciclados ofreciendo mayor aislación térmica que los tradicionales, debido a que el plástico PET sirve como aislante térmico, repele el sonido y es casi impermeable. (Ing., 2008)

1.5.2. Plástico

Es un **material de origen orgánico de elevado peso molecular**, y se caracteriza por su propiedad maleable que le permite adoptar diversidad de formas.

Son aquellos materiales que están compuestos por resinas, proteínas y otras sustancias, son fáciles de moldear y pueden modificar su forma de manera permanente a partir de una cierta compresión y temperatura. Por lo general, los plásticos son polímeros que se moldean a partir de la presión y el calor. Una vez que alcanzan el estado que caracteriza a los materiales que solemos denominar plásticos, resultan bastante resistentes a la degradación y a la vez, son livianos. De este modo, los plásticos pueden emplearse para fabricar una amplia gama de productos. (Española, s.f.)

Tabla 1. Código de condiciones y Clasificación de plástico:

Nombre	Siglas	Uso	Código
Polietileno tereftalato	PET	Se usa para hacer recipientes de bebidas suaves, Jugos agua, bebidas Alcohólicas, Aceites comestibles, limpiadores caseros y otros	 Ilustración 1. Código de Reciclaje de plástico PET
Polietileno	PE	Se usa en Films plásticos procedentes de embalajes de golosinas, yerba, Jabones, etc.	 HDPE baja densidad LDPE alta densidad Ilustracion 2. Codigo de plastico reciclado PE (densidad alta y baja)
Polipropileno bi-orientado	BOPP	Residuos industriales	 Ilustracion 3. Codigo de plastico reciclado BOPP
Policloruro de vinilo	PVC	Se usa en juguete, tuberías, molduras, tableros para automóviles, etc.	 Ilustracion 4. Codigo de plastico reciclado PVC

Fuente: EcologiaVerde

Reciclaje

Reciclaje o reciclamiento es la acción y efecto de reciclar (aplicar un proceso sobre un material para que pueda volver a utilizarse). El reciclaje implica dar una nueva vida a material en cuestión, lo que ayuda a reducir el consumo de recursos y la degradación del planeta.

1.5.3. Tratamiento del reciclaje

El tratamiento de reciclaje puede llevarse a cabo de manera total o parcial, según cada caso. Con algunos materiales, es posible obtener una materia prima, mientras que otros permiten generar un nuevo producto.

Base del reciclaje

La base del reciclaje se encuentra en la obtención de una materia prima o producto a partir de un desecho. Un bien ya utilizado (como una botella de plástico vacía) puede destinarse a la basura o reciclarse y adquirir un nuevo ciclo de vida.

1.5.4. Polietileno Tereftalato PET

El Polietileno Tereftalato (PET), es un polímero plástico, lineal, con alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, por lo que lo hace apto para ser transformado mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termo formado. Es extremadamente duro, resistente al desgaste, dimensionalmente estable, resistente a los químicos y tiene buenas propiedades dieléctricas.

1.5.5. Obtención del PET

Lo podemos encontrar en empaques. bebidas (gaseosa, agua mineral, jugos, etc.), en envases de comidas, perfumerías y cosméticos, productos para el hogar, licores, productos farmacéuticos etc.

1.5.6. Proceso de reciclado plástico PET

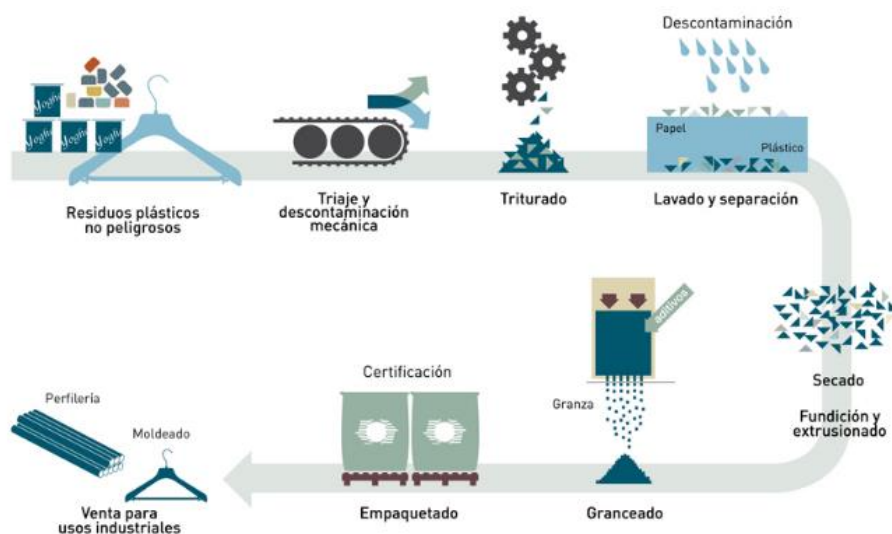
Existen dos tipologías principales de reciclado de PET: el reciclado químico y el reciclado mecánico:

El reciclado químico consiste en un proceso de despolimerización del PET utilizando agentes químicos. Hay diversos procesos de reciclado químico (glicólisis, metanólisis, hidrólisis, saponificación y pirólisis), siendo la calidad del material a tratar y la demanda de productos intermedios lo que determina el proceso a utilizar.

El reciclado mecánico, es un proceso físico sencillo que permite obtener escamas limpias de PET que son utilizadas directamente o bien mezcladas con polímero virgen en el proceso posterior de transformación para la obtención de distintos productos finales. (ANFABRA, 2019)

El proceso de reciclado mecánico es el que actualmente utilizan los recicladores de PET en JJ Comercial, empresa de donde nos apoyamos para obtener el plástico Pet triturado.

Ilustración 2 - Proceso de reciclado plástico PET



Fuente: Opemed

1.5.7. Arena

Se llama arena al conjunto de las partículas de rocas silíceas y de otro tipo que se suelen acumular en la costa. Estas partículas disgregadas, que miden de 0,063 a 2 milímetros, reciben el nombre de granos de arena como nos habla la norma ASTM-C33. (Espanola, s.f.)

Para descubrir impurezas en la arena los suministradores suelen normalmente lavarla para eliminar la arcilla, el cieno y otras impurezas que de encontrarse presentes en cantidades excesivas darían lugar a un mortero de baja calidad. Pertenece a los procedimientos o ensayos que pueden realizarse sin tecnología especializada y a pie de obra, más que clasificar una buena muestra de arena de una mala, permiten identificarlos.

Otro procedimiento es el ensayo de la botella de sedimentación, permite obtener información sobre el contenido granulométrico del suelo, de forma aproximada. Se

requiere para realizar este ensayo un frasco transparente de boca ancha, fondo plano y lados rectos. Se observarán claramente de dos a tres capas, arenas gruesas, finas y posiblemente limos y arcillas. De esta forma se puede medir la altura total de la muestra y la de las capas individuales que llevando a por ciento nos dará una idea aproximada de la granulometría del suelo.

1.5.1. Cemento

El cemento es un material con propiedades adhesivas y cohesivas, las cuales brindan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar todo un compacto. Es el producto artificial resultante de calcinar hasta un principio de fusión, mezclas rigurosamente homogéneas de caliza y arcilla, obteniéndose un cuerpo llamado Clinker, constituido por silicatos y aluminatos anhídridos el cual hay que pulverizar junto con yeso en proporción menor del 3% para retardar su fraguado. (Lindo, 2018). Los cementos se clasifican por su composición química: Cementos Portland (ASTM C 150), Portland con puzolana, cemento portland con escoria de alto horno, cementos aluminosos y cementos sulfatados. (cementos mezclados, ver ASTM C595 y ASTM C 1157) (Lindo, 2018)

En la industria del cemento se realizan numerosas pruebas para determinar las características del cemento con el fin de declarar la conformidad del producto con los requisitos de calidad. Estas pruebas deben realizarse en ambientes donde se mantengan particulares condiciones termo higrométricas, establecidas por las normas. Para determinar una buena consistencia en el cemento es necesario establecer el contenido de agua que el cemento necesita, la consistencia se mide por medio del Aparato de Vicat, utilizando un embolo de 10 mm de diámetro para que entre en contacto con la superficie superior de una pasta de cemento acondicionada dentro de un molde. Por la acción del propio peso del embolo, este penetra en la pasta y la profundidad de penetración depende de la consistencia de la pasta. La pasta se considera de consistencia normal cuando el embolo penetra 10 mm \pm 1 mm a los 30 segundos de haber sido soltado. (Lindo, 2018)

1.5.1. Tipos de cemento

Para el caso de los Cementos Hidráulicos según la Norma ASTM C - 1157, éstos se clasifican de acuerdo a la tabla 1.

Tabla 2- Tipos de cemento

Tipo GU	De uso general en construcción, se emplean cuando no se requieren condiciones especiales
Tipo HE	De alta resistencia inicial o temprana.
Tipo MS	De moderada resistencia a los sulfatos.
Tipo HS	De alta resistencia a los sulfatos.
Tipo MH	De moderado calor de hidratación
Tipo LH	De bajo calor de hidratación.

Fuente: ASTM C -1157

1.5.9. Mortero

Se entiende como mortero en la construcción, toda masa hecha con una mezcla de arena, agua y conglomerante, es decir, el material que une, pega o aglomera otros materiales. La mezcla de los morteros más comunes se hace con cemento, yeso o cal. A esta mezcla se le puede añadir diversos aditivos que modifican o potencian las propiedades originales de los materiales. Entre los aditivos más utilizados están los plastificantes, los emulsionantes, aceleradores del fraguado o los impermeabilizantes. (Espanola, s.f.)

Agua

La función del agua es hidratar el cemento y hacerlo "reaccionar" y contribuir a la máxima compactación con los demás componentes. Al añadir agua a la mezcla debe ser limpia y no contener materiales en suspensión o en disolución tales como sulfatos o cloruros, o materias orgánicas. Es determinante el control de la cantidad de agua de la mezcla, ya que ésta actúa como lubricante de las partículas de la mezcla. Si resulta excesivamente húmeda o, por el contrario, seca, ambos estados se reflejan en el moldeo del material y posteriormente, en el acabado superficial, la resistencia y durabilidad del mismo. (Espanola, s.f.)

1.5.10. Aspectos Técnicos

Dentro de los aspectos técnicos, al ser una tesis de tema investigativo aún no existe una normativa en Nicaragua establecida para un elemento reciclado, sin embargo, hemos optado seguir los requerimientos de la **Norma mínima de diseño y construcción de mampostería MP-001** para nuestro proyecto fabricación de un ladrillo con agregados de reciclaje plástico. A parte de apoyarnos y regirnos bajo la ASTM para cumplir con diferentes parámetros como absorción, resistencia, peso, entre otros.

1.5.11. Norma mínima de diseño y construcción de mampostería MP-001

Esta norma provee requerimientos mínimos necesarios para el análisis y diseño de edificaciones de mampostería. No exime de manera alguna el estudio y cálculo para definir las dimensiones y requisitos a usarse en el diseño y construcción.

La MP-001, regula y reglamenta en mayor parte las condiciones técnicas, en los cuales se logra enmarcar nuestro proyecto de investigación; básicamente porque se trata de la implementación de un ladrillo a base de agregados de plástico reciclado para mampostería no portante, se realizó un análisis de cada uno de los títulos de este documento, donde puede aplicar este tipo de material propuesto y experimentar para encontrar que tipo de resultados arroja.

Dentro de la misma se establecen los requisitos mínimos de diseño y construcción para las estructuras de mampostería y sus elementos, en donde especifica que los ladrillos sólidos de arcilla deberán tener una resistencia característica a la compresión sobre el área neta no menor de **80 kg/cm²**.

Este último dato mencionado será nuestro requerimiento principal a alcanzar. Se decidió trabajar bajo ese criterio debido a que comparten ambos ladrillos (arcillas y reciclado) comparten 2 características; sus dimensiones y ambos son elementos sólidos.

En el capítulo IV de este título (MP-001), se hace referencia a la resistencia a la compresión de unidades de mampostería donde menciona aspectos generales, dentro de ellos se recalca lo siguiente:

- En ningún caso la altura de las unidades será mayor que 2/3 de su longitud, con excepción de las medias piezas utilizadas en los bordes verticales de los muros para obtener el confinamiento.
- Para realizar las verificaciones de resistencia y control de calidad establecida en este Reglamento, se utilizará la resistencia a la compresión característica de la unidad, empleando el área neta de asiento.
- La resistencia característica se determinará considerando la probabilidad de que su valor sea alcanzado por el 90% de las piezas ensayadas.
- La resistencia específica o característica a la rotura a compresión del ladrillo $f''u$ se obtendrá de una muestra representativa compuesta de 30 o más unidades, empleando la siguiente expresión:

Ecuación 1

$$f''u = Fum (1 - 1.38 * \delta m)$$

$f''u$: Resistencia característica a la compresión del ladrillo de arcilla

Fum : Promedio de los valores de las resistencias determinadas mediante los ensayos correspondientes

δm : Coeficiente de Variación, cuyo valor se calculará mediante la siguiente expresión:

Ecuación 2

$$\delta m = \frac{\sqrt{\frac{\sum (f_i - f_{um})^2}{n - 1}}}{f_{um}}$$

δm : Deberá ser mayor o igual a 0.12

f_i : Es la resistencia individual de cada ladrillo
(MP-001)

1.5.12. Ensayos para los Materiales utilizados (Arena y Cemento)

Una de las etapas claves de este estudio son los ensayos a los materiales que se usan para fabricar el ladrillo. La arena y el cemento son los agregados que serán ensayados bajo las siguientes normas de la ASTM.

- ✓ Determinación de muestras de agregados a tamaños de ensayos (ASTM C – 072)
- ✓ Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino ASTM C – 128
- ✓ Determinación de los pesos unitarios seco suelto y seco compacto de los agregados finos ASTM C 29
- ✓ Determinación del análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos ASTM C – 136
- ✓ Determinación de las impurezas orgánicas en el agregado fino para muestras de concreto ASTM C – 40
- ✓ Determinación de la consistencia normal de las pastas de cemento hidráulico ASTM C – 187
- ✓ Determinación del tiempo de fraguado del cemento por el método de la aguja Vicat ASTM C 191.
- ✓ Determinación del peso específico relativo del cemento hidráulico ASTM C 188.

Por lo tanto, es importante definir ciertos conceptos, método y ecuaciones:

Prueba de muestreo de agregado ASTM D75: Esta práctica cubre el muestreo de agregados gruesos y finos para los siguientes propósitos: investigación preliminar de los recursos de almacenamiento, control de los productos de los recursos de almacenaje, control de las operaciones en el sitio de uso, y aceptación o rechazo de los materiales.

Método Cuarteo manual (ASTM C-072): Se comienza por colocar la muestra de campo sobre una superficie plana, dura y limpia, luego se debe mezclar el material traspaleando toda la muestra y acomodándolo en una pila cónica, para

posteriormente con la pala ejercer presión sobre el vértice, hasta obtener un espesor y un diámetro uniforme. (ASTM)

El diámetro deberá ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor del material. Se divide en cuatro partes iguales con la pala y se remueven los cuartos diagonalmente opuestos.

Posteriormente se tamiza usando el tamiz N°4, se pesa la cantidad a usar y se pone al horno durante 24 h a la temperatura que indica la norma (ASTMC-072) al cumplir el periodo establecido se deja enfriar la muestra y se toma su peso para así conocer el objetivo de esta práctica, determinar el porcentaje de humedad que ha perdido la arena usando la siguiente ecuación:

Ecuación 3

$$\%w = \frac{\text{peso de la muestra húmeda} - \text{peso de la muestra seca}}{\text{peso de la muestra seca}} \times 100$$

Densidad (ASTM C-128): Es la masa por unidad de volumen de un material expresada en kilogramos por metro cúbico (libras por pie cúbico).

Densidad seca (ASTM C-128): Es la masa seca al horno de agregado por unidad de volumen de las partículas, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables dentro de las partículas, pero no incluyendo los vacíos entre las partículas.

Densidad saturada superficialmente seca (ASTM C-128): Es la masa saturada superficialmente seca del agregado de los poros impermeables y de los poros permeables llenos de agua de las partículas, pero no incluyendo los vacíos entre las partículas.

Ecuación 4

$$G_{esss} = \frac{B}{D + B - C}$$

Donde:

G_{esss}: Gravedad específica saturada superficialmente seca

B: Peso de la muestra en condición saturada superficialmente seca (gr)

C: Peso del picnómetro con la muestra y lleno de agua hasta la marca de calibración (gr)

D: Peso del picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración (gr).

Densidad aparente (ASTM C-128): Es la masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas de los agregados.

Ecuación 5

$$Geap = \frac{A}{D + A - C}$$

Donde:

Geap: Gravedad específica aparente

A: Peso de la muestra secada al horno (gr)

C: Peso del picnómetro con la muestra y lleno de agua hasta la marca de calibración (gr)

D: Peso del picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración (gr).

Densidad relativa (gravedad específica ASTM C-128): Es la relación entre la densidad de un material y la densidad de agua destilada a una temperatura dada.

Ecuación 6

$$Ge = \frac{A}{D + B - C}$$

Donde:

Ge: Gravedad específica

A: Peso de la muestra secada al horno (gr)

B: Peso de la muestra en condición saturada superficialmente seca (gr)

C: Peso del picnómetro con la muestra y lleno de agua hasta la marca de calibración (gr)

D: Peso del picnómetro lleno de agua hasta la marca de calibración (gr).

1.5.13. Determinar gravedad específica y porcentaje de absorción de los agregados finos (arena) ASTM C-18

Gracias a la práctica anterior ya se contaba con el proceso de preparación listo para la muestra de acuerdo con la Práctica ASTM C-072. Por lo que solo tomamos directo de las bandejas un espécimen de ensayo de 1.0 Kg.

Se cubre la muestra con agua y se deja que permanezca en este estado por 24 ± 4 h. Después del periodo, se decanta el exceso de agua y se extiende la muestra expuesta a una corriente de aire caliente, cuando se determine que el agregado fino está en la condición de saturado superficialmente seco (sss). Para ello, se comprueba que así sea usando el molde cónico y llenándolo a como lo indica la norma. Para saber si se ha alcanzado la condición SSS al momento de levantar el cono deberá haber un desplome ligero del agregado fino esto indica que se ha alcanzado la condición de SSS.

Una vez alcanzada la condición saturada superficialmente seca, se toma una muestra de 500 ± 10 gramos del agregado fino para el método gravimétrico, método elegido para desarrollar esta práctica. (ASTM)

Ecuación 7

$$\%Abs = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

%Abs: Porcentaje de absorción

A: Peso de la muestra secada al horno (gr)

B: Peso de la muestra en condición saturada superficialmente seca (gr)

Peso Volumétrico (ASTM C-29): Es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en kg/m^3 . Hay dos valores para esta

relación dependiendo del sistema de acomodo que se haya al material inmediatamente después de la prueba, la denominación que se le da a cada uno de ellos es peso volumétrico seco suelto y peso volumétrico seco compacto, el uso de uno y otro dependen de las condiciones de manejo a que estén sujetos los materiales.

Peso Volumétrico Seco Suelto (ASTM C-29): Se usa para la convención de peso a volumen es decir para conocer el consumo de agregado por m^3 de concreto.

Peso Volumétrico Seco Compacto (ASTM C-29): Es para el conocimiento de volumen de materiales aplicados y que están sujetos a acomodamientos o asentamientos provocados por el tránsito o la acción del tiempo. El valor del peso volumétrico para ambos casos debe obtenerse con agregados totalmente secos.

1.5.14. Determinar el peso unitario o peso volumétrico.

La importancia de esta práctica es conocer el peso Volumétrico del material ensayado cuando esta compactado en comparación de cuando no lo está. Para llevar a cabo el procedimiento lo primero es muestrear el agregado de acuerdo con la Práctica D 75 y reducirlo a tamaño de ensayo usando el procedimiento descrito en la Practica C 702. Se debe garantizar que la muestra obtenida haya sido secada al horno. Posterior a eso, orientándonos por la Norma ASTM C29, se determinan datos como, el peso del recipiente volumétrico y el peso del recipiente con el material contenido.

En la ASTM C-29 se presentan dos posibilidades dependiendo del tamaño del agregado que use. En nuestro caso se usa el método de **Peso Volumétrico seco varillado**, este método es aplicable para agregados con tamaño máximo nominal de 1 ½"

Una vez culminado este punto se procede a realizar los cálculos de los datos obtenidos con las ecuaciones siguientes:

✓ Cálculo del Peso Volumétrico Seco Suelto

Ecuación 8

$$PVSS = \frac{W_s}{vol}$$

PVSS: Peso volumétrico seco suelto, en Kg/m³

Ws: Peso del material seco suelto contenido en el recipiente

Vol.: Volumen del recipiente (m³)

✓ **Cálculo del material seco contenido en el recipiente**

Ecuación 9:

$$W_s = (W_m + W_{mat}) - W_m$$

Donde:

Ws: Peso del material seco contenido en el recipiente

Wm+Wmat: Peso del molde más material seco

Wm: Peso del molde

✓ **Cálculo del Peso Volumétrico Seco Compacto**

Ecuación 10

$$PVSC = \frac{W_s}{vol}$$

Donde:

PVSC: Peso volumétrico seco suelto, en Kg/m³

Ws: Peso del material seco compacto contenido en el recipiente

Vol.: Volumen del recipiente (m³)

✓ **Cálculo del contenido de aire**

Ecuación 11

$$\% \text{ vacios} = \frac{G_e \times Y_w - PVSC}{G_e \times Y_w} \times 100$$

Donde:

%vacíos: Porcentaje de vacíos

Ge: Gravedad específica del agregado (retomar dato de la práctica N°2)

Yw: Densidad del agua en kg/m³, a una temperatura de 23 ± 4 °C

PVSC: Peso volumétrico seco compacto, en Kg/m³

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado este proceso se determina por el análisis de tamices según la norma **ASTM C 136**. El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. (ASTM)

Tabla 3 - Tamaño de mallas de cada tamiz

Tamices	Abertura libre del tamiz	
	Pulgadas	Milímetros
3/8	0.3748	9.52
N°4	0.1870	4.75
N°8	0.0937	2.38
N°16	0.0468	1.19
N°30	0.0232	0.59
N°50	0.0116	0.297
N°100	0.0058	0.149
N°200	0.00295	0.075

Fuente: ASTM C136

Este método de ensaye es usado para determinar la graduación de materiales propuestos para usarse como agregados o siendo usados como agregados.

Los resultados son usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de las partículas con los requerimientos especificados aplicables, para proporcionar información necesaria en el control de la producción de varios productos agregados y mezclas conteniendo agregados. (ASTM)

1.5.15. Análisis granulométrico para el agregado fino (arena).

Se analiza el agregado de acuerdo con la Práctica D 75 y reducimos a tamaño de ensayo usando el procedimiento descrito en la Práctica C 072.

La muestra para ensayo deberá ser aproximadamente la cantidad deseada cuando seque y debe ser el resultado final de la reducción.

La reducción a una cantidad predeterminada exacta no será permitida. El tamaño de la muestra de ensayo, después del secado, será de 300 gr como mínimo para agregado fino.

Una vez terminado este proceso se procede al cálculo de agregados finos:

✓ Cálculo de los pesos retenidos parciales

Ecuación 12

$$\%RP = \frac{\text{Peso retenido en cada tamiz}}{\text{Peso seco total}} \times 100$$

Donde:

%RP: Porcentaje retenido en cada tamiz

✓ Cálculo de los pesos retenidos acumulados

Ecuación 13

$$\%RA = \%RA_i + \%RP_{i+1}$$

Donde:

%Ra: Porcentaje retenido acumulado

%: Porcentaje retenido acumulado inicial

%: Porcentaje retenido parcial siguiente al acumulado que se está calculando

✓ Cálculo de los porcentajes que pasan

Ecuación 14

$$\% \text{ que pasa} = 100 - \%RA$$

Donde:

%Ra: Porcentaje retenido acumulado

✓ **Cálculo del módulo de finura**

Ecuación 15

$$MF = \frac{\sum \%RA(\text{desde } \frac{3}{8''} \text{ hasta } \#100)}{100}$$

Donde:

MF: Modulo de finura

%Ra: Porcentaje retenido acumulado

Al final, se debe graficar los resultados y se comparan con la norma ASTM C33

Con este ensayo se obtiene la determinación del análisis granulométrico de los agregados finos ASTM C – 136, calculando los pesos retenidos parciales restando un dato de cien menos el porcentaje retenido acumulado, el porcentaje retenido acumulado que se calcula dividiendo el peso retenido en cada tamiz entre el peso seco total y luego multiplicándolo por cien, porcentajes que pasan, luego calculamos el módulo de finura dividiendo la sumatoria de los pesos acumulados en cada tamiz entre cien y para finalizar, calculamos el material más fino que la malla N°200, el cual se calcula dividiendo el peso seco menos el peso seco lavado entre el peso seco por cien.

Hasta este punto es necesario destacar que todo el proceso desarrollado de granulometría de la arena también fue hecho para el plástico. (ASTM)

1.5.16. Análisis de impurezas orgánicas agregado fino (arena).

La **ASTM –C40** determina las impurezas orgánicas en el agregado fino mediante este método se puede conocer el procedimiento experimental que determina la presencia y el contenido de materia orgánica en el agregado fino usado en las mezclas de mortero.

Para determinar el contenido de materias orgánicas se utiliza normalmente la prueba conocida como **colorimetría** o prueba de color, **designada en la ASTM C**

40. La forma en que se lleva a cabo este ensaye consiste en colocar una muestra de la arena que se investiga en una solución de hidróxido de sodio al tres por ciento. Transcurrida veinte y cuatro horas se compara el color resultante en la solución con un color estándar de referencia. Si el color es más claro que el de la solución patrón se considera que la cantidad de materia orgánica que se encuentra presente en el agregado no tendrá efectos perjudiciales en el mortero.

Por el contrario, si el color de la solución resulta más oscuro que el estándar, se interpreta como síntoma de contaminación excesiva y como posible causa de rechazo por este motivo. Esto nos indica la existencia o no de materia orgánica en cantidades tales que pueden afectar la resistencia del mortero. Al final del período de reposo de 24 horas, se sostiene la botella con la muestra de ensayo y la tarjeta de colores de referencia, comparamos el color del líquido a través de la muestra de ensayo con el color de los cinco vidrios de color estándar.

Se registra el número de la placa orgánica que corresponda al color que presenta el líquido de la muestra de agregado fino. (ASTM)

Tabla 4 - Colores de Referencia

Color Estándar Gardner No.	Placa Orgánica No.
5	1
8	2
11	3 (Estándar)
14	4
16	5

Fuente: ASTM -C40

Otro agregado que se ensaya en esta tesis, es el cemento. La primera prueba es designada por la **ASTM-C187** dicha norma es la encargada de la **determinación de la consistencia normal de pastas de cemento hidráulico**. La consistencia se refiere a la modalidad relativa de una pasta de cemento recién mezclado o bien su capacidad de fluir.

Durante el ensayo de cemento, se mezclan pastas de consistencia normal, mismas que se definen por validas solo por una penetración de 10 ± 1 mm de la aguja de Vicat de diámetro 10 mm a los 30 segundos después de haber sido penetrada.

Este método de prueba está destinado a usarse para determinar la cantidad de agua requerida para preparar pastas de cemento hidráulico con consistencia normal, como se requiere para ciertas pruebas estándar. (ASTM)

Al momento de realizar el método se debe garantizar la temperatura del aire ambiente en la sala de trabajo, la zona de mezclado, el cemento seco, los moldes y placas de base, excepto la del agua que se debe mantener entre $23 \pm 4^{\circ}\text{C}$

1.5.16.1. Procedimiento de cálculo

✓ Cantidad de agua

Ecuación 16

$$W_w = \%Agua * W_c$$

Donde:

W_w: Peso de agua a añadir

W_c: Peso de la muestra de cemento

1.5.17. Determinación del tiempo de fraguado del cemento por el método de la aguja Vicat ASTM- C191

El objetivo de este ensayo es conocer y ejecutar el procedimiento experimental que determina el tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico utilizando la aguja de Vicat.

El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto, así como tampoco debe ocurrir demasiado tarde el fraguado final. Los tiempos de fraguado indican si la pasta está desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. (ASTM)

Para llevar un correcto ensayo según la norma **ASTM-C191** se repite el proceso de la norma anterior (ASTM - C187).

Esta vez ya utilizando la cantidad de agua válida encontrada anteriormente. Una vez elaborada la pasta de cemento a como lo indica la ASTM –C187 se coloca la aguja de 1 mm de diámetro en el aparato de Vicat, se gradúa en 0 y se deja lista para determinar los tiempos de fraguado.

La primera lectura se realiza 30 minutos luego que se moldea sin ser alterada en un cuarto de curado. Pasado los 30 minutos, la aguja de diámetro 1 mm en contacto con la pasta de cemento, nos aseguramos de ajustar la escala de lectura en cero y dejamos descender libremente durante treinta segundos, al pasar los 30 segundos se cierra el tornillo de presión y se debe anotar al final de este período la penetración que alcanza la aguja dentro de la pasta, pasado esto se debe regresar la pasta al cuarto de curado.

Después de ese proceso se repite cada 15 minutos el procedimiento anterior. Cada ensayo de penetración debe estar al menos a 5 mm de distancia de cualquier penetración anterior y al menos 10 milímetros de separación de la parte interna del molde. Se deberán realizar las pruebas de penetración hasta que la aguja de Vicat no deje impresión completa circular en la superficie de la pasta de cemento.

Para terminar, se verifica el fraguado final, haciendo dos mediciones adicionales de penetración en diferentes áreas de la superficie del espécimen. Se obtienen mediciones de verificación dentro de los 90 segundos, después de obtenido el "primer fraguado final". Hasta ese entonces se registra como el tiempo de fraguado final. (ASTM)

1.5.17.1. Procedimiento de Cálculo

Tiempo de fraguado inicial: El tiempo de fraguado inicial es cuando la aguja de diámetro 1.0 mm penetra en la pasta de cemento 25 mm

Ecuación 17

$$\text{Tiempo de fraguado inicial (minutos)} = \left| \left(\frac{H - E}{C - D} \right) \times (C - 25) \right| + E$$

Donde:

E: Tiempo en minutos de la última penetración superior a 25 mm

H: Tiempo en minutos de la primera penetración inferior a 25 mm

C: lectura de penetración en el tiempo E

D: lectura de penetración en el tiempo H

Tiempo de fraguado final: es cuando la aguja penetra 0.0 mm en la pasta.

1.5.18. Determinación del peso específico relativo del cemento hidráulico ASTM C -188.

El objetivo de la norma es especificar la importancia que tiene el peso específico relativo del cemento en el diseño y control de mezclas de mortero. Para este ensayo se determina la densidad del cemento aplicando el procedimiento correspondiente según la norma **ASTM-C 188** por medio del frasco de Le Chatelier.

El peso específico relativo o densidad es la relación entre el peso de un volumen dado de material a cierta temperatura, en comparación al peso de un volumen igual de líquido (en nuestro caso gasolina) a esa misma temperatura.

En este ensayo, la temperatura a la cual se haga la prueba no ocasiona mucha diferencia en los resultados; pero es importante que la temperatura del frasco, del líquido y del cemento se mantenga constante durante toda la práctica.

1.5.18.1. Procedimiento de cálculo

✓ Gravedad específica del cemento

Ecuación 18

$$Ge_c = \frac{W_c}{V_f - V_o}$$

Gec: Gravedad específica del cemento

Wc: Peso del cemento

Vo: Volumen inicial

Vf: Volumen final

Mediante este ensayo obtuvimos el resultado de la gravedad específica del cemento la cual se calculó dividiendo el peso del cemento entre el volumen inicial menos el volumen final.

Capítulo II. Ensayos para materiales del ladrillo reciclado

Para poder llegar a la etapa de fabricación de los ladrillos primero los materiales deben pasar una fase de análisis, la cual se desarrolla en los laboratorios de la Universidad Nacional de Ingeniería UNI – RUPAP y UNI RUACS en donde se evalúan a detalle las características de los materiales incluidos (arena, plástico y cemento).

2.1. Obtención del Plástico PET

JJ Comercial es un centro de acopio en donde se recicla plástico PET, ubicada en Managua la empresa somete el plástico a un proceso de trituración, purificación y fundición para lograr un producto final como sillas, maceteros, mesas, etc.

Gracias a dicha empresa se logró encontrar el plástico ya triturado evitándonos así la tarea de hacerlo a mano o utilizando maquinas que no están pensadas para ese uso. La empresa JJ comercial está ubicada de los semáforos de róbelo 2 cuadras al este, en la ciudad de Managua.

Ilustración 3: Empresa JJ comercial centro de acopio reciclador de plástico



Fuente: Google Maps

Como agregado fino se utilizó arena natural extraída del banco de material “Rio Macuelizo” ubicado en Ocotal.

Ilustración 4: Rio Macuelizo Ocotal, Nicaragua



Fuente: Google Maps

El rio Macuelizo en Ocotal es el banco de material del cual proviene la arena analizada y ensayada en este trabajo.

Ilustración 5: Certificación Holcim, Nicaragua



Fuente: Holcim Nicaragua S.A

El cemento hidráulico utilizado es Cemento Holcim tipo GU (usos generales). Es un cemento de origen nacional, fabricado y comercializado por Holcim Nicaragua.

La Norsok S-006 es una norma internacional, desarrollada por la industria petrolera Noruega. Holcim (Nicaragua) está certificada desde hace varios años con las normas internacionales ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001 y se sometió recientemente a una nueva evaluación a cargo del ente certificador colombiano "ICONTEC declara que la organización Holcim (Nicaragua) S.A. ha sido evaluada con respecto a los requisitos especificados en Norsok S-006:2003. Esta evaluación es aplicable a las siguientes actividades: Producción y comercialización de cemento con base en Clinker, incluyendo proceso de extracción de material puzolánico", dice el certificado. Según ICONTEC, la empresa consiguió un puntaje en la categoría de *Excelencia*. (ICONTEC, 2012)

En este capítulo debemos definir los ensayos que se realizaron en los laboratorios del departamento de materiales de la construcción, cuales son los siguientes.

2.2. Determinación de muestras de agregados a tamaños de ensayos (ASTM C – 072)

El ensayo de reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayos, basado en la normativa ASTM C 072, es aplicable para agregados gruesos y finos obtenidos en el campo y trasladados al laboratorio.

Los datos presentados se determinaron según la designación ASTM C-072, en donde detalla los 3 métodos para cuartear el agregado fino. El método aplicado fue el método B, se siguieron los pasos tal y a como lo establece la norma para la toma de peso de la tara, muestras de arena y uso del horno durante el tiempo y temperatura establecida.

Ilustración 6 – Proceso de muestreo del agregado fino



Fuente: Elaboración Propia

✓ **Cálculo de porcentaje de humedad retenida en la muestra obtenida**

Ecuación 3

$$\%w (\text{peso de muestra}) = \frac{\text{peso de la muestra húmeda} - \text{peso de la muestra seca}}{\text{peso de la muestra seca}} \times 100$$

$$\%W \text{ Muestra 1} = \frac{500 \text{ g} - 492 \text{ gr}}{492 \text{ gr}} \times 100 = 1.63$$

$$\%W \text{ Muestra 2} = \frac{500 \text{ g} - 491.3 \text{ gr}}{491.3 \text{ gr}} \times 100 = 1.77$$

$$\%W \text{ Muestra 3} = \frac{500 \text{ g} - 492.1 \text{ gr}}{492.1 \text{ gr}} \times 100 = 1.61$$

Promedio: 1.67

Tabla 5 - Resultados obtenidos del ensayo

Proyecto: Ladrillos Reciclados		Procedencia:	Rio Macuelizo, Ocotal	
Agregado:	Fino	Ensayo		
Tara No:		1	1	1
Peso de la Tara (gr)		170.40	170.40	170.4
Peso de la tara más agregado húmedo (gr)		670.4	670.4	670.4
Peso de agregado húmedo (gr)		500	500	500
Peso de la tara más agregado seco (gr)		662.4	661.70	662.50
Peso de agregado seco (gr)		492	491.3	492.1
Contenido de humedad (%)		1.63	1.67	1.61
Contenido de humedad promedio (%)		1.67		

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 4 podemos apreciar por medio de 3 muestras que el contenido de humedad que procedía del banco de arena era relativamente bajo, pues provenía con un porcentaje del 1.67% de humedad en promedio.

2.3. Determinación de la gravedad específica y porcentaje de absorción del agregado fino ASTM C – 128.

En esta práctica se contempla realizar el procedimiento de laboratorio para determinar el porcentaje de absorción de la arena, los valores de absorción se usan para calcular el cambio de masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios porosos dentro de las partículas que lo componen, comparados a la condición seca, cuando se estima que el agregado ha estado en contacto con el agua por el tiempo suficiente para satisfacer el potencial de absorción.

Los procedimientos generales descritos en este método de ensayo son adecuados para determinar la absorción de los agregados que han sido sometidos a otras condiciones diferentes a las 24 h de inmersión, tales como en agua hirviendo o en saturación al vacío. Los valores de absorción obtenidos por estos otros métodos, serán diferentes a los valores obtenidos por la inmersión prescrita, como también lo será la densidad relativa saturada superficialmente seca.

Ilustración 7 – Tamizado (Tamiz No 4) y pesado del material fino



Fuente: Elaboración Propia

2.3.1. Método gravimétrico

Tabla 6. Gravedad Específica del Agregado Fino.

Gravedad Específica Arena	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Temperatura de ensayo
Arena seca (grs)	A 500	500	500	23°
Arena sss (grs)	B 522	518	522	
Peso picnómetro + muestra + agua (grs)	C 980	977.5	980	
Picnómetro + agua (grs)	D 682	682	682	

✓ **Cálculo de la gravedad específica o densidad relativa**

Ecuación 4:

$$Ge = \frac{500gr}{682g + 522g - 980gr} = 2.23$$

- ✓ Cálculo de la gravedad específica en condición saturada superficialmente seca

Ecuación 5:

$$G_{sss} = \frac{522 \text{ gr}}{682 \text{ gr} + 522 \text{ gr} - 980 \text{ gr}} = 2.33$$

- ✓ Cálculo de la gravedad específica aparente

Ecuación 6:

$$G_{eap} = \frac{500 \text{ gr}}{682 \text{ gr} + 500 \text{ gr} - 980 \text{ gr}} = 2.47$$

- ✓ Cálculo del porcentaje de absorción

Ecuación 7:

$$\%abs = \frac{B - A}{A} * 100$$

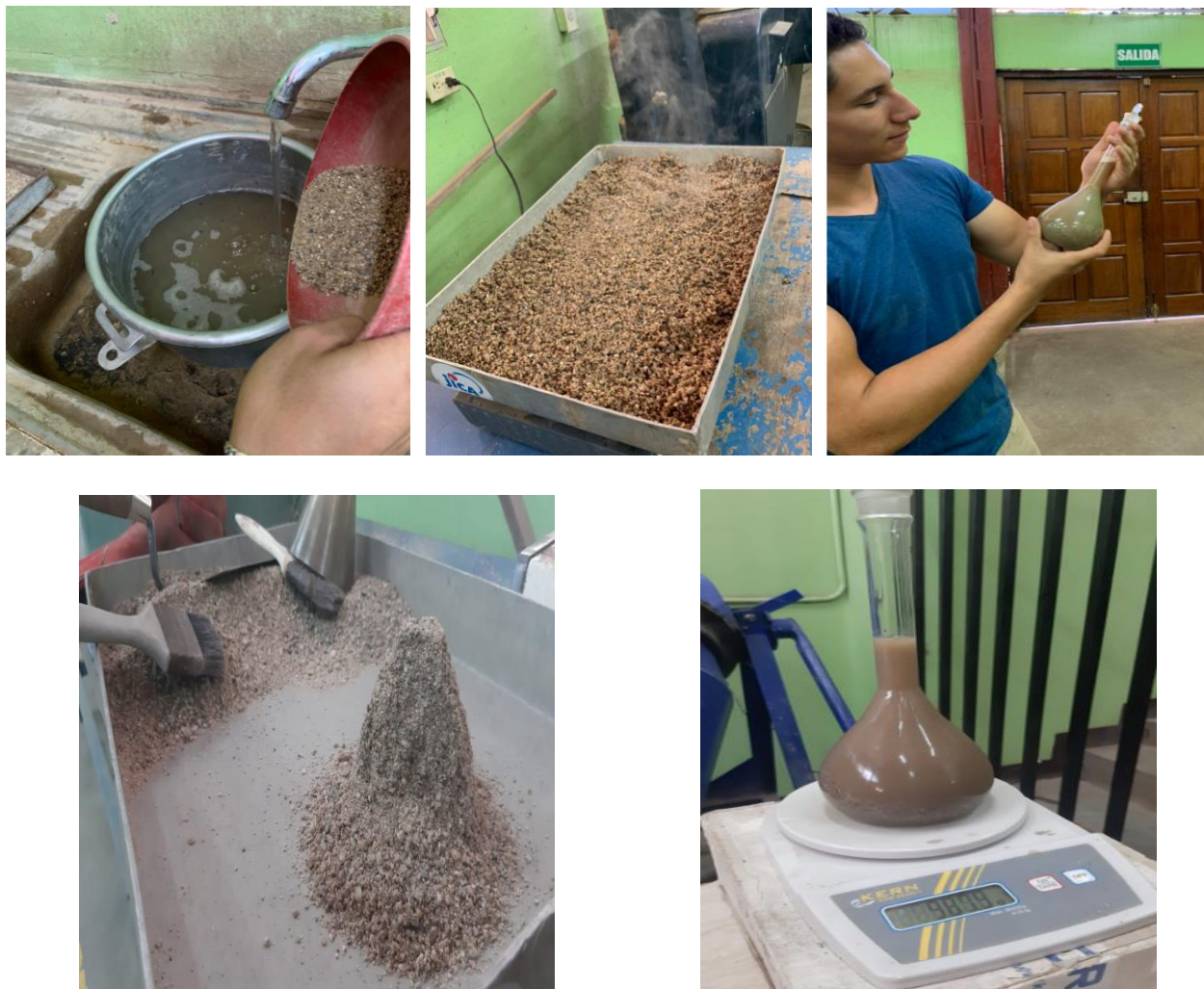
$$\%Abs: \frac{522 - 500}{500} * 100 = 4.4 \%$$

Tabla 7 - Gravedad Específica del Agregado Fino

Gravedad Específica Arena	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Temperatura de ensayo
Gravedad Específica	2.23	2.24	2.23	2.23
Gravedad Específica SSS	2.33	2.32	2.33	2.33
Gravedad Específica Aparente	2.47	2.44	2.47	2.46
% Absorción	4.4	3.6	4.4	4.13

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 8 – Proceso de Elaboración del ensayo de gravedad específica para agregado fino



Fuente: Elaboración Propia

2.4. Determinación de los pesos unitarios secos sueltos y seco compacto de los agregados gruesos y finos ASTM C 29

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad bulk (“peso unitario”) del agregado en una condición compactada o suelta, y calcula los vacíos entre las partículas en el agregado fino, grueso o una mezcla de ellos, basado en la misma determinación. Este método de ensayo es aplicable a agregados que no excedan las 5 pulgadas. (125 mm) de tamaño nominal máximo.

2.4.1. Procedimiento de cálculo

Cálculo del material seco contenido en el recipiente

Ecuación 9:

$$W_s = (\text{peso del recipiente} + \text{Peso del material}) - \text{Peso del recipiente}$$

Ws: Peso del material seco contenido en el recipiente

Sustituimos los datos en la ecuación:

$$W_s = (7.674 \text{ kg}) - 2.867 \text{ kg} = 4.808 \text{ kg}$$

✓ Cálculo del Peso Volumétrico Seco Suelto

Ecuación 8:

$$PVSS = \frac{\text{Peso del material seco}}{\text{Volumen del molde}}$$

PVSS: Peso volumétrico seco suelto, en Kg/m³

Sustituimos en la ecuación:

$$PVSS = \frac{4.808 \text{ kg}}{0.0032 \text{ m}^3} = 1502.5 \text{ kg/m}^3$$

✓ Cálculo del Peso Volumétrico Seco Compacto

Ecuación 10:

$$PVSC = \frac{\text{Peso del material seco}}{\text{Volumen del molde}}$$

Donde:

PVSC: Peso volumétrico seco suelto, en Kg/m³

Se sustituyen los datos en la ecuación:

$$PVSC = \frac{5.160 \text{ kg}}{0.0032 \text{ m}^3} = 1612 \text{ kg/m}^3$$

✓ **Cálculo del contenido de aire**

Ecuación 11:

$$\%vacios = \frac{Gravedad\ esp.*\ Densidad\ del\ agua - PVSC}{Gravedad\ especifico * densidad\ del\ agua} * 100$$

Donde:

%vacíos: Porcentaje de vacíos

PVSC: Peso volumétrico seco suelto

Sustituimos datos en la ecuación:

$$\%vacios = \frac{2.23 * 997 - 1612}{2.23 * 997} * 100 = 27.5\%$$

2.4.2. Presentación de Datos y Resultados

Tabla 8 - Peso Volumétrico Seco Compacto de la Arena

PVSC Arena			
Ensaye No	1	2	3
Molde No	B	B	B
Volumen del molde (m ³)	0.0032	0.0032	0.0032
Peso del molde (kg)	2,867	2,867	2,867
Peso del molde + material compacto(kg)	8.027	8.049	8.072
Peso del agregado seco compacto(kg)	5.160	5.182	5.205
PVSS arena(kg/m ³) N° 4	1612	1619.4	1626.6
PVSC Promedio	1619 kg/m ³		

Fuente: Elaboración propia

Los agregados para concreto poseen un peso volumétrico seco suelto entre 1280 kg/m³ y 1920 kg/m³. Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango típico de agregados para concreto y son representativos de agregados de peso normal.

Tabla 9 Peso Volumétrico Seco Suelto de la Arena

PVSS Arena			
Ensayo No	1	2	3
Molde No	B	B	B
Volumen del molde (m ³)	0.0032	0.0032	0.0032
Peso del molde (kg)	2.867	2.867	2.867
Peso del molde + material suelto (kg)	7.674	7.655	7.688
Peso del agregado seco suelto (kg)	4.808	4.788	4.821
PVSS arena (kg/m ³) N° 4	1502.5	1496.25	1506.56
PVSS promedio (kg/m ³)	1502 (kg/m ³)		

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 9 – Procedimiento de elaboración de ensayo 3



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10 - Determinación del factor de calibración de Moldes

Molde N°	M-B	M-A	M-C	M-D
Peso del molde (kg)	2.87	2.17	4.67	5.65
Peso del molde + Peso del agua (Kg)	6.10	5.26	14.89	15.81
Peso del agua (kg)	3.23	2.09	10.22	10.16
Temperatura de ensaye (°C)	28.8	28.8	29.6	29.5
Peso Unitario del agua temperatura de ensaye (kg/m ³)	996	995	996	996
Volumen del molde (1/m ³)	308	475	97	98
Factor de Calibración (m ³)	0.0032	0.0021	0.010	0.0102

Fuente: Elaboración Propio

2.5. Determinación del análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos ASTM C – 136

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices según la norma ASTM C 136. El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas.

Este método de ensaye es usado para determinar la graduación de materiales propuestos para usarse como agregados o siendo usados como agregados. Los resultados son usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de las partículas con los requerimientos especificados aplicables, para proporcionar información necesaria en el control de la producción de varios productos agregados y mezclas conteniendo agregados.

2.5.1. Procedimiento de Cálculos

✓ Cálculo de los pesos retenidos parciales

Tomamos cada uno de los tamices con la cantidad de material retenido después de cribarlo, pesamos uno por uno y restando el peso del tamiz para obtener el peso del material retenido.

Ecuación 12:

$$\%RP = \frac{\text{Peso retenido en cada tamiz}}{\text{Peso seco total}} * 100$$

%RP: Porcentaje retenido parcial

Peso retenido: tomamos de ejemplo la cantidad retenida del tamiz No 30 que su valor es de 266.1 kg.

Peso seco total: Es la sumatoria de todos los pesos retenidos en cada tamiz el cual su valor es 469.5 kg

Sustituimos valores en la ecuación:

$$\%RP = \frac{266.1}{469.5} * 100 = 56.68\%$$

✓ **Cálculo de los pesos retenidos acumulados**

Se toman los valores porcentuales de material retenido en cada tamiz y se realiza el porcentaje acumulado que equivale a la sumatoria de cada porcentaje retenido agregándole el resultado del tamiz antes del actualmente calculando hasta llegar al 100%.

Ecuación 13:

$$\%RA = \%RA_i + \%RP_{i+1}$$

%RA: Porcentaje retenido acumulado

$\%RA_i$: Es el Porcentaje acumulado inicial obtenido en la ecuación del tamiz No 30 que su valor es de 57.06%

$\%RP_{i+1}$: Es el Porcentaje retenido parcial siguiente al acumulado que se está calculando el cual sería el No 50 con un valor de 34.93%

Sustituimos los datos en la ecuación:

$$\%RA = 57.06 + 34.93 = 91.99$$

✓ **Cálculo de los porcentajes que pasan**

Se calcula el porcentaje que paso por cada tamiz restando el 100% menos el valor del porcentaje retenido.

Ecuación 14:

$$\%que\ pasa = 100 - \%RP$$

%RP: Porcentaje retenido en cada tamiz en este caso el tamiz No 30 con un valor de 56.68%

Sustituimos datos en la Ecuación:

$$\%que\ pasa = 100 - 56.68\% = 43.32\%$$

✓ **Cálculo del módulo de finura**

Se encuentra mediante la sumatoria del porcentaje retenido acumulado del tamiz de 3/8" hasta el No 100 y dividirlo entre 100 y así obtener su módulo de finura

Ecuación 15:

$$MF = \frac{\sum \%RA\ (desde\ \frac{3}{8}''\ hasta\ \#100)}{100}$$

MF: Modulo de finura

%Ra: Porcentaje retenido acumulado con un valor sumado de 248.39%

Sustituimos valores en la ecuación:

$$MF = \frac{248.39}{100} = 2.484$$

2.5.2. Presentación de Datos y Resultados:

Tabla 11: Formato para determinar la granulometría del agregado fino.

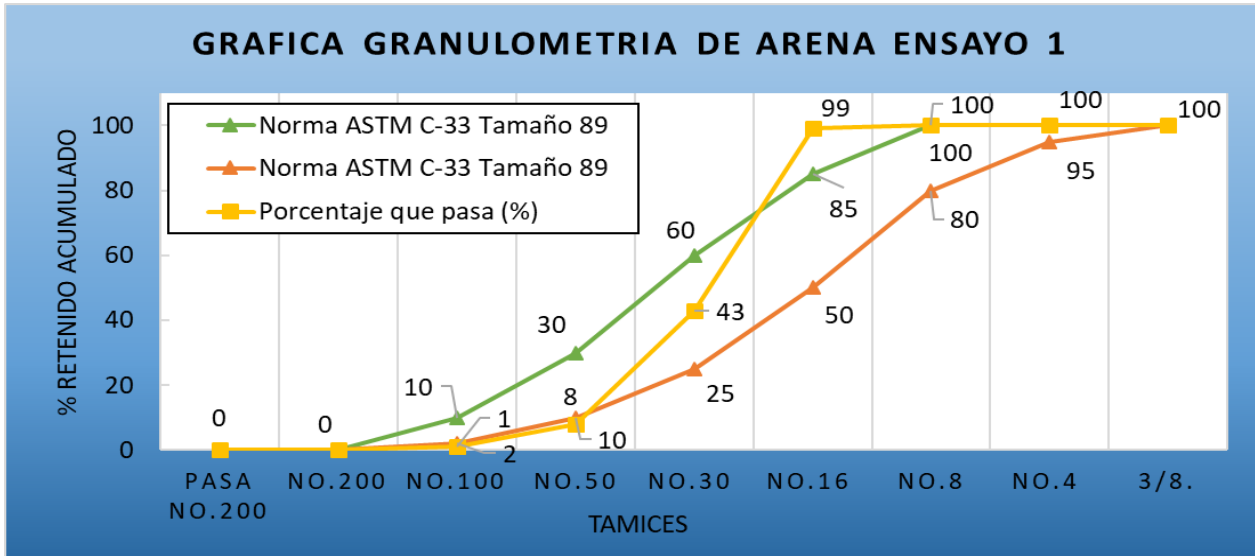
Proyecto:	Análisis Granulométrico			Ensayo 1		
Material:	Arena	Procedencia:		Rio Macuelizo, Ocotal		
Tamiz:	Peso retenido o gr	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje e retenido acumulado (%)	Porcentaje e que pasa (%)	Norma ASTM C-33 Tamaño 89	
3/8 (9.5 mm)	0	0	0	100	100	100
No. 4 (4.75 mm)	0	0	0	100	95	100
No. 8 (2.36 mm)	0	0	0	100	80	100
No. 16 (1.18 mm)	2	0.38	0.38	99	50	85
No. 30 (0.60 mm)	266	56.68	57	43	25	60
No. 50 (0.30 mm)	164	34.93	91	8	10	30
No. 100 (0.15 mm)	33	6.97	99	1	2	10
No. 200 (0.075mm)	4	1.00	100	0		
Pasa No. 200	1	0.04	100	0		
Suma	470	100				
MF	2.5					

Fuente: Elaboración Propia

Proyecto:	Análisis Granulométrico			Ensayo 2		
Material:	Arena	Procedencia:		Rio Macuelizo, Ocotal		
Tamiz:	Peso retenido gr	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Norma ASTM C-33 Tamaño 89	
3/8 (9.5 mm)	0	0	0	100	100	100
No. 4 (4.75 mm)	0	0	0	100	95	100
No. 8 (2.36 mm)	1.8	0.36	0.36	99	80	100
No. 16 (1.18 mm)	3.1	0.62	0.98	99	50	85
No. 30 (0.60 mm)	271.3	54.37	55.35	45	25	60
No. 50 (0.30 mm)	172.5	34.57	89.92	10	10	30
No. 100 (0.15 mm)	43.2	8.66	98.58	1	2	10
No. 200 (0.075mm)	5.9	1.18	99.76	0		
Pasa No. 200	1.2	0.24	100.00	0		
Suma	499	100				
MF	2.452					

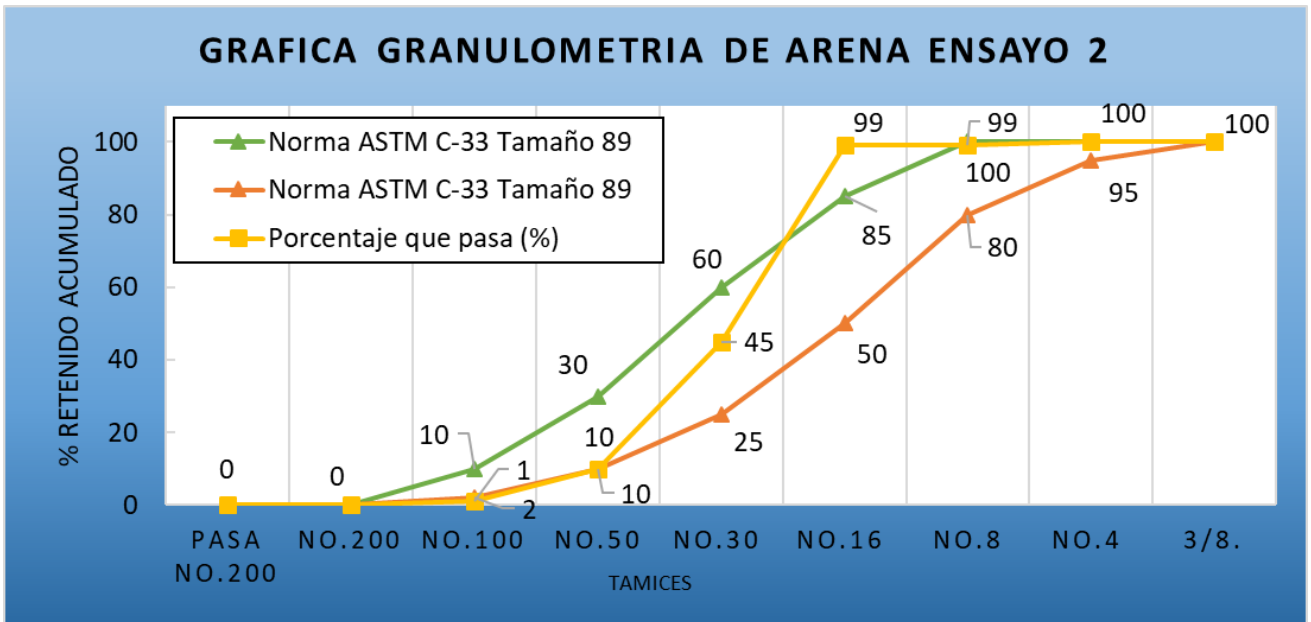
Fuente: Elaboración Propia

Grafica 1 - Graficar los resultados obtenidos en la tabla granulométrica y compararlos con la norma ASTM C 33



Fuente: Elaboración propia.

La curva granulométrica está por encima del límite superior en el tamiz No 16 lo cual no cumple con la normativa y el resto se mantiene en el rango, lo que indica que el agregado fino estudiado está cumpliendo con la norma ASTM C-33 y su granulometría tiene un porcentaje que pasa satisfactorio para ser utilizado en nuestra mezcla.



Fuente: Elaboración Propia.

Al igual que el ensayo N°1 el tamiz N°16 está por encima del límite superior en la curva granulométrica por lo cual; el tamiz N°16 no cumple con la normativa. Sin embargo, el resto de tamices se mantiene en el rango, lo que indica que el agregado fino estudiado está cumpliendo con la norma ASTM C-33 y su granulometría tiene un porcentaje que pasa satisfactoriamente para ser utilizado en nuestra mezcla.

Ilustración 10 – peso del porcentaje retenido por cada tamiz



Fuente: Elaboración Propia.

2.6. Agregado fino - PET

Se utiliza el mismo método de cálculo establecido para el agregado fino como es la arena ya que este material no tiene una norma específica para lo que es plástico en el país y calculamos la granulometría del material reciclado y triturado

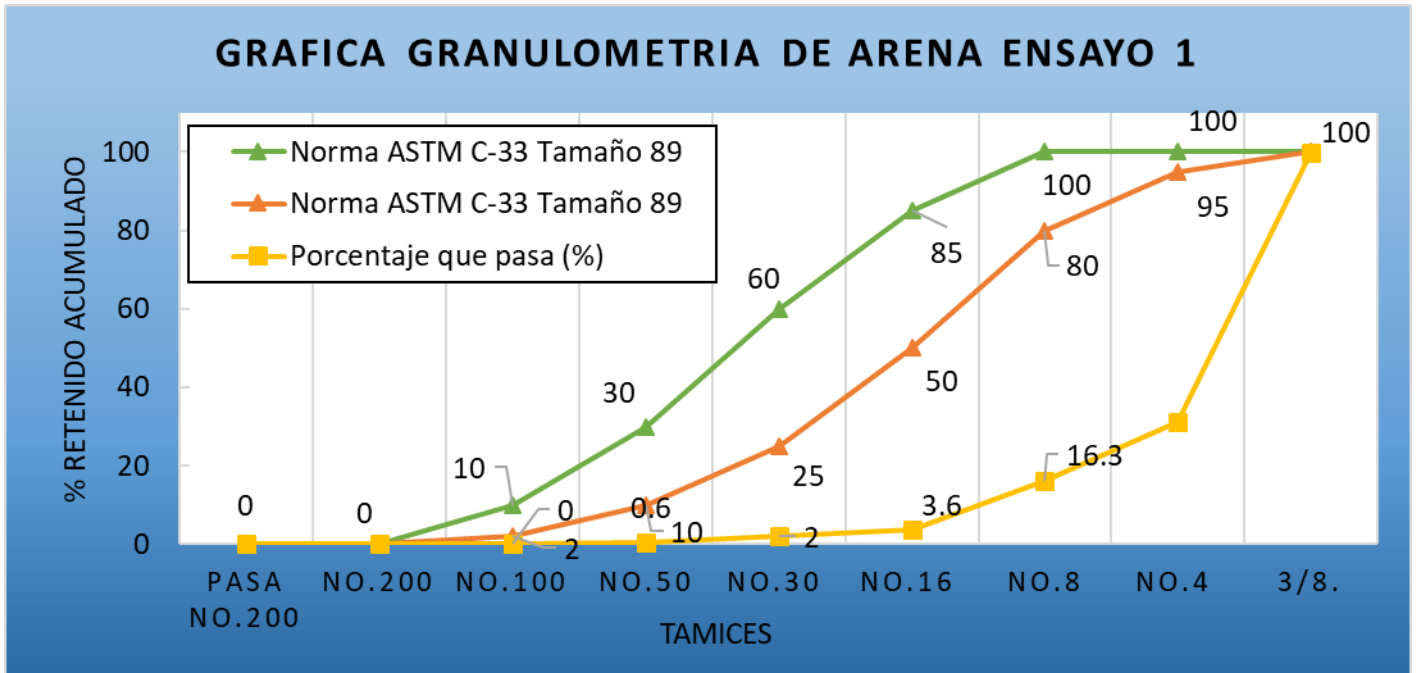
2.6.1. Presentación de datos y Resultados (PET)

Tabla 12 – Análisis granulométrico de material fino reciclado PET

Proyecto:	Análisis Granulométrico			
Material:	Plástico	Procedencia	JJ Comercial	
		:		
Tamiz:	Peso retenido gr	Porcentaje Retenido Parcial (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
	Ensaye No.1	Ensaye No.1	Ensaye No.1	Ensaye No.1
3/8 (9.5 mm)	1	0.2	0.2	99.8
No. 4 (4.75 mm)	343	68.6	68.8	31.2
No. 8 (2.36 mm)	124.5	24.9	93.7	16.3
No. 16 (1.18 mm)	13.5	2.7	96.4	3.6
No. 30 (0.60 mm)	8	1.6	98	2
No. 50 (0.30 mm)	7	1.4	99.4	0.6
No. 100 (0.15 mm)	3	0.6	100	0
No. 200 (0.075mm)	0	0	100	0
Pasa No. 200	0	0	100	0
Suma	500	100		
MF	5.565			

Fuente: Elaboración propia.

Grafica 2 – Granulometría de plástico del porcentaje que pasa



Fuente: Elaboración propia

La curva granulométrica está por debajo del límite inferior entre los tamices 3/8 y N° 100, lo que indica que el agregado de plástico estudiado es un material que está por debajo de los límites establecidos por la norma ASTM C-33 entre estos tamices. Donde podemos encontrar un plástico más grueso de lo establecido por la ASTM-C33.

Ilustración 11 – proceso de cada porcentaje retenido de material





Fuente: Elaboración Propia

2.7. Determinación de las impurezas orgánicas en el agregado fino para mezclas de mortero

La **ASTM –C40** determina las impurezas orgánicas en el agregado fino, mediante este método se puede conocer el procedimiento experimental que determina la presencia y el contenido de materia orgánica en el agregado fino usado en las mezclas de mortero.

Para determinar el contenido de materias orgánicas se utiliza normalmente la prueba conocida como **colorimetría** o prueba de color, **designada en la ASTM C 40**.

Tabla 13 - Uso del agregado fino según contenido de impurezas orgánicas

Color	Utilización	Disminución de la resistencia del mortero y del concreto de 7 a 28 días de edad
Incoloro o amarillo claro	Concreto de buena calidad	0
Azafranado	Utilizable	10% a 15%
Rojo amarillento	Concreto sometidos a tensiones reducidas	15 a 25%
Castaño marrón	No utilizable	25 a 50%
Marrón oscuro	No utilizable	50% a 100%

Fuente: Matus y Blanco, Apuntes de materiales de construcción.

El resultado del ensayo fue un material incoloro y de acuerdo con los datos de la tabla 17, éste agregado es factible para la fabricación de mortero de buena calidad considerando que no afecta la resistencia final.

Ilustración 12. Proceso de Elaboración del ensayo de impurezas orgánicas



Fuente: Elaboración Propia

2.8. Determinación de la consistencia normal de pastas de cemento hidráulico (ASTM-C187)

Este método de prueba está destinado a usarse para determinar la cantidad de agua requerida para preparar pastas de cemento hidráulico con consistencia normal, como se requiere para ciertas pruebas estándar.

2.8.1. Procedimiento de cálculo

✓ Cantidad de agua

Ecuación 16:

$$W_w = \%Agua * W_c$$

$$Muestra 1: W_w = 0.33 * 650 = 214.5 \text{ ml}$$

$$Muestra 2: W_w = 0.30 * 650 = 195 \text{ ml}$$

$$Muestra 3: W_w = 0.295 * 650 = 195.75 \text{ ml}$$

Con este ensayo obtuvimos los resultados de los cálculos como lo son la cantidad de agua en donde se calcula la cantidad de agua a añadir igual al porcentaje de agua multiplicado por el peso de la muestra de cemento.

2.8.2. Presentación de datos y resultados de la consistencia normal

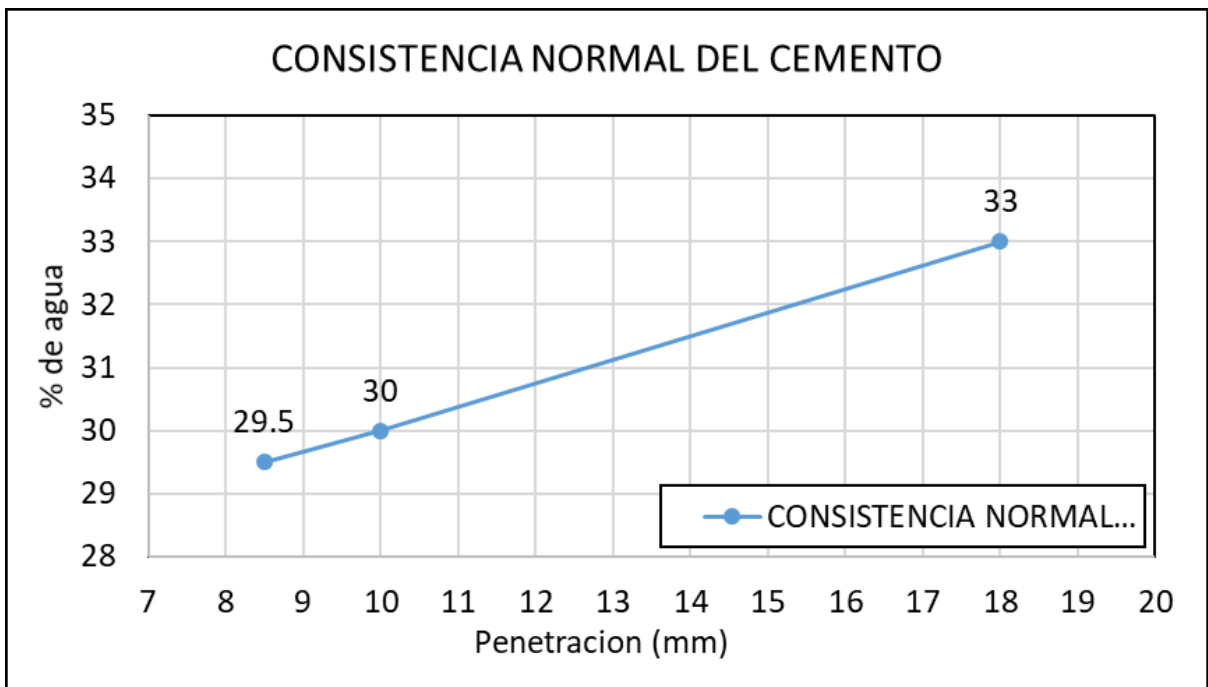
Tabla 14 - Consistencia Normal del Cemento, Muestra 1.

Ensayo	Peso de la muestra (gr)	Cantidad de agua (ml)	Penetración (mm)	% Agua
1	650	214	18mm	33
2	650	195	10	30
3	650	195.75	8.5	29.5

Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que la temperatura en la cual fue realizada esta prueba fue de 32°C, la temperatura del agua con la cual realizamos la prueba fue de 24°C usando hielo hasta poder llegar a la temperatura deseada.

Grafica 3 - Consistencia Normal del Cemento, Muestra 1



Fuente: Elaboración propia

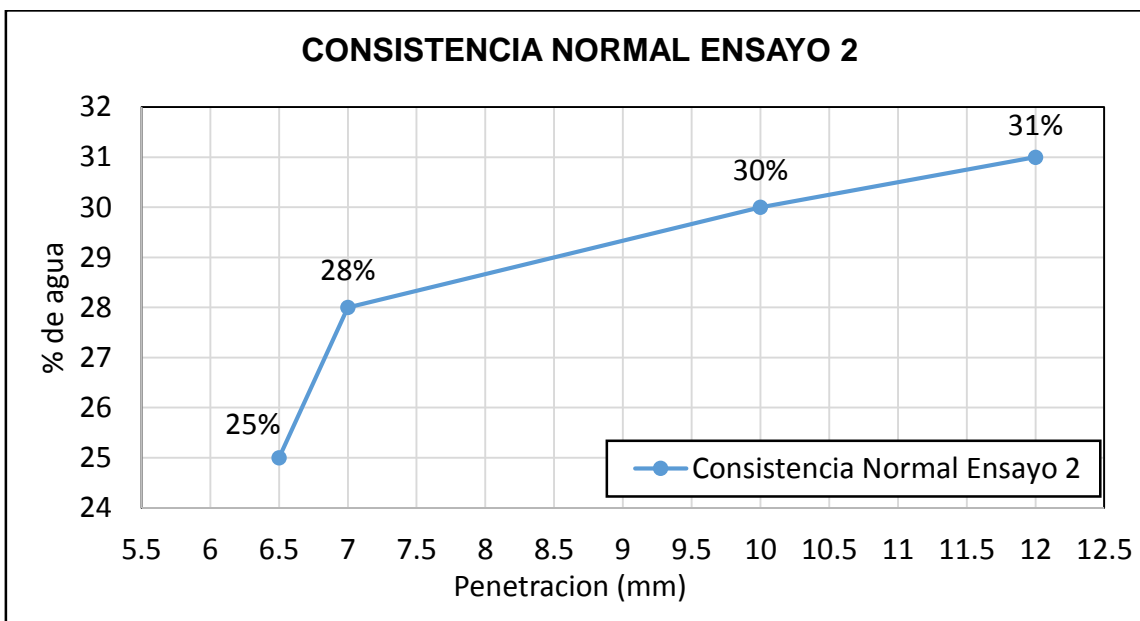
Tabla 15 – resultados de la consistencia normal de la muestra 2

Ensayo	Peso de la muestra (gr)	Cantidad de agua (ml)	Penetración (mm)	% Agua
1	650	201.5	12	31
2	650	195	10	30
3	650	182	7	28
4	650	162.5	6.5	25

Fuente: Elaboración Propia

En la segunda muestra se trabajó con diferentes porcentajes de agua para conocer las posibles variaciones que habría en los resultados, esto nos sirvió para confirmar que se alcanzan los 10 mm de penetración cuando el porcentaje de agua está cerca de un 30%.

Grafica 4 - Consistencia Normal del Cemento, Muestra 2



Fuente: Elaboración Propia

A como podemos apreciar los resultados en las gráficas 3 y 4 correspondientes a los ensayos de consistencia normal del cemento, podemos concluir que con el cemento Holcim de uso general se alcanza una consistencia normal cuando se trabajó con el 30% de agua añadido.

Ilustración 13 – Proceso del ensayo para consistencia normal.



Fuente: Elaboración Propia

2.9. Determinación del tiempo de fraguado del cemento por el método de la aguja Vicat ASTM- C191

El objetivo del ensayo del tiempo de fraguado es la determinación del tiempo que pasa desde el momento de la adición del agua hasta cuando la pasta deja de tener fluidez y de ser plástica (llamado fraguado inicial) y del tiempo requerido para que la pasta adquiera un cierto grado de endurecimiento (llamado fraguado final).

Ecuación 17:

$$\text{Tiempo de fraguado inicial (minutos)} = \left| \left(\frac{H - E}{C - D} \right) \times (C - 25) \right| + E$$

E: Tiempo en minutos de la última penetración superior a 25 mm el cual su valor fue de 90 min

H: Tiempo en minutos de la primera penetración inferior a 25 mm el cual su valor es de 105 min

C: lectura de penetración en el tiempo E su valor fue de 32 mm

D: lectura de penetración en el tiempo H su valor fue de 17 mm

Tiempo de fraguado final: es cuando la aguja penetra 0.0 mm en la pasta su valor fue de 165 min.

Sustituimos datos en la ecuación:

$$\text{Tiempo de fraguado inicial} = \left| \left(\frac{105 - 95}{32 - 17} \right) \times (32 - 25) \right| + 90 = 97 \text{ min}$$

El cual el valor cumple en su tiempo inicial y su tiempo final

Tabla 16 Tiempo de fraguado del Cemento Muestra 1 y 2

Tipo de cemento	Holcim. T1		Procedencia	Managua
No Lectura	Tiempo transcurrido		Penetración	Observación
	Hora	minuto		
1	0.50	30	40	Pasa completo
2	0.75	45	40	Pasa completo
3	1.00	60	38	
4	1.25	75	38	
5	1.50	90	32	
6	1.75	105	17	
7	2.00	120	2	
8	2.25	135	1	
9	2.50	150	1	
10	2.75	165	0	Fraguado final
11	2.765	166.5	0	confirmación
12	2.78	168	0	Confirmación

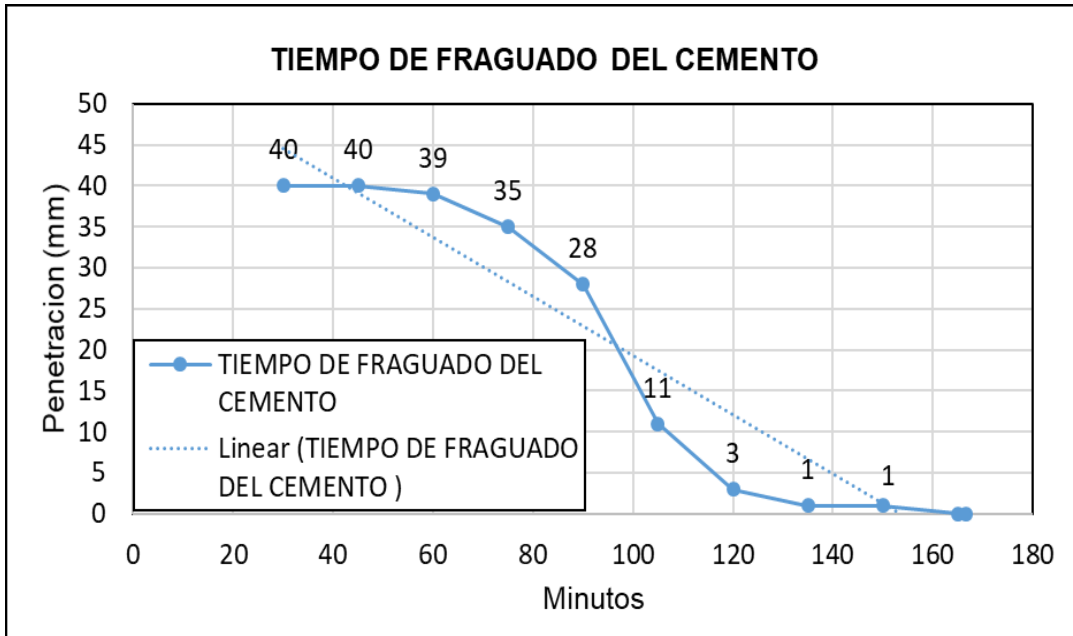
Fuente: Elaboración propio

Tipo de cemento	Holcim. T1		Procedencia	Managua
No Lectura	Tiempo transcurrido		Penetración	Observación
	Hora	Minutos		
Muestra	Numero	2	-	-
1	0.5	30	40	Pasa completo
2	0.75	45	40	Pasa completo
3	1	60	39	
4	1.25	75	35	
5	1.50	90	28	
6	1.75	105	11	
7	2.00	120	3	
8	2.25	135	1	
9	2.50	150	1	
10	2.75	165	0	Fraguado final
11	2.765	166.5	0	Confirmación

Fuente: Elaboración propia

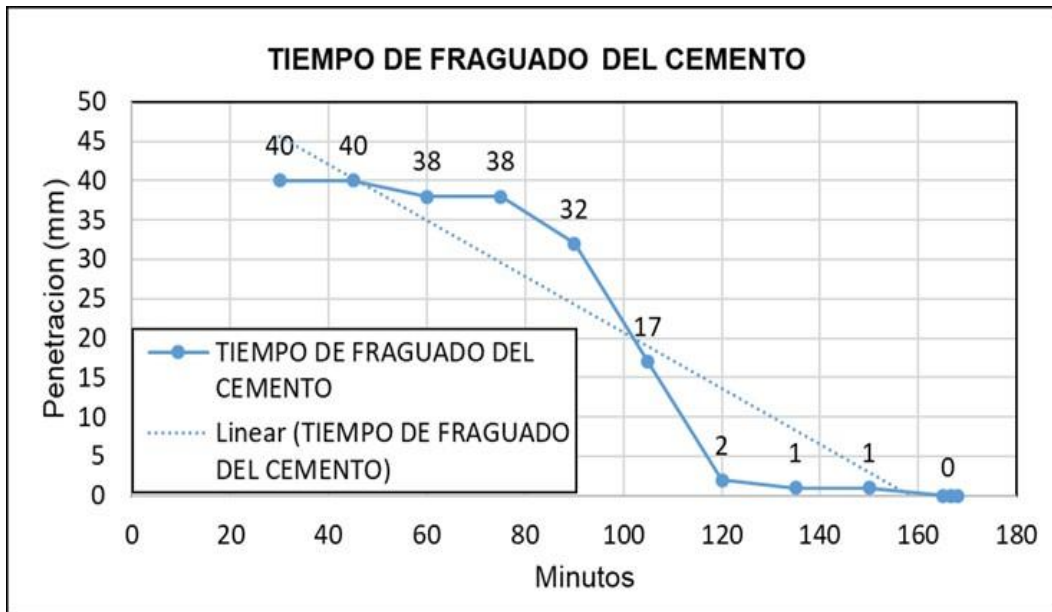
Estos datos de laboratorio se grafican con el propósito de comparar la penetración en función del tiempo. A continuación, se muestra el comportamiento del fraguado de la pasta de cemento.

Grafica 5 - Tiempo de Fraguado del cemento - Muestra 1



Fuente: Elaboración Propia

Grafica 6 - Tiempo de Fraguado del cemento - Muestra 2



Fuente: Elaboración Propia

El resultado de Tiempo de fraguado inicial es de 97 minutos

Partiendo del concepto de fraguado final del cemento se logra identificar que para este caso el resultado es de 165 minutos o bien 2.75 horas.

Los resultados obtenidos en el laboratorio se compararon con los datos certificados del fabricante del cemento para comprobar que el comportamiento del material sea el adecuado. En la tabla 15 se muestra ambos datos.

Tabla 17 Comparación de los tiempos de fraguado del cemento

Tiempos de fraguado del cemento		
Tiempos	Datos del fabricante*	Resultados de ensayos
Tiempo de fraguado inicial	190 min.	97 min.
Tiempo de fraguado final	285 min.	165 min.

Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar en la tabla 15, que los resultados de laboratorio presentan una ligera variación en comparación con los del fabricante, pero dentro de los rangos mínimos (45 min para fraguado inicial) y máximos (7 horas para fraguado final) establecidos por la norma para la determinación del tiempo de fraguado del cemento.

Ilustración 14 - Determinación del tiempo de fraguado del cemento



Fuente: Elaboración propia

2.10. Determinación del peso específico relativo del cemento hidráulico ASTM C 188.

El peso específico relativo o densidad es la relación entre el peso de un volumen dado de material a cierta temperatura, al peso de un volumen igual de líquido (kerosene o gasolina) a esa misma temperatura. En este caso, la temperatura a la cual se haga la prueba no ocasiona mucha diferencia en los resultados; pero es importante que la temperatura del frasco, del líquido y del cemento se mantenga constante durante toda la práctica. Este método de ensayo contempla la determinación de la densidad de cemento hidráulico. Su utilidad particular está relacionada con el diseño y control de mezclas de concreto.

2.10.1. Proceso de cálculo

✓ Gravedad específica del cemento

Se calcula su gravedad específica con los datos encontrados en el ensayo y que se anotaron.

Ecuación 18:

$$Ge_c = \frac{W_c}{V_o - V_f}$$

Gec: Gravedad específica del cemento

Wc: Peso del cemento el cual su valor es de 64 gr

Vo: Volumen inicial el cual su valor fue de 250 ml con temperatura de 23°C

Vf: Volumen final que su valor era de 271.5 ml con temperatura de 23.2°C

Sustituimos datos en la ecuación:

$$Ge_c = \frac{64 \text{ gr}}{271.5 \text{ ml} - 250 \text{ ml}} = 2.977 \text{ gr/ml}$$

2.10.2. Presentación de datos y Resultados

Tabla 18 Gravedad Especifica del Cemento muestra 1

Tipo de cemento:	Holcim	Procedencia:	Managua
Peso de cemento(gr):	64	Tipo de líquido:	Gasolina
Lectura Inicial	Lectura final	Temperatura Inicial	Temperatura Final
250	271.5	23°	23.2°
Peso específico Relativo		2.977 gr/ml	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Gravedad Especifica del Cemento muestra 2

Tipo de cemento:	Holcim	Procedencia	Managua
Peso de cemento(gr):	64	Tipo de líquido:	Gasolina
Lectura Inicial	Lectura final	Temperatura Inicial	Temperatura Final
250	272.00	23°	23.3°
Peso específico Relativo		2.909 gr/ml	

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 15 – Elaboración de la prueba de gravedad específico



Fuente: Elaboración propia

Capítulo III: Diseño de mezclas de mortero

Para dar cumplimiento a los objetivos establecidos y el seguimiento pertinente a la investigación se realizó el último ensayo, el cual fue **determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico, usando especímenes cúbicos de 50 mm (2.0 PULGADAS).**

De la relación agua cemento en una mezcla depende mucho la manipulación al momento de ensayar y su resistencia final a los 28 días de curado. Se pretende encontrar una mezcla que no sea seca ni difícil de manipular de forma manual, por lo tanto, decidimos ensayar con relaciones de agua cemento de 0.5, 0.6, 0.75 y 0.9 para evaluar resultados y decidir qué relación a/c era las más conveniente basados en la resistencia a compresión que buscamos cumplir según la MP-001 y la trabajabilidad para desarrollar una buena distribución de partículas en las mezclas de forma manual.

Previo a realizar este ensayo, debemos definir la dosificación con la cual se ensayará, pensando en una dosificación que sea eficiente para el diseño de mortero; nos basamos en el Manual de Obra, artículo Mortero de Cemento. En los siguientes párrafos se explica cuál es el proceso llevado a cabo. (Manual de Obra, 2016)

3.1. Procedimiento para determinar dosificación 1:3

Se determinó el volumen suelto para 1 m³ de mezcla, dicho volumen suelto es la propuesta de la proporción utilizada para la mezcla. Se calcula la cantidad de material en Kg según los datos obtenidos en los ensayos anteriores y utilizando la relación agua cemento ya establecida y una proporción de 1:3. Se multiplica la cantidad de metros cúbicos que tiene la proporción por los pesos volumétricos seco suelto para obtener su peso en kg. (ASTM)

Ecuación 19: Cemento:

$$W_c = V_s * P_{vss \text{ cemento}}$$

Ecuación 20 - Arena:

$$W_a = V_s * P_{vss \text{ arena}}$$

Ecuación 21 - Agua:

$$W_w = R_{a/c} * W_c$$

W_w: peso de agua en Ra/c

W_c: peso de cemento

W_a: peso de arena

V_s: Volumen suelto

P_{vss}: Peso Volumétrico seco suelto del cemento y la arena

R_{a/c}: Relación agua cemento

Posteriormente se calcula la cantidad volumétrica en m³ de cada uno de los materiales utilizando sus pesos divididos entre su gravedad específica multiplicada por el peso específico del agua.

Ecuación 22

$$V_c = \frac{W_c}{G_e * \gamma}$$

Ecuación 23

$$V_a = \frac{W_a}{G_e * \gamma}$$

Ecuación 24

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma}$$

V_c: Volumen del cemento

V_a: Volumen de arena

V_w: Volumen de agua

W_c = peso del cemento

W_a = peso de arena

W_w = peso del agua

G_e: Gravedad específica

γ: Peso específico del agua

Se calculó el volumen Mezcla, este volumen es igual a la suma del volumen del agua más el volumen de cemento más el volumen de arena.

Ecuación 25

$$V_m = V_c + V_a + V_w$$

Donde:

V_m: Volumen de Mezcla

Se calcula el Volumen de cada material utilizando su volumen dividiéndolo con el volumen de mezcla para obtener el volumen para 1m³

Ecuación 26

$$\frac{V_{cem}}{1m^3} = \frac{V_c}{V_m}$$

$$\frac{V_{arena}}{1m^3} = \frac{V_a}{V_m}$$

$$\frac{V_{agua}}{1m^3} = \frac{V_w}{V_m}$$

Se calcula el peso de los materiales multiplicando su volumen obtenido por la gravedad específica, el peso específico y obtener el peso de cada uno en kg.

Ecuación 27

$$W_c = V_c * G_e * \gamma$$

$$W_a = V_a * G_e * \gamma$$

$$W_w = V_w * \gamma$$

Para la corrección por absorción y humedad el agua de mezclado es el agua de diseño más el agua absorbida por la arena menos el agua contenida por el agregado. En este caso, el agregado fino fue secado al horno por un periodo de ± 24 horas, por lo que no requiere la sustracción del contenido de humedad. Para el cálculo del peso del agua para la mezcla, se toma en cuenta la absorción de la arena solamente al estar saturada y se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 28

$$W_{abs} = W_{diseño} * \frac{\%abs}{100}$$

La siguiente tabla se muestran las proporciones y relaciones agua – cemento de los diseños elaborados de mezclas de mortero.

Tabla 20 - Proporciones de mezclas de mortero

Relación a/c	0.5	0.6	0.75	0.9
Dosificación	1:3			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 - Proporción 1:3: R a/c 0.5 y 0.6

Diseño de Mezcla R a/c 0.5						
Material	Volumen suelto (m³)	Pesos de materiales por proporción (kg)	Volumen sólido (m³)	Volumen sólido para un metro cúbico (m³)	Pesos de los materiales para un metro cúbico (m³)	Corrección por humedad (Lts)
Cemento	1	1130	0.388	0.148	431	
Arena	3	4506	1.663	0.635	1720	
agua		565	0.565	0.216	216	287
Volumen de mezcla			2.616	1		

Fuente: Elaboración Propia

Diseño de Mezcla R a/c 0.6						
Material	Volumen suelto (m³)	Pesos de materiales por proporción (kg)	Volumen sólido (m³)	Volumen sólido para un metro cúbico (m³)	Pesos de los materiales para un metro cúbico (m³)	Corrección por humedad (Lts)
Cemento	1	1130	0.388	0.141	413	
Arena	3	4506	1.663	0.609	1650	
agua		678	0.678	0.247	247	318
Volumen de mezcla			2.729	1		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 - Proporción 1:3 R a/c 0.75

Diseño de Mezcla R a/c 0.75						
Material	Volumen suelto (m³)	Pesos de materiales por proporción (kg)	Volumen sólido (m³)	Volumen sólido para un metro cúbico (m³)	Pesos de los materiales para un metro cúbico (m³)	Corrección por humedad (Lts)
Cemento	1	1130	0.388	0.133	389	
Arena	3	4506	1.663	0.573	1555	
agua		847.5	0.847	0.291	291	357
Volumen de mezcla			2.899	1		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23 - Proporción 1:3 R a/c 0.9

Diseño de Mezcla R a/c 0.9						
Material	Volumen suelto (m³)	Pesos de materiales por proporción (kg)	Volumen sólido (m³)	Volumen sólido para un metro cúbico (m³)	Pesos de los materiales para un metro cúbico (m³)	Corrección por humedad (Lts)
Cemento	1	1130	0.388	0.126	366	
Arena	3	4506	1.666	0.542	1468	
agua		1017	1.017	0.331	332	396
Volumen de mezcla			3.068	1		

Fuente: Elaboración Propia

Se elaboraron diseños y mezclas con proporción 1:3 y relación agua – cemento de 0.5, 0.6, 0.75 y 0.90. Con el objetivo de tener un mayor conocimiento del comportamiento de las mezclas de mortero que tengan un menor costo económico y una alta resistencia, se propuso elaborar mezclas de mortero con proporción 1:3.

A continuación, se muestran las proporciones seleccionadas a ensayar:

Tabla 24 - Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:3 R a/c 0.5

Material	Proporción	Peso de material para un metro cúbico (kg)	Volumen suelto de material (m³)
Cemento	1	431	0.148
Arena	3	1720	0.635
Agua de diseño		216	0.216

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23 - Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:3 R a/c 0.6

Material	Proporción	Peso de material para un metro cúbico (kg)	Volumen suelto de material (m³)
Cemento	1	413	0.141
Arena	3	1650	0.609
Agua de diseño		247	0.247

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24 - Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:3 R a/c 0.75

Material	Proporción	Peso de material para un metro cúbico (kg)	Volumen suelto de material (m³)
Cemento	1	389	0.133
Arena	3	1555	0.573
Agua de diseño		292	0.292

Fuente. Elaboración propia

Tabla 25 - Diseño de mezcla de mortero empleando proporción 1:3 R a/c 0.9

Material	Proporción	Peso de material para un metro cúbico (kg)	Volumen suelto de material (m³)
Cemento	1	366	0.126
Arena	3	1468	0.542
Agua de diseño		331	0.331

Fuente: Elaboración Propia

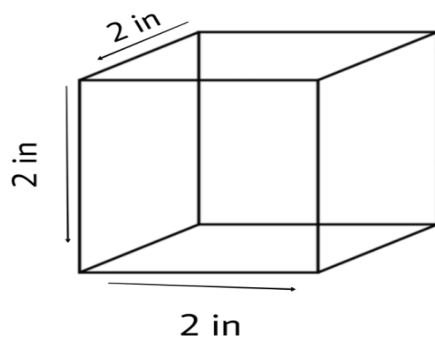
Una vez establecida las dosificaciones de morteros gracias a los cálculos anteriores, se procede a ensayar los cubos comenzando por el armado de la formaleta en madera de pino de los moldes con unas dimensiones de 2" (Ancho) x 2" (Largo) x 2" (Profundidad) formando las cavidades para la fundida de los cubos en concreto con los respectivos aditivos.

3.2. Dimensiones probetas para fundida de prototipos

Con este ensayo se pretendía encontrar la relación agua/ cemento óptimo para los ladrillos reciclados en donde encarecidamente se debe cumplir con lo siguiente:

Los cubos de ensayo son de 50 mm (2.0 pulg) se compactan por apisonamiento en dos capas. en 25 golpes de la mesa de ensayo de flujo (mesa de fluidez). Los cubos se curan un día en los moldes y luego se desmoldan y se sumergen en agua hasta ser ensayados. Se determina la resistencia a la compresión aplicando carga en las caras del espécimen que estuvieron en contacto con la superficie del molde. (ASTM)

Ilustración 16 – Dimensiones de los especímenes de prueba



Fuente: Elaboración Propia

Este método de ensayo proporciona un medio para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico y otros morteros. Los resultados se pueden emplear para determinar la conformidad con las especificaciones y otros métodos de ensayos. Teniendo en cuenta esto de forma general seguimos paso a paso la ejecución que dicta la guía.

Cabe mencionar que este proceso se hizo a 48 probetas, en las cuales había 4 relaciones A/C ensayar:

- 0.5% (12 probetas)
- 0.6% (12 probetas)
- 0.75% (12 probetas)
- 0.9% (12 probetas)

Una vez elaborados, se ensayaron en la prensa para conocer sus características (resistencia a la compresión) Posteriormente se recopilaron y analizaron los resultados para buscar las conclusiones finales.

Los cubos se ensayan a 3 edades diferentes (7, 14 y 28 días). Después de 24 horas de haber sido fundidos deben permanecer 28 días sumergidos en agua. Se procedió con el traslado de las muestras para ser sometidas a las pruebas de resistencia a la compresión, donde se determinó su resistencia a la compresión a las edades de 7, 14 y 28 días.

Ilustración 17 - Proceso de curado en los cubos de ensayo



Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de las diferentes dosificaciones se pueden apreciar en la siguiente tabla, donde se especifica la edad de rotura y resistencia de cada cubo de mortero.

Tabla 25 - Resistencias obtenidas por cada edad con respecto a su R a/c.

Proporción:		1:3			% de plástico			0%		
R a/c	Resistencias obtenidas por edad (Psi)									
	7 días			14 días			28 días			
0.5	1010	1016	1021	1232	1225	1239	1370	1384	1377	
0.6	864	871	876	1082	1085	1092	1229	1233	1235	
0.75	647	651	658	796	790	804	947	943	937	
0.9	430	435	440	584	576	580	721	729	726	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 - Promedio de Resistencias promedio obtenidas por edad con respecto a su R a/c

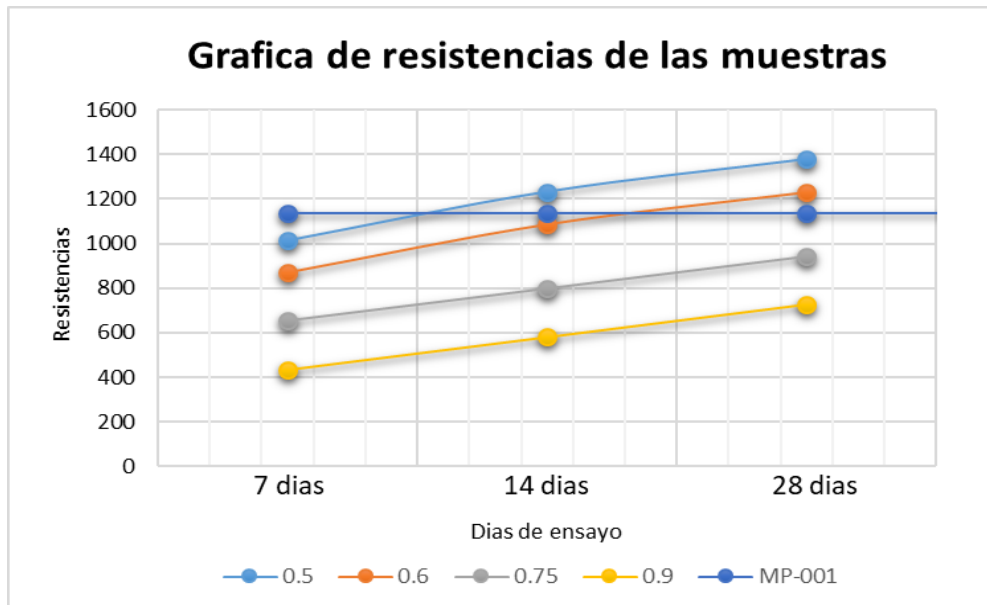
Proporción:		1:3	% de plástico	0%
R a/c	Resistencias Promedios obtenidas por edad (Psi)			
	7 días	14 días	28 días	
0.5	1015	1232	1377	
0.6	870	1087	1232	
0.75	652	797	942	
0.9	435	580	725	

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en los resultados obtenidos que al incrementar la relación agua cemento, se disminuye la resistencia a la compresión de las mezclas de mortero. Consideramos que esto se debió por su mayor porcentaje de caso ocurrido con las relaciones agua cemento de 0.9 y 0.75 pues a mayor carga de agua en las mezclas existe mayor dificultad de alcanzar un mejor acomodamiento de las partículas y ofrecer una alta resistencia.

Por otro lado, las mezclas con 0.6 y 0.5 de relación agua cemento presentan mayor resistencia y se deduce que la mezcla con relación A/C de 0.6, cuenta con el estándar requerido de 80 kg/cm^2 en cuanto a resistencia específica a los 7 días, 14 y 28 días de fallado, establece la norma MP-001. Adicional se encuentra una diferencia significativa en cuanto a las resistencias en relación con las demás muestras puestas a prueba, de lo anterior se podría decir que representa un significativo aporte a esta investigación y por lo tanto es la relación A/C elegida para continuar con la siguiente etapa de este estudio.

Grafica 7 - Resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia

Una vez con los resultados de las dosificaciones de morteros, se determina que nuestra relación a/c óptima para ser trabajada de forma manual es la relación a/c de 0.6. Por su fácil manipulación y buen desempeño de curado entregando un resultado valido en la prueba de compresión.

Ilustración 18 – Proceso de prueba de resistencias a los cubos de ensayo





Fuente: Elaboración Propia

Capítulo IV: Fabricación y Ensayos del Mampuesto

4.1. Aplicaciones

Los ladrillos son utilizados ampliamente en la construcción, desde viviendas de interés social a edificaciones comerciales e industriales. Sus principales aplicaciones son:

- Muros simples o divisorios
- Muros estructurales
- Bandas perimetrales
- Muros de retención o de contención.
- Construcción de lozas.

4.2. Fabricación del ladrillo reciclado y Ensayo resistencia a la compresión

Al haber encontrado la dosificación podemos proceder a la fabricación de los ladrillos en donde serán evaluados bajo los ensayos de resistencia a compresión sujeta a la norma MP-001 además de los ensayos peso y absorción.

A partir de este capítulo ya se incorpora el componente reciclado en la mezcla, el plástico; al hacer esto surgen las siguientes preguntas ¿De qué manera debemos usar este aditivo? ¿Debemos solo agregarlo a la dosificación o sustituirlo en ella?

La manera correcta de hacerlo es sustituyendo la cantidad de porcentaje de plástico en la arena en lugar de solo añadir el porcentaje de plástico en la dosificación.

Para comprobarlo se decidió empezar con 2 mezclas, las cuales fueron definitivas para posteriormente ensayarlas. Las mezclas fueron:

- ✓ Mezcla patrón (Sin Plástico)
- ✓ Mezcla con agregado plástico sustituido en la arena del 30%

En este procedimiento no se realiza la mezcla de mortero agregando el plástico sin sustitución con la arena ya que modificaría el cálculo del diseño de esta misma, aumentando su volumen en exceso, provocando una difícil manipulación y una mala compactación del ladrillo.

4.2.1. Los resultados obtenidos a los 7 ,14 y 28 días fueron los siguientes:

Tabla 27 - Resistencia promedio de ladrillos de mortero y PET 1:3: 0% (Mezcla Patrón)

Mortero	Edad (días)	Resistencia promedio (PSI)
Proporción 1:3	7	861.52
	14	1079.081
	28	1240.07

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 - Resistencia promedio de ladrillos de mortero y PET 1:3: 30% Sustituido en arena

Mortero	Edad (días)	Resistencia promedio (PSI)
Proporción 1:3	7	1505.49
	14	1615.72
	28	1795.56

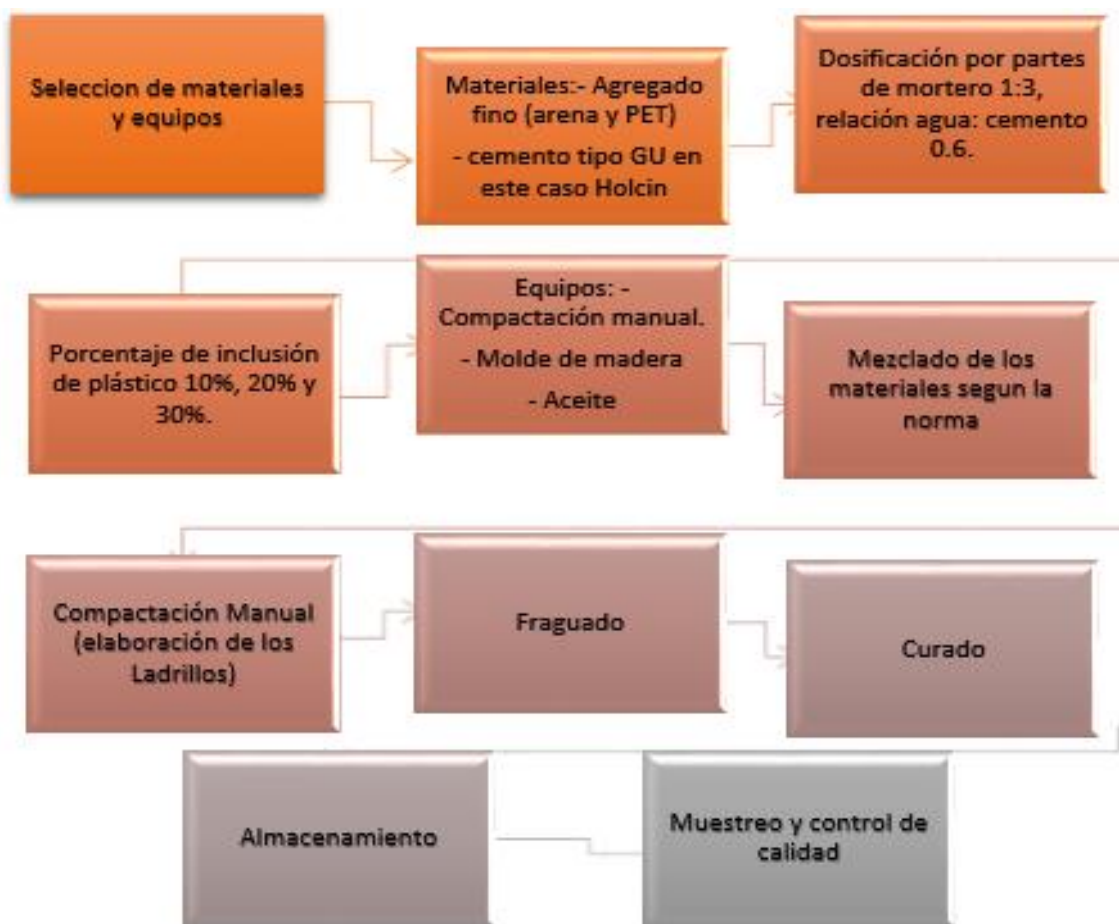
Fuente: Elaboración propia

Con este pequeño ensayo fue suficiente para confirmar que la mejor opción es sustituir el porcentaje plástico en la arena, debido a que existe control al momento de hacer las dosificaciones y hay buena distribución de los materiales al momento de mezclar.

4.3. Esquema de fabricación del mampuesto

Para la fabricación de los especímenes se utilizó una serie de pasos a seguir en donde podremos apreciarlos en el siguiente flujograma:

Ilustración 19 – Flujograma del proceso de elaboración del mampuesto



Fuente: Elaboración propia

4.4. Almacenamiento de materiales y equipo seleccionados

El aditivo (plástico) y agregado fino se almacenaron en el laboratorio, además se criba el aditivo (plástico), en el tamiz 3/8 y agregado fino (arena), en el tamiz No 4 para eliminar el sobre tamaño e impurezas que pudieran contener. El cemento fue almacenado en el laboratorio sobre tarimas para evitar la humedad del suelo y se utilizaron equipos facilitados por el laboratorio de suelos de la sede.

4.5. Elaboración de las dosificaciones por bolsa de Cemento

Este proceso consiste en definir las cantidades (proporciones) que se van a utilizar de cada uno de los materiales (cemento, agregados y agua) con el fin de obtener la resistencia adecuada para las unidades de mortero. Las proporciones de la materia

prima se hicieron en peso para mayor exactitud en las cantidades de material. En base a los resultados obtenidos en laboratorio a través de ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días de edad de especímenes de mortero seleccionamos como mezcla óptima para fabricación de ladrillos de mortero, las proporciones 1:3 con relaciones a/c de 0.6. Las proporciones de las mezclas se realizaron en base a una bolsa de cemento y el plástico se agregó conforme a un porcentaje establecido entre 10%, 20% y 30% sustituyendo la arena por este mismo, se definen de la siguiente manera:

Tabla 29 - Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:3 Sin Plástico

R a/c: 0.6		
Pesos de los materiales		
Material	Cantidad	Unidad de medida
Cemento	42.5	Kg
Arena	168.3	Kg
Agua	32.5	lts

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30 - Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:3 10% plástico

R a/c: 0.60		
Pesos de los materiales		
Material	Cantidad	Unidad de medida
Cemento	42.5	Kg
Arena	134	Kg
Plástico	17	Kg
Agua	32.5	lts

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31 - Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:3 20% plástico

R a/c: 0.60		
Pesos de los materiales		
Material	Cantidad	Unidad de medida
Cemento	42.5	Kg
Arena	100	Kg
Plástico	34	Kg
Agua	32.5	lts

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32 - Peso de material para 1 bolsa de cemento Proporción 1:3 30% plástico

R a/c: 0.60		
Pesos de los materiales		
Material	Cantidad	Unidad de medida
Cemento	42.5	Kg
Arena	66	Kg
Plástico	51	Kg
Agua	32.5	lts

Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 20 – Materiales pesados para la elaboración de la mezcla



Fuente: Elaboración propia

4.6. Mezclado de los materiales.

La preparación de la mezcla se hizo mediante un proceso artesanal. Los materiales fueron mezclados en cantidades calculadas por bolsa de cemento y de forma tal que la humedad fuera distribuida uniformemente.

Las mezclas seleccionadas para fabricación de ladrillos fueron ajustadas en cuanto a su porcentaje de plástico, así pues, se fijó la relación a/c de 0.6 para mortero 1:3. Y con estos ajustes se obtuvo una mezcla seca que permitió mantener la forma del ladrillo.

Ilustración 21 – Mezcla de los agregados de modo manual



Fuente: Elaboración propia

4.7. Elaboración de los ladrillos

Para la fabricación de los ladrillos de mortero y plástico se utilizó un molde de madera de tipo estática, es decir que éste permanece en un solo sitio y se desmolda el ladrillo al día siguiente de producido. Para tal efecto se utilizaron los moldes de madera cubiertas con aceite que se colocaron al iniciar la operación y constituyeron la tapa inferior del molde, los ladrillos quedaron sobre las tablas y se manipularon con facilidad.

Se utilizó un molde rígido y fuerte para obtener como resultado unidades con dimensiones exactas y constantes. Una vez preparada la mezcla se vació en el molde y posteriormente se compactó a como indica la norma ASTM C109 con el fin de eliminar bolsas de aire que se producen en dicho proceso. (ASTM)

Ilustración 22 – Introducción de la mezcla en el molde



Fuente: Elaboración Propia

4.8. Curado

El curado consiste en mantenerlos húmedos para permitir que continúe la reacción química del cemento, con el fin de obtener una buena calidad, es decir, gran resistencia a la compresión.

Los ladrillos se colocaron en filas y dejando una separación entre ellos para que se puedan humedecer perfectamente por todos los lados y se permita la circulación de aire. El proceso de curado de los ladrillos se llevó a cabo sumergiéndolos en una pila durante un período de 28 días sacándolos 24 horas antes de ser usados para el ensayo. (ASTM)

Ilustración 23 – Proceso de curado de los ladrillos



Fuente: Elaboración Propia

4.9. Almacenamiento de los ladrillos

La zona destinada para el almacenamiento de los ladrillos debe ser suficiente para mantener la producción y permitir que después del curado se sequen lentamente. Los elementos fabricados permanecieron en la zona de almacenamiento hasta la fecha de realización del último ensayo de resistencia a la compresión.

Se identificó cada lote con el fin de tener un control del día de fabricación y del tipo de mezcla, ya sean tales como especímenes de curado a 7 días, 14 días y 28 días con una dosificación de mortero de 1:3 y una inclusión de plástico del 10 %, 20% y 30%.

Ilustración 24 – Ladrillos utilizados para el ensayo de 20% de plástico



Fuente: Elaboración Propia

4.10. Dimensión de los ladrillos

Los ladrillos se fabrican manteniendo constante las dimensiones reales, la altura y el largo en 12cm X 25cm respectivamente, variando únicamente el ancho el cual debe ser como mínimo X 5cm. Estas dimensiones no deben diferir ± 3 mm de las dimensiones de fabricación. La dimensión real es la medida de cada pieza obtenida por medición mediante el método de ensayo ASTM C 140.

Los ladrillos fabricados de mortero y plástico tienen dimensiones de 25cm X 12cm X 5cm. En la siguiente tabla se puede verificar que las dimensiones de los ladrillos fabricados respetan las establecidas por la MP- 001. (MP-001)

Tabla 33 - Dimensión de cada ladrillo patrón (30 especímenes)

Dimensiones de ladrillo patrón					
Dimensión	Elemento			Promedio	
	L1	L2	L3		
Ancho 1	12.02	12	12	12	12
Ancho 2	11.9	12.03	12	11.97	
Ancho 3	12.06	12.04	12	12.03	
Altura 1	5	5.1	5.2	5.1	5.11
Altura 2	5.1	5	5.3	5.13	
Altura 3	5.3	5	5	5.1	
Largo 1	25.09	25.1	25	25.06	25.03
Largo 2	25	25	25	25	
Largo 3	25	25.02	25.1	25.04	
Ancho 1	12.1	12	12.1	12.06	12.03
Ancho 2	11.9	12	12.1	12	
Ancho 3	12	12	12.1	12.03	
Altura 1	5	5.1	5.3	5.13	5.17
Altura 2	5.7	5	5.1	5.2	
Altura 3	5.6	5	5.	5.2	
Largo 1	25	25	25.1	25.03	25.02
Largo 2	25	25.1	25	25.03	
Largo 3	25	25	25	25	
Ancho 1	12.	12	12.1	12.03	12.03
Ancho 2	11.9	12	12.1	12	
Ancho 3	12.1	12	12.1	12.06	
Altura 1	5.6	5.1	5	5.2	5.16
Altura 2	5	5	5.3	5.2	
Altura 3	5.7	5	5.1	5.13	
Largo 1	25	25.1	25	25	25.02
Largo 2	25	25	25	25.03	
Largo 3	25	25	25.1	25.03	

Tabla 34 - Dimensión de cada ladrillo 10% plástico (30 especímenes)

Dimensiones de ladrillo con 10% de plástico					
Dimensión	Elemento			Promedio	
	L1	L2	L3		
Ancho 1	11.8	12	12.1	11.9	12.06
Ancho 2	12.1	12	12.1	12.2	
Ancho 3	12.1	12.3	12.1	12.09	
Altura 1	5.4	5.1	5	5	5.06
Altura 2	5	5	5	5	
Altura 3	5.7	5	5.1	5.2	
Largo 1	25	25	25	25	25
Largo 2	25	25	25	25	
Largo 3	25	25	25	25	
Ancho 1	12.02	12	12	12	12
Ancho 2	11.9	12.03	12	11.97	
Ancho 3	12.06	12.04	12	12.03	
Altura 1	5	5.1	5.2	5.1	5.11
Altura 2	5.1	5	5.3	5.13	
Altura 3	5.3	5	5	5.1	
Largo 1	25.09	25.1	25	25.06	25.03
Largo 2	25	25	25	25	
Largo 3	25	25.02	25.1	25.04	
Ancho 1	11.8	12.02	12	11.94	12
Ancho 2	12.1	11.98	11.98	12.02	
Ancho 3	12.04	12	12.1	12.04	
Altura 1	5.06	5.1	5.2	5.12	5.1
Altura 2	5.3	5	5.1	5.13	
Altura 3	5.2	5.1	5	5.1	
Largo 1	25.04	25	25.1	25	25.03
Largo 2	25	25.1	25	25.03	
Largo 3	25.1	25.03	25.08	25.07	

Tabla 35 - Dimensión de cada ladrillo 20% plástico (30 especímenes)

Dimensiones de ladrillo con 20% de plástico					
Dimensión	Elemento			Promedio	
	L1	L2	L3		
Ancho 1	12.02	11.9	12.1	12.06	12.05
Ancho 2	12	12	12.1	12.03	
Ancho 3	11.9	12.3	12.05	12.08	
Altura 1	5.4	5.1	5.15	5.21	5.09
Altura 2	5	5.08	5	5.02	
Altura 3	5.1	5	5.1	5.06	
Largo 1	25.04	25	25	25.01	25.02
Largo 2	25.02	25	25.05	25.02	
Largo 3	25	25	25.1	25.03	
Ancho 1	12.1	12	12.1	12.06	12.03
Ancho 2	11.9	12	12.1	12	
Ancho 3	12	12	12.1	12.03	
Altura 1	5	5.1	5.3	5.13	5.17
Altura 2	5.7	5	5.1	5.2	
Altura 3	5.6	5	5.	5.2	
Largo 1	25	25	25.1	25.03	25.02
Largo 2	25	25.1	25	25.03	
Largo 3	25	25	25	25	
Ancho 1	12	11.9	12	11.96	11.99
Ancho 2	11.9	12.1	12.09	12.03	
Ancho 3	12	11.9	12.1	12	
Altura 1	5	5.08	5.2	5.09	5.07
Altura 2	5.03	5.1	5	5.04	
Altura 3	5	5.1	5.2	5.1	
Largo 1	25.1	25	25	25.03	25.04
Largo 2	25	25	25	25	
Largo 3	25.1	25.1	25.08	25.09	

Tabla 36 - Dimensión de cada ladrillo 30% plástico (30 especímenes)

Dimensiones de ladrillo con 30% de plástico					
Dimensión	Elemento			Promedio	
	L1	L2	L3		
Ancho 1	11.8	12	12.1	11.9	12.06
Ancho 2	12.1	12	12.1	12.2	
Ancho 3	12.1	12.3	12.1	12.09	
Altura 1	5.4	5.1	5	5	5.06
Altura 2	5	5	5	5	
Altura 3	5.7	5	5.1	5.2	
Largo 1	25	25	25	25	25
Largo 2	25	25	25	25	
Largo 3	25	25	25	25	
Ancho 1	12	12.3	12.1	12.13	12.1
Ancho 2	12.2	12.2	12.1	12.16	
Ancho 3	11.9	12.1	12.1	12.03	
Altura 1	5.3	5	5.1	5.13	5.2
Altura 2	5.1	5.1	5	5.06	
Altura 3	5.5	5.2	5.1	5.3	
Largo 1	25	25	25	25	25
Largo 2	25	25	25	25	
Largo 3	25	25	25	25	
Ancho 1	11.9	12.1	12.2	12.06	12.10
Ancho 2	12.1	12.3	12.3	12.23	
Ancho 3	12	12	12.1	12.03	
Altura 1	5.2	5.3	5	5.16	5.2
Altura 2	5.1	5.2	5	5.1	
Altura 3	5.6	5	5.4	5.33	
Largo 1	25	25	25	25	25.05
Largo 2	25	25.2	25	25.06	
Largo 3	25.3	25	25	25.1	

Fuente: Elaboración Propia

En base a los resultados promedios obtenidos de las dimensiones de los ladrillos fabricados de mezclas de mortero y plástico, podemos decir que los elementos cumplen con la normativa correspondiente ya que sus dimensiones no difieren en más de 3 mm. (MP-001)

4.11. Resistencia a la compresión de ladrillos reciclados.

Los ladrillos de mortero, pueden ser usados porque son capaces de resistir grandes cargas de compresión. Esta propiedad es de gran importancia, si se considera que está relacionada con la resistencia final de un muro o pared. El ensayo de resistencia a la compresión axial se realiza mediante la aplicación de una fuerza perpendicular a la cara del ladrillo y paralela a la altura de la pieza de mampostería. La MP-001 define los parámetros para evaluar la resistencia de un elemento. (ASTM) Se presenta la resistencia promedio de 30 muestras de ladrillos por dosificación, divididos en 10 elementos por edad. En las tablas se muestra las resistencias a la compresión de todos los elementos ensayados por edad y proporción para mezclas de mortero y plástico. Para obtener los resultados promedios se descartó los resultados que presentan un comportamiento fuera de lo normal en comparación con los otros especímenes.

Tabla 37 - Resultado de pruebas de resistencia a ladrillos

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 0%	Mezcla Patrón
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L1	7	60	870.22
L2	7	60	870.22
L3	7	58	841.21
L4	7	60	870.22
L5	7	60	870.22
L6	7	58	841.21
L7	7	60	870.22

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 0%	Mezcla Patrón
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L8	7	60	870.22
L9	7	58	841.21
L10	7	60	870.22
Promedio		59.40	861.52

Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 0%	
L1	14	72	1044.27
L2	14	75	1087.78
L3	14	75	1087.78
L4	14	75	1087.78
L5	14	75	1087.78
L6	14	72	1044.27
L7	14	75	1087.78
L8	14	75	1087.78
L9	14	75	1087.78
L10	14	75	1087.78
Promedio		74.40	1079.081

Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 0%	
L1	28	85	1232.82
L2	28	87	1261.83
L3	28	85	1232.82
L4	28	85	1218.32
L5	28	87	1261.83

Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 0%	
L6	28	85	1232.32
L7	28	85	1232.32
L8	28	87	1261.83
L9	28	85	1232.82
L10	28	85	1232.82
Promedio		85.60	1240.07

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se calcula resistencia a la compresión utilizando las ecuaciones 1 y 2 según la MP-001

$$\delta m = \frac{\sqrt{2223.93}}{1240.07} = 0.012$$

$$f''u = 1240.07 (1 - 1.38 * 0.012) = 1218.37 \text{ Psi}$$

Tabla 38 – Resultado de pruebas de resistencia a ladrillos de 10 %

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 10%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L1	7	67	971.753
L2	7	70	1015.26
L3	7	70	1015.26
L4	7	65	942.745
L5	7	70	1015.26
L6	7	70	1015.26
L7	7	67	971.753
L8	7	70	1015.26

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 10%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L9	7	70	1015.26
L10	7	68	986.257
Promedio		68.70	996.40

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 10%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L1	14	82	1189.31
L2	14	80	1167.554
L3	14	80	1167.554
L4	14	82	1189.31
L5	14	80	1167.554
L6	14	80	1167.554
L7	14	82	1189.31
L8	14	80	1167.554
L9	14	80	1167.554
L10	14	82	1189.31
Promedio		80.80	1171.905

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 10%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L1	28	90	1305.34
L2	28	91	1319.84
L3	28	90	1305.34
L4	28	90	1305.34
L5	28	91	1319.84

Proporción: 1:3		Relación a/c: 0.6		Plástico: 10%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI		
L6	28	90	1305.34		
L7	28	90	1305.34		
L8	28	91	1319.84		
L9	28	90	1305.34		
L10	28	90	1305.34		
Promedio		90.30	1309.691		

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se calcula resistencia a la compresión utilizando las ecuaciones 1 y 2 según la MP-001

$$\delta m = \frac{\sqrt{441.53}}{1309.69} = 0.005$$

$$f''u = 1309.69 (1 - 1.38 * 0.005) = 1300.03 \text{ Psi}$$

Tabla 39 - Resultado de pruebas de resistencia a ladrillos de 20 %

Proporción: 1:3		Relación a/c: 0.6		Plástico: 20%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI		
L1	7	90	1305.34		
L2	7	91	1319.84		
L3	7	89	1290.84		
L4	7	90	1305.34		
L5	7	91	1319.84		
L6	7	89	1290.84		
L7	7	90	1305.34		
L8	7	91	1319.84		

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 20%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L9	7	89	1290.84
L10	7	90	1305.34
Promedio		90	1305.34

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 20%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L1	14	100	1450.38
L2	14	103	1493.89
L3	14	100	1450.38
L4	14	100	1450.38
L5	14	103	1493.89
L6	14	100	1450.38
L7	14	100	1450.38
L8	14	103	1493.89
L9	14	100	1450.38
L10	14	100	1450.38
Promedio		100.90	1463.4308
Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 20%	

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 20%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L1	28	112	1624.42
L2	28	110	1595.42
L3	28	110	1595.42.
L4	28	112	1624.42
L5	28	110	1595.42

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 20%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L6	28	110	1595.42.
L7	28	112	1624.42
L8	28	110	1595.42
L9	28	110	1595.42.
L10	28	112	1624.42
Promedio		110.80	1607.0181

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se calcula resistencia a la compresión utilizando las ecuaciones 1 y 2 según la MP-001

$$\delta m = \frac{\sqrt{2018.40}}{\frac{10-1}{1607.02}} = 0.009$$

$$f''u = 1607.02 (1 - 1.38 * 0.009) = 1586.35 \text{ Psi}$$

Tabla 40 - Resultado de pruebas de resistencia a ladrillos de 30 %

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 30%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L1	7	105	1522.9
L2	7	103	1493.89
L3	7	103	1493.89
L4	7	105	1522.9
L5	7	103	1493.89
L6	7	103	1493.89
L7	7	105	1522.9
L8	7	103	1493.89

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 30%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L9	7	103	1493.89
L10	7	105	1522.9
Promedio		103.80	1505.4917

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 30%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L1	14	112	1624.42
L2	14	110	1595.42
L3	14	112	1624.42
L4	14	112	1624.42
L5	14	110	1595.42
L6	14	112	1624.42
L7	14	112	1624.42
L8	14	110	1595.42
L9	14	112	1624.42
L10	14	112	1624.42
Promedio		111.40	1615.7204

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 30%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L1	28	125	1812.91
L2	28	123	1783.96
L3	28	123	1783.96
L4	28	125	1812.91
L5	28	123	1783.96
L6	28	123	1783.96

Proporción: 1:3	Relación a/c: 0.6	Plástico: 30%	
Elemento	Días	Carga de ruptura (Bar)	Resistencia PSI
L7	28	125	1812.91
L8	28	123	1783.96
L9	28	123	1783.96
L10	28	125	1812.91
Promedio		123.80	1795.56

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se calcula resistencia a la compresión utilizando las ecuaciones 1 y 2 según la MP-001

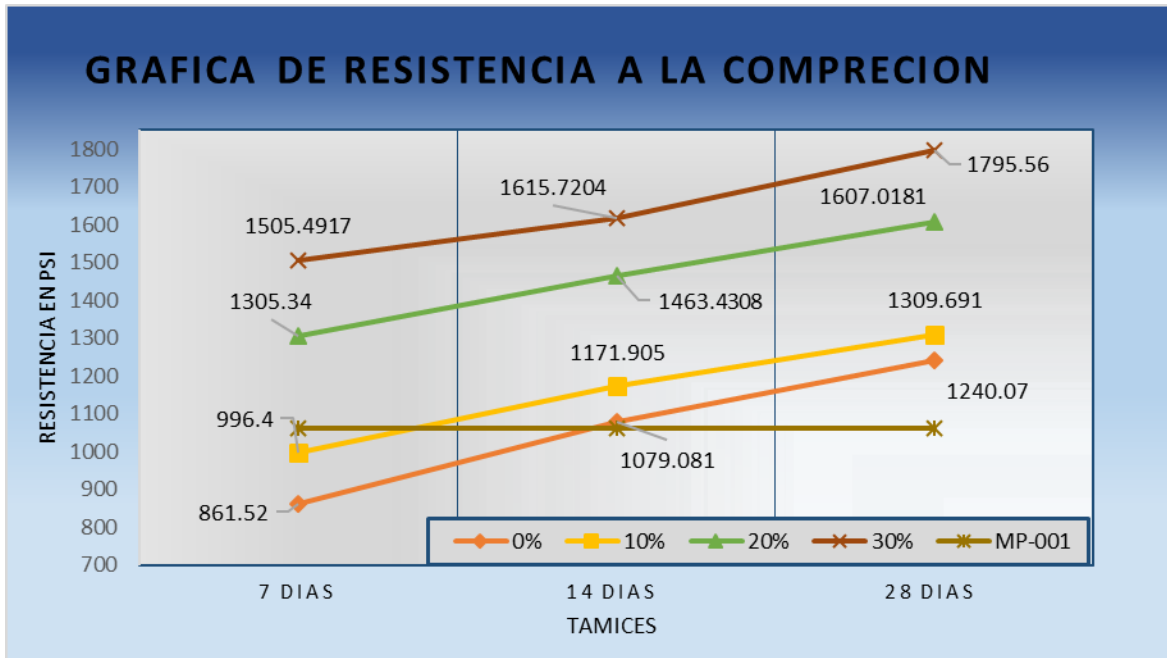
$$\delta m = \frac{\sqrt{2011.45}}{1795.56} = 0.008$$

$$f''u = 1795.56 (1 - 1.38 * 0.008) = 1774.93 \text{ Psi}$$

Respecto a los resultados obtenidos a los ensayos de resistencia a la compresión designado por la norma MP-001, las mezclas ensayadas resultan ser aceptables por cumplir con la resistencia establecida de 80 Kg/cm² o 1137 Psi que exige la norma para ladrillos de arcilla fabricados de forma artesanal. (MP-001)

En el coeficiente de variación difiere a lo que dicta la norma, la MP-001 permite el 0.12 para el coeficiente de variación en ladrillos de forma artesanal. En nuestros ensayos obtuvimos valores que oscila entre 0.012 y 0.008 atribuimos estos resultados a la compactación aplicada en la fabricación de los ladrillos designada por la ASTM-C109, valores bajos de variación a pesar de haber sido fabricados de forma artesanal. (MP-001)

Grafica 8 – Resistencia a la compresión de los ladrillos con porcentaje de plástico



Fuente: Elaboración Propia

El grafico muestra la resistencia a los 28 días de fabricados los ladrillos de mortero y PET proporción 1:3 así como también la resistencia requerida por la MP-001 a la misma edad. Los elementos producidos con la dosificación antes mencionada, cumple con la normativa MP-001 para fabricación de ladrillos de mortero.

Ilustración 25 - Resistencia a la compresión de ladrillos de mortero y plástico 1:3



Fuente: Elaboración propia

4.12. Determinación de propiedades de los ladrillos

Para la determinación de las propiedades (dimensión, absorción y resistencia a la compresión) de los ladrillos según la MP-001.

Se determinó el área neta de las unidades del ladrillo por el método de la balanza hidrostática el cual consistió en saturar los elementos por un período de 24 horas, luego se registró el peso en el aire y a continuación, se sumergieron en la balanza hidrostática para determinar el peso sumergido y proseguir al cálculo con ayuda de las siguientes ecuaciones:

Ecuación 29

$$V = \frac{W_{sss} - W_{sum}}{\gamma_w}$$

Donde:

V = volumen

W_{sss} = peso en condición saturado superficialmente seco

W_{sum} = peso sumergido

γ_w = densidad del agua

Ecuación 30

$$A = \frac{V}{h}$$

Donde:

A = área del elemento

V = volumen

h = altura

Tabla 41 - Área promedio de los ladrillos de mortero con 0% de plástico.

Elemento	Volumen (cm ³)	Área (cm ²)	Área (plg ²)
L1	170	34	5.27
L2	170	34	5.27
L3	180	36	5.58
Área Promedio			5.37

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42 - Área promedio de los ladrillos de mortero con 10% de plástico.

Elemento	Volumen (cm ³)	Área (cm ²)	Área (plg ²)
L1	1600	320	49.60
L2	1620	324	50.22
Área Promedio			49.91

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 43 - Área promedio de los ladrillos de mortero con 20% de plástico.

Elemento	Volumen (cm ³)	Área (cm ²)	Área (plg ²)
L1	1610	322	49.91
L2	1600	320	49.60
Área Promedio			49.75

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44 - Área promedio de los ladrillos de mortero con 30% de plástico.

Elemento	Volumen (cm ³)	Área (cm ²)	Área (plg ²)
L1	1610	322	49.91
L2	1580	316	48.98
Área Promedio			49.44

Fuente: Elaboración Propia

4.13. Ensayo de Absorción

Para determinar la absorción de los elementos de mortero y plástico se analizaron 3 muestras, se saturaron las piezas por inmersión durante un periodo de 24 horas y se registró el peso de las piezas, a continuación, se llevaron al horno para secarlas

durante el periodo antes descrito, anotamos el peso seco y proseguimos con el cálculo.

Ecuación 31

$$Absorción (\%) = \frac{W_{SSS} - W_s}{W_s} * 100$$

Donde:

W_{SSS} = peso saturado superficialmente seco

W_s = peso secado al horno

En las siguientes tablas se muestra la absorción del ladrillo reciclado fabricado.

Tabla 45 - Absorción del ladrillo Proporción 1:3, 0% PET

Elemento	Peso Seco (kg)	Peso SSS (kg)	Absorción %
L1	0.27	0.28	5.47
L2	0.27	0.28	6.30
L3	0.27	0.29	7.41
Promedio	0.27	0.289	6.39

Fuente: Elaboración propia

Tabla 46 - Absorción del ladrillo Proporción 1:3, 10% PET

Elemento	Peso Seco (kg)	Peso SSS (kg)	Absorción %
L1	3.11	3.40	9.32
L2	3.05	3.38	10.82
Promedio	3.08	3.39	10.07

Fuente: Elaboración propia

Tabla 47 - Absorción del ladrillo Proporción 1:3, 20% PET

Elemento	Peso Seco (kg)	Peso SSS (kg)	Absorción %
L1	2.83	3.17	12.01
L2	2.85	3.18	11.58
Promedio	2.84	3.175	11.80

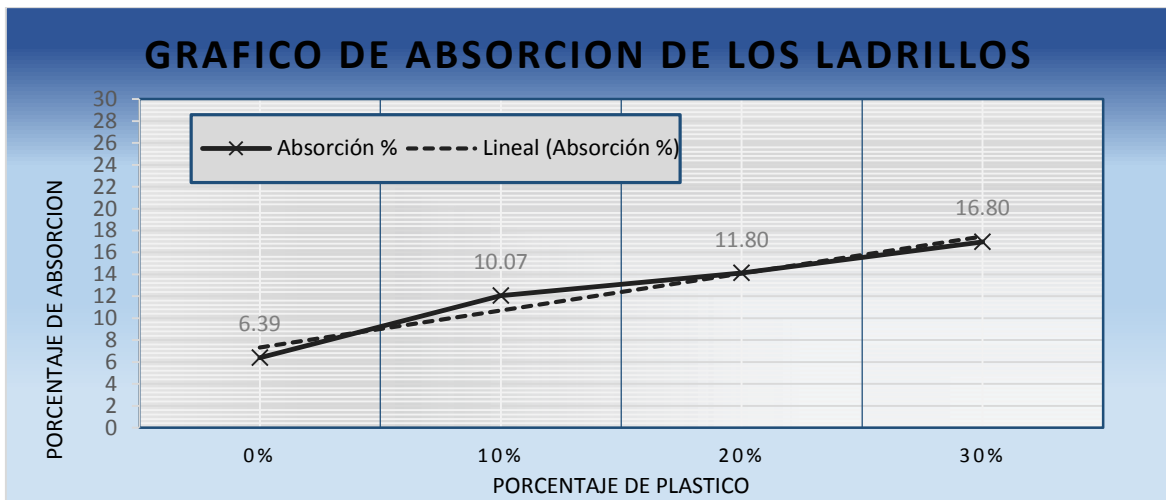
Fuente: Elaboración propio

Tabla 48 - Absorción del ladrillo Proporción 1:3, 30% PET

Elemento	Peso Seco (kg)	Peso SSS (kg)	Absorción %
L1	2.60	3.03	16.54
L2	2.58	3.03	17.05
Promedio	2.59	3.03	16.80

Fuente: Elaboración propia

Grafica 9 – Resultado del promedio de absorción de los ladrillos



Fuente: Elaboración Propia

Esta grafica muestra que a medida que se aumenta la cantidad de agregado reciclado el ladrillo se hace más liviano es decir entre más plástico su porcentaje de absorción aumenta y al momento de absorber agua se vuelve más pesado.

En la tabla anterior se muestran los porcentajes de absorción correspondientes a los ladrillos fabricados de mortero y PET, se puede verificar que la proporción 1:3 cumple con el requerimiento de la MP-001 para esta propiedad en donde se muestra el ejemplo del ladrillo de 20% de plástico.

Los datos promedios arrojados por los ensayos de laboratorio para ladrillos de mortero y PET fueron de 1545.14 PSI para la proporción 1:3. La absorción de los elementos de mortero y PET resultaron muy por encima de lo establecido por la MP-001 la cual establece que la resistencia máxima es de 1060 Psi por Unidad.

Ilustración 26 – Resultados de absorción de los ladrillos



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 27 – Proceso de elaboración de prueba de absorción.



Fuente: Elaboración Propia

Capítulo V. Guía de fabricación de Ladrillos a base plástico reciclado

En el último capítulo se presenta el procedimiento de elaboración de un ladrillo reciclado de plástico PET planteado en una guía práctica paso a paso.

Los materiales a utilizar son:

- ✓ Materia Prima (Plástico PET)
- ✓ Mortero (Arena y Cemento)
- ✓ Agua
- ✓ Madera de Pino (Moldes)
- ✓ Clavos
- ✓ Martillo
- ✓ Aceite
- ✓ Plataforma de madera
- ✓ Pilas para curado (opcional)

Equipo

- ✓ Cuchara de albañil
- ✓ Codal
- ✓ Pisón
- ✓ Valde
- ✓ Palas
- ✓ Carretillas

Preliminares

- ✓ Verificar que el material arena y cemento estén condiciones óptimas para el trabajo es decir en estado seco y pasado por el tamiz No 4 en caso de la arena. El cemento que este certificado por la empresa donde fue fabricado y en buen estado.
- ✓ Tener el diseño de molde con las medidas correctas para el ladrillo (25cm x 12cm y 5 cm)
- ✓ Lubricar los moldes previamente al fundido del ladrillo

- ✓ Pesar la cantidad establecida de cada material para la dosificación
- ✓ Respetar el método de elaboración de la mezcla según la norma ASTM-C780 tomando en cuenta su tiempo y moldeo de los especímenes.
- ✓ Asegurarse de contar con un área limpia en donde no se contamine el ladrillo o la mezcla
- ✓ Tomar en cuenta el clima, debido a su secado, por ser al sol interviene en el desmolde
- ✓ Tener preparada previamente el área de curado

Procedimiento

La fabricación del ladrillo reciclado de plástico se hace de forma artesanal, los pasos a seguir son sencillos y solo se debe de tomar en cuenta el proceso correcto de mezcla el cual se hace bajo los parámetros de la ASTM C-305. El orden del procedimiento comienza con:

1. Extracción de la materia prima:

Se extrae y transporta el plástico desde la zona de extracción hasta los lugares de producción, dichas zonas pueden ser lugares donde se acumulan grandes cantidades de botellas plásticas como por ejemplo escuelas, universidades, empresas, parques, etc.

2. Sanitación:

Consiste en una serie de operaciones cuya finalidad es la de purificar y refinar la materia prima (Plástico Pet). El instrumento utilizado en dicha fase es una manguera a presión la cual sirve para reducir las impurezas en las botellas plásticas como por ejemplo terrones o líquidos en su interior.

3. Tratamiento mecánico previo:

Antes de incorporar el plástico al ciclo productivo, este se somete a una serie de tratamiento de trituración, homogeneización y reposo expuesta a los elementos, con la finalidad de obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas. Este proceso es realizado por un molino o triturador plástico.

4. Depósito de materia prima procesada:

Se deposita el material en silos especiales y techados, donde el plástico se homogeniza definitivamente tanto física como químicamente.

5. Moldeado:

Consiste en construir moldes de madera usando 4 reglones para hacer el marco y reglones más pequeños en su interior para las divisiones entre cada ladrillo con las medidas establecidas de los ladrillos que serán fundidos, dichos moldes deben ser desarmables para no complicar el desencofrado de los ladrillos y de la misma forma lo suficiente fuerte para resistir y mantener las dimensiones al momento de rearmarlo para su próximo uso. Previo al fundido de los moldes estos deben estar bien lubricados con aceite para posteriormente remover con facilidad al ladrillo en el momento de desmoldar y evitar que la madera absorba la lechada de la mezcla que está siendo vertida.

Para compactar la mezcla cuando se funde en los moldes es necesario el uso de un pinzón tal como lo designa la Norma ASTM - C305, fundiendo primero una capa que se llena hasta la mitad del molde y se compacta 16 veces (8 a cada lado) y repitiendo el proceso, pero esta vez con el molde lleno a su totalidad para finalmente en un solo movimiento afinar la superficie del ladrillo.

Ilustración 28 – Materiales utilizados para el moldeo.



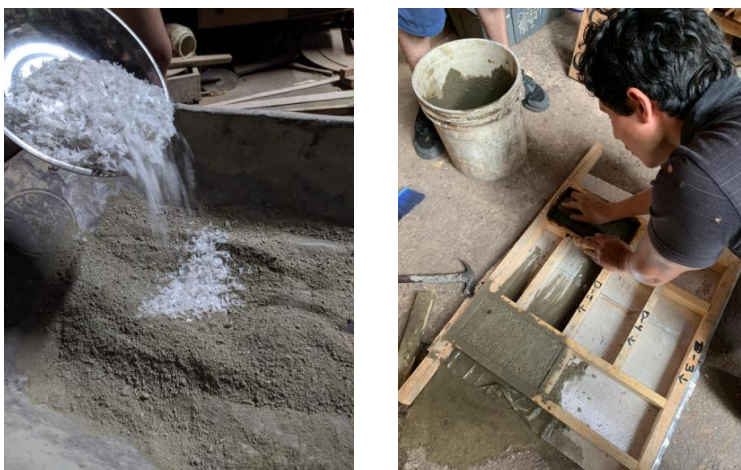
Fuente: Elaboración Propia

6. Secado:

El método de secado para nuestros ladrillos es 100% ecológico, ya que aprovechamos el medio ambiente como lo es el aire y los rayos solares como medio de secado.

Es una de las fases más delicadas del proceso de producción, ya que de esta depende, en gran parte, el buen resultado y calidad del material. El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeado para así poder pasar a la fase de desmolde.

Ilustración 29 – Proceso de elaboración de mezcla y llenado



Fuente: Elaboración Propia

7. Desmolde:

Se realiza desarmando el molde para poder extraer el ladrillo cuando ya está completamente seco (24h después). Aquí juega un papel importante el clima debido a que el ladrillo se seca expuesto a luz solar y si hay días lluviosos o nublados puede presentar un atraso en este proceso, además que un buen secado determina la forma estética del ladrillo al momento de desmoldar.

Ilustración 30 – Proceso de desmoldado de los ladrillos



Fuente: Elaboración Propia

- 8. Curado:** Antes de almacenar los mampuestos, deben de ser curados previamente sumergiéndolos en pilas (si se cuentan con ellas) o bien desmoldando y regándolos al menos 2 veces por día durante los próximos 28 días.

Ilustración 31 – Proceso de curado de los ladrillos



Fuente: Elaboración Propia

- 9. Almacenaje:** El último paso en el proceso es el almacenar los ladrillos en lugares donde pueda facilitar su transporte y asegurar su bienestar.

5.1. Conclusiones

De acuerdo a los objetivos planteados llegamos a las siguientes conclusiones:

Se determinó que los materiales (arena, cemento y plástico) están en condiciones válidas para ser utilizados en la elaboración de la mezcla de ladrillos reciclados. Se encontró que la arena no guardaba altos contenidos de humedad ni de vacíos, el cemento responde con un buen tiempo de fraguado y la cantidad de agua requerida está dentro de los rangos establecidos, además de eso el plástico el material reciclado que se incorpora presenta propiedades que vuelven al ladrillo más liviano y su tamaño no presento problemas para crear una buena distribución de partículas en la mezcla.

Las condiciones óptimas obtenidas con los cubos para el diseño de mezclas de mortero fueron basadas según el contenido de humedad y la resistencia a compresión que brindara. Para ser válida debía de satisfacer el valor indicado en el ensayo de resistencia compresión por la norma MP-001. Los resultados obtenidos para los cubos a la edad de 28 días se presentan en la siguiente tabla:

Luego de los cubos, al realizar los diseños de mezclas de plástico - mortero para los ladrillos podemos comparar que entre la mezcla patrón y las mezclas 10%, 20% y 30% plástico existe una diferencia en su peso y manipulación. Las mezclas que contienen plástico son más ligeras que la mezcla patrón, sin embargo, presentan mayor dificultad para manipularlas en el mezclado, vale aclarar no son difíciles de manipular solo son más difíciles en comparación con la mezcla patrón

Las pruebas realizadas a los ladrillos reciclados fueron de resistencia a compresión, peso y absorción siendo la de mayor interés para nuestra tesis la de resistencia a compresión. Los ladrillos que contienen 30% de plástico en su mezcla fueron suficientes para sobrepasar los parámetros establecidos por la norma MP-001, alcanzando hasta los 1795 PSI a la edad de 28 días. También presentan ser ladrillos livianos, debido a la sustitución de la arena por el plástico en su mezcla Sin embargo a medida que aumenta el plástico en la mezcla, este provoca mayor absorción de agua, hecho que atribuimos a vacíos generados por el mismo

Se considera como mezcla óptima para la fabricación de los ladrillos reciclados la mezcla con 20% de agregado plástico sustituido en arena, debido a que ofrece ladrillos de alta resistencia y peso liviano lo cual es cómodo para trabajar gracias a que contiene una buena distribución de partículas además de cumplir con la norma MP-001 en su resistencia.

Al realizar los diseños de mezclas de plástico - mortero hemos definido que la mezcla óptima para la fabricación de ladrillos reciclados, debe ser con el porcentaje de plástico sustituido en arena y ese porcentaje se encuentra debajo del 30%. Es importante aclarar que agregar un porcentaje superior al 30% no haría posible que haya una buena distribución de partículas, provocando una mala adherencia entre plástico y cemento y dando como resultado una mezcla seca, difícil de manipular y su problema más grande un uso excesivo e innecesario de plástico.

Gracias a todos los ensayos realizados fue posible redactar una guía práctica y descriptiva la cual facilita la fabricación planteando paso a paso el procedimiento a seguir para la construcción correcta de ladrillos plásticos reciclados, la guía sirve como herramienta para poder crear y desarrollar el mampuesto investigado en esta tesis monográfica la que podría ser usada por cualquier persona que cuente con los materiales necesarios.

5.2. Recomendaciones

Para alcanzar mejores resultados se recomienda someter el ladrillo reciclado a nuevas líneas de estudio con el objetivo de complementar la mayor información posible no abordada en esta tesis monográfica. Al tratarse de un elemento nuevo en el país, resulta favorable el exponerlo a trabajo de campo para conocer su comportamiento a la intemperie, pero priorizando lo siguiente:

Análisis financiero y de Mercado

Se promueve a realizar un análisis financiero para evaluar la rentabilidad de construir con este ladrillo a gran escala, suponiendo que se cuenta con la propia máquina trituradora de plástico para reducir su costo y poder encontrar el valor presente neto para el proyecto el cual permitiría determinar si la inversión conforme

a los costos fijos, variables, capital de trabajo tanto como las ventas son viables para maximizar la inversión. (Programación de especialización en generación de obras, 2018)

Estudio de las propiedades físicas del ladrillo reciclado PET

El desarrollar los ensayos pertinentes que no fueron abarcados en este estudio, sería de gran aporte para complementar las razones de porque si resulta positivo el utilizar este elemento reciclado, se recomienda evaluar las propiedades térmicas y acústicas para conocer el nivel de aislamiento frente al fuego (Resistencia y Estabilidad REI), aislamiento acústico y a temperaturas extremas. Consideramos que esto permitirá un mejor desarrollo en la elaboración de este elemento constructivo.

Beneficios de la implementación de Plástico PET en prefabricados para espacio público.

Mediante este estudio pudimos darnos cuenta de la importancia en promover agregados plásticos reciclados como una alternativa viable para la economía y el medio ambiente en la elaboración de materiales prefabricados para espacios públicos, como adoquines, aceras, postes, cunetas, pilares y entre otras infinidades de estos mampuestos.

5.3. Bibliografía

ANFABRA. (2019). *CIBR*. Obtenido de <http://www.cibr.es/medio-ambiente-pet-reciclado-que-es>

ARGOS. (s.f.). Obtenido de Web Corporativo de Cementos ARGOS, Colombia.

ASTM. (s.f.).

Espanola, R. A. (s.f.). *Diccionario Definicion D.E.* Obtenido de <https://dle.rae.es/?id=DglqVCc>

FICEM. (s.f.).

García, I. C. (2012). *PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LADRILLOS MACIZOS CERÁMICOS PARA MAMPOSTERÍA*. Bogota.

INCONTEC. (2012). *Evaluacion para cementos* .

Ing., M. A. (2008). *Fabricacion de bloques con agregado plastico PET*. Colombia.

Manual de Obra. (23 de Mayo de 2016). *Mortero de Cemento Dosificacion y Rendimiento*. Obtenido de <https://www.manualdeobra.com/blog/mortero>

mp-001. (s.f.).

MP-001. (s.f.).

Progamacion de especializacion en generacion de obras. (2018). Bogota.

UNAL. (s.f.). *PDF*. Obtenido de Google: http://bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf