



Universidad Latina sede Heredia  
Facultad de Ingeniería y TICS  
Escuela de Ingeniería Civil  
Licenciatura en Ingeniería Civil

Trabajo Final de Graduación para optar al grado académico de Licenciatura en Ingeniería  
Civil, modalidad tesis de grado

**Estudiar el Desempeño a Compresión del Concreto con un porcentaje de contenido de  
Polietileno de Alta Densidad y Escombros de Mampostería Triturada.**

**Autor:** Waldir Nahum Mendoza Coto

**Tutor:** Ing. José Joaquín Rodríguez Rodríguez

**Lector:** Ing. Danilo Alberto Hernández Guerrero

**Fecha:**

26 de diciembre del 2022.

## TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: Estudiar el Desempeño a Compresión del Concreto con un porcentaje de contenido de Polietileno de Alta Densidad y Escombro de Mampostería Triturado., por el (la) estudiante: MENDOZA COTO WALDIR NAHUM, fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:

**JOSE JOAQUIN  
RODRIGUEZ  
RODRIGUEZ  
(FIRMA)** Firmado digitalmente  
por JOSE JOAQUIN  
RODRIGUEZ  
RODRIGUEZ (FIRMA)  
Fecha: 2023.01.02  
16:25:53 -06'00'

Ing. Jose Joaquín Rodríguez Rodríguez  
Tutor

**DANILO ALBERTO  
HERNANDEZ  
GUERRERO  
(FIRMA)** Firmado digitalmente  
por DANILO ALBERTO  
HERNANDEZ  
GUERRERO (FIRMA)  
Fecha: 2023.01.02  
17:58:42 -06'00'

Ing. Danilo Hernández Guerrero  
Lector

**MARIANELA DE  
LOS ANGELES  
FALLAS NAVARRO** Firmado digitalmente por  
MARIANELA DE LOS ANGELES  
FALLAS NAVARRO  
Fecha: 2023.01.02 16:04:23  
-06'00'

Ing. Marianela Fallas Navarro  
Representante

**Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico)**  
**Universidad Latina de Costa Rica**

**Yo (Nosotros):**

Waldir Nahum Mendoza Coto

**De la Carrera /  
Programa:**

Ingeniería Civil

**Modalidad de  
TFG:**

Tesis

**Titulado:**

Estudiar el Desempeño a Compresión del  
concreto con un porcentaje de Contenido  
de Polietileno de Alta Densidad y Escoria  
de Mampostería Triturada.

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el "AUTOR"), declara lo siguiente: **PRIMERO:** Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la "OBRA"). **SEGUNDO:** El AUTOR autoriza y cede a favor de la UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L. con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la "UNIVERSIDAD"), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la OBRA necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la OBRA con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. **TERCERO:** El AUTOR acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la UNIVERSIDAD no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. **CUARTO:** El AUTOR garantiza la originalidad de la OBRA, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la OBRA, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del AUTOR y este garantiza mantener indemne a la UNIVERSIDAD ante cualquier reclamo de algún tercero. **QUINTO:** El AUTOR se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la UNIVERSIDAD. **SEXTO:** La presente autorización y cesión se regirá por las leyes de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el AUTOR y la UNIVERSIDAD, en forma voluntaria e incondicional. **SÉPTIMO:** El AUTOR acepta que la UNIVERSIDAD, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

presentación relacionado con la OBRA, y el AUTOR, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la UNIVERSIDAD, por lo que el AUTOR haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. OCTAVO: El AUTOR concede a UNIVERSIDAD, el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envío (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El AUTOR acepta que UNIVERSIDAD, puede, sin cambiar el contenido, traducir la OBRA a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. NOVENO: El AUTOR acepta que UNIVERSIDAD puede conservar más de una copia de este envío de la OBRA por fines de seguridad, respaldo y preservación. El AUTOR declara que el envío de la OBRA es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. DÉCIMO: El AUTOR manifiesta que la OBRA y/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la OBRA contiene material del que no posee los derechos de autor, el AUTOR declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a UNIVERSIDAD los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el AUTOR autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la UNIVERSIDAD utiliza la OBRA sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO. La presente autorización se extiende el día 05 de enero de 2023 las 16:30

Firma del estudiante(s):



## Declaración Jurada

Yo, Waldir Nahum Mendoza Coto, estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual del Proyecto de Graduación titulado:

Estudiar el Desempeño a Compresión del Concreto con un porcentaje de contenido de Polietileno de Alta Densidad y Escombros de Mampostería Triturado.

Por lo que libero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en Heredia, 03 de enero del 2023.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Waldir Nahum Mendoza Coto', with a stylized 'w' at the end.

---

Waldir Nahum Mendoza Coto  
117180755

## Resumen

En la presente investigación se procederá a comprobar la viabilidad de la capacidad a compresión de una serie de diseños de mezcla hechos con base en fibras recicladas generadas del desecho. Se va a trabajar con dos materiales muy distintos, se buscará la incorporación de tapas de botella trituradas hechas con base en polietileno de alta densidad (PEAD) en un concreto de tipo estructural. Por otra parte, se buscará la incorporación en otro diseño de mezcla de partículas de escombros de origen mampostería con el fin de ser usadas, de igual manera, en un concreto estructural. El punto principal de la investigación es la evaluación de la capacidad a compresión uniaxial de los diseños de mezcla que incorporen los materiales citados.

Cabe destacar que para realizar el análisis y comparación de los resultados de las muestras experimentales con contenido de polietileno de alta densidad (PEAD) y con contenido de escombros de mampostería triturado, se llevará a cabo un diseño de mezcla patrón que no contenga ningún porcentaje de agregado grueso alternativo propuesto con anterioridad.

Para muestreo y puesta a prueba de los distintos diseños de mezcla se seguirá lineamientos del ASTM y ACI con el fin de tener una guía que permita llevar el trabajo por buen camino y llegar a buen puerto con resultados que muestren confiabilidad en los resultados de un proyecto meramente experimental.

Se busca la incorporación de estos materiales ya que son materiales comúnmente encontrados en el desecho y en muchas ocasiones no se les busca un segundo uso por lo que terminan a la deriva en el ambiente. Se utilizarán distintas proporciones de agregado grueso alternativo en una especie de híbrido con el agregado convencional para generar disminución en el costo constructivo sin ver afectando valores de desempeño del concreto frente a la compresión. A continuación, se detallarán de manera explícita más aspectos importantes de este Trabajo Final de Graduación.

## **Abstract**

In the following investigation the main purpose is to demonstrate the viability of the compression capacity of a series of mix designs made on recycled fibers generated from waste. It will work with two different materials and is necessary to looking for the incorporation of bottle caps made with high density polyethylene (HDPE) in structural concrete. In otherwise is important to seek the incorporation of another design mixture of rubble particles of masonry origin to be used in a structural concrete. The main point of this investigation is the evaluation of the uniaxial compression capacity of the mixture designs that incorporate the mentioned materials. It is important to mention that to perform the analysis and comparison of the results of the experimental samples with high density polyethylene (HDPE) content and with crushed waste rubble content, it will develop a mix pattern design does not contain a percentage of alternate coarse aggregate previously proposed.

For sampling and the different analysis of the different mix designs, it will be following the different guidelines of ASTM and ACI to have a guide that allows to carry the work on the right track and reach a successful conclusion with results that show reliability in the results of a project. It is important to introduce these kinds of materials because they are commonly found in waste and on many cases a second use is not applied in a correct way because they will be lost in the environment. It will be use different proportions of alternative coarse aggregate and will be used in a kind of hybrid with conventional aggregate to generate a decrease in construction cost without affecting concrete performance values against compression. On the other hand, another important aspect of this research will be explained.

## Índice

Resumen.....	4
Abstract.....	7
Antecedentes.....	14
Planteamiento del problema de investigación.....	15
Hipótesis.....	16
Objetivos.....	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos.....	17
Justificación.....	17
Alcance y Limitaciones.....	18
Alcances.....	18
Limitaciones.....	19
Impacto.....	19
CAPITULO II.....	21
2. Marco Teórico.....	21
2.1 Concreto:.....	21
2.1.1 Agua:.....	22
2.1.2 Aditivos:.....	23
2.1.3 Agregados:.....	25
2.1.4 Cemento:.....	28
2.2 Densidad del concreto:.....	29
2.2.1 Concreto de baja densidad:.....	30
2.3 Resistencia:.....	32
2.4 Curado:.....	33
2.5 Trabajabilidad:.....	34
2.6 Durabilidad:.....	35
2.7 Mezclado:.....	36
2.8 Permeabilidad:.....	39
2.9 Polietileno de alta densidad (PEAD):.....	43
3. Marco Metodológico.....	45
3.1 Paradigma.....	45



3.2 Enfoque Metodológico.....	45
3.3 Método de Investigación.....	45
3.4 Operacionalización de Variables:.....	46
3.5 Población: .....	48
3.6 Muestra: .....	48
3.7 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	48
3.7.1 Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (ASTM C39). .....	50
3.7.2 Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos (ASTM C136).....	53
3.7.3 Método de ensayo normalizado para determinar la cantidad de material más fino que el tamiz de 75 $\mu$ m (N° 200) de los áridos minerales por el método de lavado (ASTM C117). .....	56
3.7.4 Especificación estándar para Agregados para Concreto (ASTM C33).....	58
3.7.5 Práctica estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto (ACI 211.1). .....	60
3.7.6 Práctica estándar para hacer y curar especímenes de prueba de concreto en el laboratorio (ASTM C192).....	61
3.8 Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de los datos .....	61
Capítulo III.....	62
4. Resultados y Análisis de Resultados.....	62
4.1 Resultados.....	62
4.1.1 Diseño de mezcla Patrón.....	62
4.1.2 Elaboración de especímenes Mezcla Patrón .....	63
4.1.3 Pruebas a especímenes Mezcla Patrón a los 7 días de edad de curado .....	65
4.1.4 Pruebas a especímenes Mezcla Patrón a los 15 días de edad de curado.....	67
4.1.5 Pruebas a especímenes Mezcla Patrón a los 28 días de edad de curado.....	70
4.2 Diseño de Mezcla Polietileno de Alta Densidad (PEAD).....	73
4.2.1 Elaboración de especímenes Mezcla PEAD .....	75
4.2.2 Pruebas a especímenes PEAD a los 7 días de edad de curado.....	76
4.2.3 Pruebas a especímenes PEAD a los 15 días de edad de curado.....	80
4.2.4 Pruebas a especímenes PEAD a los 28 días de edad de curado.....	84
4.3 Diseño de mezcla escombros de mampostería triturado. ....	87
4.3.1 Elaboración de especímenes escombros mampostería .....	90
4.3.2 Pruebas a especímenes con mampostería triturada a los 7 días de edad de curado .....	91

4.3.3 Pruebas a especímenes con mampostería triturada a los 15 días de edad de curado .....	94
4.3.4 Pruebas a especímenes con mampostería triturada a los 28 días de edad de curado .....	98
Análisis de Resultados .....	102
Resistencias a los 7 días de curado .....	102
.....	102
Resistencias a los 15 días de curado .....	103
Resistencias a los 28 días de curado .....	104
Crecimiento de resistencia de la mezcla Patrón.....	105
Crecimiento de resistencia de las mezclas PEAD.....	105
Crecimiento de resistencia de las mezclas Mampostería triturada. ....	106
4.4 Presupuesto .....	107
5. Conclusiones, Recomendaciones y Referencias bibliográficas .....	112
Conclusiones .....	112
Recomendaciones .....	112
Bibliografía .....	114
Anexos .....	116
Glosario.....	123

### **Índice de figuras**

Figura 1 .....	25
Figura 2 .....	51
Figura 3 .....	52
Figura 4 .....	53
Figura 5 .....	54
Figura 6 .....	59
Figura 7 .....	60
Figura 8 .....	64
Figura 9 .....	64
Figura 10 .....	65
Figura 11 .....	66
Figura 12 .....	67

Figura 13 .....	67
Figura 14 .....	69
Figura 15 .....	69
Figura 16 .....	70
Figura 17 .....	71
Figura 18 .....	72
Figura 19 .....	72
Figura 20 .....	74
Figura 21 .....	75
Figura 22 .....	76
Figura 23 .....	76
Figura 24 .....	78
Figura 25 .....	79
Figura 26 .....	79
Figura 27 .....	80
Figura 28 .....	82
Figura 29 .....	83
Figura 30 .....	83
Figura 31 .....	86
Figura 32 .....	86
Figura 33 .....	87
Figura 34 .....	88
Figura 35 .....	89
Figura 36 .....	90
Figura 37 .....	90
Figura 38 .....	92
Figura 39 .....	93
Figura 40 .....	93
Figura 41 .....	94
Figura 42 .....	96
Figura 43 .....	96
Figura 44 .....	97
Figura 45 .....	97
Figura 46 .....	100

Figura 47 .....	100
Figura 48 .....	101
Figura 49 .....	102
Figura 50 .....	103
Figura 51 .....	104
Figura 52 .....	105
Figura 53 .....	105
Figura 54 .....	106
Figura 55 .....	106

### **Índice de Tablas**

Tabla 1 .....	46
Tabla 2 .....	49
Tabla 3 .....	63
Tabla 4 .....	65
Tabla 5 .....	68
Tabla 6 .....	70
Tabla 7 .....	73
Tabla 8 .....	73
Tabla 9 .....	74
Tabla 10 .....	76
Tabla 11 .....	80
Tabla 12 .....	84
Tabla 13 .....	87
Tabla 14 .....	88
Tabla 15 .....	89
Tabla 16 .....	91
Tabla 17 .....	94
Tabla 18 .....	98
Tabla 19 .....	107
Tabla 20 .....	107
Tabla 21 .....	108

Tabla 22.....	108
Tabla 23.....	108
Tabla 24.....	109
Tabla 25.....	109
Tabla 26.....	110
Tabla 27.....	110
Tabla 28.....	110
Tabla 29.....	111

## Antecedentes

A través de los años, siempre ha existido curiosidad o intriga por integrar elementos no convencionales en la elaboración de concretos con el fin de abrir un poco la línea de pensamiento basada en que siempre se debe utilizar cemento, arena y roca para obtener desempeños que cumplan con lineamientos preestablecidos.

Existen muchas investigaciones que se han llevado a cabo a través de los años con múltiples materiales, ya sea orgánicos y/o de origen sintético. Por ejemplo, Monge (2013) de la Universidad de Costa Rica (UCR), propuso la utilización de polipropileno (FIBROMAC 12) como complemento de un concreto destinado a ser utilizado como pavimento. Se utilizaron proporciones de 0.1%, 0.2% y 0.3% del volumen total de concreto. Se evaluó comportamiento a la fatiga.

A nivel internacional, Castillo (2018), de la Universidad San Pedro en Perú, llevó a cabo un proyecto en el cual sustituía 50% y 75% de agregado grueso con piezas cerámicas de desecho. Se evaluó compresión y se esperaron resultados cercanos a 21MPa.

También en el extranjero, Páez (2020), de la Universidad Nacional de Colombia, propuso la utilización de neumáticos triturados como sustitución parcial de agregado fino en mezclas de concreto. Utilizó porcentajes de sustitución del 5%, 10% y 15% en volumen por neumático reciclado sin tratamiento previo alguno donde su objetivo era evaluar las propiedades mecánicas del concreto al incorporar estas proporciones de material.

Por último, León (2021) de la Universidad Latina de Costa Rica, propuso una mezcla de concreto seco y liviano donde agrega celulosa reciclada. Lo realizó siguiendo una metodología poco documentada como lo es la Metodología Frasson Jr. Se buscó una resistencia mínima de 8MPa y se trabajaron porcentajes de 1%, 2%, 3% en fibra, 5%, 10% y 15% en forma cúbica, 2%, 4% y 6% en aserrín. Estos porcentajes son relacionados por cada kg de cemento.

Trabajos sumamente interesantes que poseen un común denominador: la incorporación de partículas no convencionales en concretos de múltiple propósito, donde en algunos casos poseen mayor afinidad con el trabajo a desarrollar en este documento como por ejemplo el caso del estudiante de la Universidad de Perú que utilizó desechos constructivos de cerámica para elaborar un concreto que cumpliera compresión de 21MPa.

## **Planteamiento del problema de investigación**

¿Es el polietileno de alta densidad (PEAD) y el escombros de mampostería triturado alternativas eco-amigables viables para ser utilizados como agregado grueso en diseños de mezcla de concretos estructurales?

El proyecto se basa en dos planteamientos iniciales, el primer planteamiento consiste en la implementación de tapas de botellas trituradas hechas a partir de Polietileno de alta densidad, como agregado grueso en mezclas de concreto estructural. Esto con el fin de darle un nuevo uso a parte de la excesiva cantidad de desechos poliméricos que se genera en la actualidad.

Costa Rica es un país pequeño que se destaca por sus políticas ambientales, sin embargo, a diario se desechan alrededor de 550 toneladas de plástico, donde alrededor del 80% llega al océano y solo un 9% recibe un proceso de reciclado. La Organización de las Naciones Unidas (ONU). afirma que para el 2050 habrá más plástico que peces en el océano. (Grajales, 2018).

En el segundo planteamiento se pretende reutilizar desechos constructivos de mampostería triturados con el fin de ser utilizados como agregado grueso en mezclas de concreto estructural. Esto con el fin de abaratar costos de materiales en futuros diseños de mezcla y darles un nuevo uso a estos desechos.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN) estima que en Costa Rica se producen alrededor de 1.800 toneladas diarias de residuos y escombros de construcción, de los cuales un gran porcentaje es altamente reciclable. El mal manejo de estos residuos suele generar botaderos clandestinos en lotes baldíos, que provocan no solo obstrucciones en ríos, terrenos y vías públicas, sino, también riesgos directos e indirectos sobre la salud humana y elevados costos de mantenimiento y restauración ambiental. (UICN, 2011, p.7).

Posterior a exponer la problemática, es preciso afirmar que la reutilización de cualquier tipo de material, no solo los que se utilizarán en este proyecto, representa un alivio a nivel ambiental que como se detalló, la situación es crítica debido a que el porcentaje que se trata y/o reutiliza es sumamente bajo en comparación con las toneladas totales de materias que se desechan, de las cuales muchas podrían calificar como materiales reutilizables en diversos usos por su composición y/o propiedades mecánicas en general. He aquí la inquietud de demostrar y, por qué no, promover a través de una base científica experimental que reutilizar materias en la elaboración de concretos puede traer beneficios ambientales y económicos, ya que se estaría elaborando un

concreto con propiedades similares a un concreto convencional, pero con partículas recicladas que generen economía en los proyectos donde se utilicen.

### **Hipótesis**

Se realizarán 2 especímenes por cada diseño de mezcla con distintas proporciones de contenido polietileno de alta densidad (PEAD) como agregado grueso alternativo, esto con el fin de comprobar su capacidad a la compresión a los 7, 15 y 28 días con base en 210 kg/cm<sup>2</sup>. En primera instancia, se trabajará con proporciones del 15% y 25% del valor total de agregado grueso.

En el caso de la segunda alternativa de agregado grueso, el escombros de mampostería triturado, también se realizarán 2 especímenes por cada diseño, las proporciones serán de 20% y 30% de acuerdo con el valor total de agregado grueso. De igual manera se revisará su capacidad a la compresión a los 7, 15 y 28 días contemplando un mínimo de 210 kg/cm<sup>2</sup>, esto ya que se planea comprobar si es viable o no su utilización como concreto estructural.

Cabe destacar que se llevará a cabo un diseño de mezcla base o patrón con el cual se realizarán las comparaciones de los resultados de los demás especímenes a testear. Otro punto importante es que la adición de las partículas alternativas propuestas se llevará a cabo en la mezcladora junto con las demás partes del concreto. Se espera obtener porcentaje de ahorro mayores al 5% en comparación con la realización de un concreto convencional. Se buscará que las partículas no superen los 12.5mm luego de ser triturados ambos materiales, esto se logrará mediante la utilización de tamices y selección manual con el fin de obtener partículas lo más homogéneas posibles.



## **Objetivos**

### **Objetivo General**

- Estudiar el Desempeño a Compresión del Concreto con un Porcentaje de Contenido de Polietileno de Alta Densidad y Escombros de Mampostería Triturada.

### **Objetivos Específicos**

- Evaluar el desempeño del polietileno de alta densidad en forma de tapas de botella (peso específico: 0,95 g/cm<sup>3</sup>) como agregado grueso parcial en concreto estructural.
- Considerar el escombros de mampostería triturada como agregado grueso parcial en el diseño de mezclas de concreto estructural.
- Seguir lineamientos del ASTM (C136, C39 y C192) para caracterizar y homogenizar los agregados para posteriormente realizar los especímenes cilíndricos de cada diseño de mezcla.
- Verificar la capacidad a compresión a los 7, 15 y 28 días del diseño de mezcla con PEAD (210 kg/cm<sup>2</sup>) y del diseño con escombros triturados (mínimo 210 kg/cm<sup>2</sup>).
- Obtener un porcentaje de ahorro mayor al 5% de acuerdo con un diseño de mezcla de concreto convencional.

## **Justificación**

Los últimos años el mundo ha vivido situaciones complicadas a nivel económico, ambiental, social y salubre. La pandemia del covid-19, por ejemplo, generó fuertes repercusiones en todas las naciones del mundo, las industrias pararon, por lo que la economía se vio disminuida enormemente. El sector construcción es uno de los sectores que más dinamizan la economía y permite el crecimiento de las naciones a través de la creación de infraestructura, y ante el parón obligado de múltiples sectores, entre ellos el sector construcción, muchas obras de gran envergadura se estancaron lo que generó, por consiguiente, que el crecimiento de las naciones se viera afectado.

Hoy, varios meses después del inicio de la reactivación económica, muchos países siguen luchando por salir adelante. Como se mencionó, el desarrollo de infraestructura es un dinamizador de la economía ya que implica la generación de empleos, es decir, mano de obra que aporte en múltiples facetas en la ejecución de la obra como tal. De igual manera sin el aporte de mano de

obra calificada la ejecución y/o progreso de una obra se vería perjudicado. También, se puede mencionar que la generación de nueva infraestructura requiere la colaboración de proveedores que brinden sus materiales y servicios con el fin de lograr el objetivo. Sin el aporte de proveedores que brinden sus productos es prácticamente imposible llevar a cabo una obra de infraestructura, ya que en muchas ocasiones se requiere de productos manufacturados que suelen ser importados, por lo que si no es a través de un proveedor resulta complicado adquirir los materiales necesarios.

El poseer opciones de generar esta infraestructura y que se obtengan menores costos de ejecución es importante ya que, el sector construcción ha sufrido fuertes incrementos de hasta 30% en algunos materiales por lo que se torna un asunto complicado ya que se ve muy golpeada la bolsa de los involucrados. Es por esto por lo que, resulta muy atractivo buscar esta disminución de costos para colaborar con la reactivación económica y aliviar un poco la golpeada economía, por lo que como sugiere este Trabajo Final de Graduación, el poseer alternativas de agregado grueso procedentes generalmente del desecho (tapas de botellas y desechos de la construcción) representa un ahorro en el diseño de mezclas de concreto, material prioritario en el desarrollo de infraestructura. Esto aunado al hecho de que se está colaborando con el medio ambiente al proponer la utilización de material desechado que muchas veces no es tratado de manera correcta y termina perjudicando el medio ambiente.

La excesiva cantidad de desechos que se producen a diario es astronómica, con este proyecto se pretende dar una nueva utilidad a parte de estos residuos con el fin de que sean de utilidad y no simplemente queden a la deriva en el medio ambiente perjudicando el bienestar de la biosfera.

## **Alcance y Limitaciones**

### **Alcances**

- La caracterización granulométrica de los agregados se obtendrá según el ASTM C136.
- Los diseños de mezcla se realizarán siguiendo lineamientos del ACI 211.1.
- Las pruebas de la resistencia a la compresión de los diseños se llevarán a cabo en el laboratorio mediante la norma ASTM C39.
- La elaboración de los especímenes cilíndricos se hará según las disposiciones del ASTM C192.

- El diseño de mezcla con escombros de mampostería triturada va a ser puesto a prueba para buscar la resistencia mínima de concreto estructural.

### **Limitaciones**

- La disponibilidad de las máquinas e instrumentos de laboratorio necesarios para realizar los muestreos y ensayos.
- El escombros de mampostería se obtendrá de depósitos de demolición y obras en proceso de demolición y remodelación.
- No se utilizará escombros contaminados o que haya estado en contacto con químicos peligrosos.
- Las tapas de PEAD se obtendrán mediante recolección manual.
- No se evaluará desempeño en tensión ni flexión.

### **Impacto**

El hecho de partir desde una hipótesis y comprobar su veracidad puede significar una infinidad de posibilidades. En el caso de este Trabajo Final de Graduación, de realizar los ensayos pertinentes a los distintos diseños de mezcla que posean el Polietileno de alta densidad, y que su comportamiento sea favorable y se demuestre que la resistencia a la compresión está contemplada dentro del rango establecido en la hipótesis, significaría un importante avance en el campo de los materiales de construcción ya que se poseería una manera de abaratar los costos del concreto en el diseño de obras estructurales. Esto, aunado al hecho de que se le estaría dando un nuevo uso a uno de los desechos poliméricos más comunes que se producen en la actualidad, como lo son las tapas de polietileno de alta densidad provenientes de bebidas.

Por otro lado, de comprobarse que la inclusión de escombros de mampostería en cierta proporción en el diseño de mezcla de un concreto estructural sea favorable cumpliendo valores de compresión mayores a 210 kg/cm<sup>2</sup>, sería significativo de igual manera como en el caso anterior, ya que se concluiría que este material no solo puede ser usado para obras menores como aceras, sino que pueda ser usado como material conformador de un concreto para un elemento estructural

como una columna o viga, por ejemplo (sujeto a desempeño en otros ensayos para comprobar su capacidad como elemento estructural).

Ambos casos podrían ser utilizados en viviendas de bien social, como contrapisos y elementos estructurales con el fin de bajar costos constructivos y proveer vivienda digna a la mayor cantidad de familias necesitadas posibles. De igual manera si se realizan residenciales, la mezcla con polietileno de alta densidad puede ser aplicada en aceras y otras obras menores, y de esta forma ser útil para contribuir con el medio ambiente y generar el progreso de la nación una obra a la vez.

Como se mencionó con anterioridad, el sector constructivo fue uno de los sectores que más se vio afectado con el estanco económico debido a la pandemia del 2020, ya que incluso antes venía presentando decrecimientos en su dinamismo. Según Canales (2020) “para el 2019 el PIB construcción mostró un decrecimiento de 10,7% con respecto al 2018, siendo la actividad económica con el peor comportamiento a nivel nacional. Por este motivo, el golpe de la pandemia se ha sentido de forma más intensa”.

Si ambas ideas propuestas en este Trabajo Final de Graduación funcionan y se cumple con el objetivo de que al utilizar estas alternativas de agregado se está obteniendo un porcentaje de ahorro mayor al 5% en comparación con un diseño de mezcla de un concreto común, se estaría brindando una opción con la cuál dinamizar el golpeado sector construcción para devolverle su auge y de esta forma colabore con la reactivación económica de un país que aún se tambalea por un azotador 2020.

## CAPITULO II

### 2. Marco Teórico

La realización de este apartado es de suma importancia para la comprensión de conceptos técnicos que se van a tratar, para que de esta manera el lector posea una orientación enfocada en lo que se busca como parte del proyecto. El tema por tratar se va enfoca en diseñar concreto estructural por lo que se procederá a definir de manera extensa los distintos términos que van de la mano con este tipo de trabajos.

**2.1 Concreto:** es una mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de cemento y agua. En ocasiones, uno o más aditivos se agregan para cambiar ciertas características como lo son la ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado. Al igual que la mayoría de los materiales pétreos, el concreto tiene una alta resistencia a la compresión y una muy baja resistencia a la tensión. El concreto reforzado es una combinación de concreto y acero en la que el refuerzo de acero brinda este refuerzo al campo de la tensión el cual el concreto es deficiente. (Kosmatka, 2004, p.1).

El concreto es el material principal que compone muchas obras constructivas de los últimos años, su facilidad de crear y moldear, además de sus evidentes ventajosas propiedades como por ejemplo su alta resistencia a la compresión, a las altas temperaturas y a distintas condiciones climáticas adversas. Producir concreto no requiere cantidad descomunales de dinero, que esto lo ha hecho sobresalir sobre otros materiales para ser el material principal en la conformación de obras de infraestructura de diversa índole.

En lo referente a este trabajo investigativo, su objetivo principal es la incorporación de partículas alternativas en el diseño de mezclas de concreto tanto estructural pero no estructural. La idea consiste en desarrollar una dosificación apropiada con la inclusión de polietileno de alta densidad (tapas de botella) y escombros, ambos materiales triturados en tamaños no mayores a 1.27cm. Se variará el contenido de agregado grueso en la mezcla para ser reemplazado por un porcentaje predeterminado de polietileno de alta densidad y escombros triturados, con el fin de evaluar el efecto de esta variación en el desempeño a compresión del concreto, ya sea negativo o positivo y a partir de esto estudiar la viabilidad de hacerlo.

Una mezcla de concreto fresco tiene como función importante desarrollar las cualidades que esta presenta. En este estado la mezcla posee una apariencia pastosa que deja en evidencia algunas de sus características iniciales como lo es la trabajabilidad, así como otras características

principales, como su capacidad de ser blanda, y moldeable en distintas formas, y de esta forma a través de estas características se colabore con los procesos de colado y posteriormente la compactación.

Una vez colocado el concreto va a experimentar el proceso de fraguado, el concreto va a pasar de un estado líquido a un estado solidificado. En la práctica se habla de que posterior a 4 días de colocado el concreto, se pueden retirar las formaletas ya que el concreto posee una consistencia óptima para mantenerse consistente. El tiempo en el que se considera que el concreto ha conseguido su proceso de fraguado adecuado ronda los 30 días, sin embargo, el tiempo en que esto sucede está sujeto a una serie de factores como las condiciones del clima donde se colocó el concreto, por ejemplo, si la temperatura es elevada el tiempo de fraguado será más veloz que si fuese en un clima gélido. Otra condición más técnica que puede alterar el tiempo de fraguado consiste en la inclusión de algún tipo de aditivo que según sus especificaciones permita que los tiempos de fraguado se vean ya sea aumentados o disminuidos en cierta proporción.

Por último, una vez que el concreto ha fraguado el concreto se encuentra en su estado de solidez máximo por lo que a su vez ha logrado su máxima resistencia a la compresión (sujeto a los procesos de curado a los que fue expuesto) y durabilidad por lo que se considera que está preparado para resistir cargas elevadas según las características con las que fue diseñado.

**2.1.1 Agua:** Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar como agua de mezcla para la preparación del concreto. El agua es de suma importancia en la conformación del concreto ya que es la que le permite al cemento reaccionar químicamente que de inmediato le activa las propiedades de fraguado y luego de un lapso establecido endurecer para formar lo que se conoce como concreto. Como se mencionó el objetivo como tal del agua consiste en activar la mezcla, sin embargo, se debe destacar la importancia del agua en el proceso de curado del concreto, ya que en gran manera el contenido de agua influye en la trabajabilidad de la mezcla. Al combinar agua con distintos materiales se da como resultado un material con propiedades específicas que puede ser usado en distintas labores, por ejemplo, como material inicial para una mezcla de concreto se tiene el cemento, el cual, al incluir dicho cemento con cierta proporción de agua, se obtiene la llamada pasta, la cual usualmente se usa para rellenar separaciones entre paredes, o para la inyección en grietas de dimensiones razonables. Por otra parte, si se toma dicha pasta conformada y se mezcla con algún tipo de agregado fino se genera el conocido mortero, el cual es altamente usado en repellos o

incluso para unir bloques de mampostería en diversas estructuras. También, si dicho mortero se le agrega una cierta proporción de agregado grueso, como piedra quinta, por ejemplo, se obtiene el producto final que es la mezcla de concreto, el cual es el material más usado a nivel mundial para establecer obras de infraestructura de diversa índole, que puede abarcar desde una casa convencional hasta un túnel submarino, donde claro está, que sus propiedades tienen que variar dependiendo de cada obra con el fin de que sea resistente. Sin el agua no podríamos obtener concreto ya que como se expresó con anterioridad, el agua es indirectamente la base de la creación de obras de infraestructura, ya que sin agua no hay concreto y sin concreto el desarrollo de las obras en las naciones sería a una escala exponencialmente menor ya que se tendría que recurrir a materiales alternativos. Retomando el aspecto de las propiedades del agua en la conformación del concreto, no es estrictamente necesario usar en toda ocasión agua cien por ciento potable para la conformación de concreto, se pueden utilizar algunas aguas que no se consideran potables, sin embargo, es preferible la implementación de aguas meramente potables para que las propiedades del concreto sean óptimas y no se recurra a ensayos adicionales para verificar la capacidad del concreto con la inclusión de la llamada “agua dudosa”. Como se mencionó en el párrafo anterior se puede emplear el agua dudosa en concreto, pero se debe verificar su desempeño a través de pruebas de laboratorio como lo son las establecidas en las normativas (ASTM C 109 o AASHTO T 106) se aconseja que los cubos de mortero preparados con el agua dudosa tengan la resistencia a los 7 días igual a por lo menos 90% de la resistencia de los especímenes de referencia preparados con agua potable o agua destilada convencional. Además, es estrictamente necesario que se garantice a través de ensayos del tiempo de fraguado que las impurezas en el agua de amasado no van a disminuir o aumentar adversamente el tiempo de fraguado del cemento. Cabe destacar que el exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar valores de tiempo de fraguado y valores de resistencias del concreto, sino también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad, por lo que a través de normativas como ASTM y AASHTO se pueden establecer ciertos límites opcionales para contenidos de cloruros, sulfatos, álcalis y sólidos en el agua de mezcla con el fin de que se pueden realizar ensayos que ayuden a determinar el efecto de las impurezas sobre las propiedades del concreto. (Kosmatka et al., 2004, p. 95)

**2.1.2 Aditivos:** Los materiales que se agregan al concreto durante o después y se usan con el fin de mejorar el desempeño del concreto en ciertas situaciones, así como para disminuir su

costo. Algunos de los tipos más comunes de aditivos son los aditivos inclusivos de aire, que cumplen con los requisitos ASTM C260 y ASTM C618, se usan principalmente para incrementar la resistencia del concreto al congelamiento y derretimiento, además de mejorar resistencia a la acción de deterioro de las sales descongelantes. Estos tipos de aditivos permiten la formación de una especie de espuma en el agua de mezclado, y como resultado se obtienen muchas burbujas de aire estrechamente espaciadas que se incorporan de manera dinámica en el concreto. Cuando el concreto sufre el proceso de descongelamiento, el agua penetra en las burbujas de aire, con lo cual se alivia la presión sobre el concreto. De igual manera cuando el concreto experimenta este procedimiento de descongelamiento el agua puede salir de las burbujas, lo que a la postre genera que se experimente un menor agrietamiento en la superficie.

La adición de aditivos acelerantes, como su nombre lo afirma, acelera en el concreto el desarrollo de su temprana resistencia. Los resultados de tales adiciones en concretos que por lo general son usados en climas fríos que sufran congelación, permite la reducción del tiempo requerido para el curado y la protección del concreto, así como el pronto retiro del encofrado del elemento.

Los aditivos retardadores, de igual manera como lo indica su nombre, se usan para retardar tanto el fraguado del concreto como los aumentos de temperatura. Consisten en varios ácidos o derivados del azúcar. En la práctica es muy común que muchos conductores de chompipas lleven consigo sacos de azúcar para añadirla al concreto en caso de ser atrasados por inconvenientes de diversa índole. Una ventaja de este tipo de aditivos es que prolongan la plasticidad del concreto, lo cual permite mejorar el mezclado o adherencia entre colados sucesivos, como en obras de gran magnitud.

Los superplastificantes son aditivos hechos a partir de sulfonatos orgánicos. Su uso permite a los ingenieros reducir considerablemente el contenido de agua en los concretos y al mismo tiempo incrementar valores de revenimientos. Aunque los superplastificantes también pueden usarse para mantener proporciones de agua-cemento constantes usando menos cemento, su uso es más usual en la producción de concretos manejables con resistencias muy superiores, a pesar de que la cantidad de cemento es la constante. Los concretos autoconsolidantes son un ejemplo de productos que utilizan este tipo de aditivos, esto con el fin de obtener mezcla más trabajable y en la que la vibración no sea obligatoria. Estos aditivos superplastificantes consisten en algún tipo de jabón o derivados del petróleo como lo son las emulsiones asfálticas. Es importante recalcar que



estos aditivos pueden ayudar a retardar la penetración del agua en los concretos porosos, sin embargo, su aporte a los concretos densos con un completo proceso de curado no es significativo. (MacCormac y Brown, 2018, p.10).

**2.1.3 Agregados:** Siempre es importante velar por la calidad de los agregados que se desean utilizar. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto e influyen directamente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto. El agregado fino comprende en arena natural o piedra triturada, y la mayoría de sus partículas menores que 5 mm. La American Society for Testing and Material (ASTM) en su norma ASTM C33-03 en el apartado expone las siguientes características que debe poseer un material para cumplir con los requerimientos para ser agregado fino de uso uniforme:

- El agregado fino no deberá tener más del 45% pasando algún tamiz y el retenido en el tamiz siguiente consecutivo de ese mostrado en la tabla siguiente, y su módulo de fineza no deberá de ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1.

**Figura 1.**  
*Análisis de Tamizado.*

Tamiz (Especificación E 11)	Porcentaje Pasando (%)
9.5 mm (3/8 in)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	5 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Nota: Porcentajes de agregado pasando según análisis granulométrico. Fuente: ASTM C33-03.

- El agregado fino que falle en cumplir estos requerimientos de granulometría deberá de cumplir los requerimientos de esta sección siempre que el suministrante demuestre al comprador o especificador que el concreto de la clase especificada, hecho con agregado fino en consideración, tendrá propiedades relevantes o al menos igual al concreto hecho con los mismos ingredientes, con la excepción de la referencia de agregado fino, será seleccionado de una fuente que tenga un registro de desempeño aceptable en un concreto de construcción similar.
- Para envíos continuos de agregados finos de una fuente dada, el módulo de fineza no deberá de variar en más de 0.20 del módulo de fineza base. El módulo de fineza

base será aquel valor que es el típico de la fuente. Un cambio en el módulo de fineza base puede ser permitido cuando sea aprobado por el comprador o especificador.

Otro aspecto que hay que tener en cuenta cuando se tratan los agregados finos consiste en el contenido de sustancias deletéreas, es decir el contenido de sustancias tóxicas o nocivas que le generen problemas al concreto que contenga dicho agregado deletéreo. En este mismo apartado de sustancias no debe tener un agregado, o en su defecto poseer en una proporción aceptable son las impurezas orgánicas. De igual manera en la norma mencionada anteriormente, la ASTM C33-03, se expresan algunos aspectos importantes sobre el contenido de impurezas orgánicas en los agregados finos. Se detallarán a continuación:

- El agregado fino deberá de estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas. Excepto como se provee aquí, que si los agregados sujetos a la prueba de impurezas orgánicas, si estos tienen un color más oscuro que la muestra estándar, ésta deberá de ser rechazada.
- El uso de agregados fino que fallen en la prueba es permitido, comprobado que la decoloración sea debido principalmente a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito, o discretas partículas similares.
- El uso de un agregado fino que falle en la prueba es permitido, comprobado que, cuando es realizada la prueba de efecto de impurezas orgánicas en la resistencia del concreto, la resistencia relativa a 7 días, calculada de acuerdo con el Método de Prueba C 87, no es menor en 95%.
- El agregado fino para usarse en concreto que será sujeto a temperización, expuesto a humedad atmosférica prolongada, o en contacto con tierra húmeda, no deberá de contener ningún material que sea reactivo deletéreamente con los álcalis en el cemento, en una cantidad suficiente para causar expansión excesiva del mortero o concreto, excepto, si tales materiales están presentes en cantidades nocivas, en tal caso el uso de agregado fino es permitido con un cemento que contenga menos del 0.60% de álcalis calculados como óxido de sodio equivalente ( $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$ ) o con la adición de material que haya demostrado el prevenir expansiones dañinas debido a la reacción álcali-agregado.

Por último, el tema de la expansión del agregado fino está contemplado que los agregados que experimenten 5 ciclos de la prueba de expansión van a perder peso en alrededor de un diez por

ciento, no más de esta cifra si se utiliza sulfato de sodio durante las pruebas. Si se utiliza sulfato de magnesio se espera que la expansión sea a un mayor, se establece que será de máximo un quince por ciento como valor máximo.

Los agregados gruesos abarcan una combinación de gravas o piedras trituradas con partículas predominantemente mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 37.5 mm. Algunos depósitos naturales de agregado, llamados de gravas de mina, consisten en grava y arena que se posterior a un leve proceso se pueden incluir en concreto. La grava y la arena naturales normalmente se excavan o dragan de la mina, del río, del lago o del lecho marino. La piedra triturada se produce triturando la roca de cantera y roca redondeada. Los agregados frecuentemente se lavan y se gradúan en la mina o en la planta. Es común apreciar y/o experimentar alguna variación en el tipo, calidad, limpieza, granulometría (gradación), contenido de humedad. Las rocas, que se clasifican según su origen en ígneas, sedimentarias o metamórficas, generalmente se componen de varios minerales, el granito es un claro ejemplo de esto ya que contiene cuarzo, feldespato, mica y otros pocos minerales, la mayoría de las calizas consiste en calcita, dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. La erosión de las rocas produce partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla.

El concreto reciclado o el concreto de desperdicio triturado es una fuente viable de agregados y una realidad económica comprobada. Se pueden utilizar equipos convencionales de trituración de piedras y se han desarrollado nuevos equipos para reducir el ruido y el polvo. La granulometría es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, que se determina a través del análisis de los tamices. (MacCormac y Brown, 2018, p.12).

A la hora de desarrollar concreto con el agregado grueso, al igual que con el agregado fino, es de suma importancia tener precaución con los contenidos de sustancias deletéreas en la roca. La norma ASTM C33-03 expone las siguientes observaciones en su apartado de agregado grueso:

- El agregado grueso a usarse en el concreto que estará sujeto a goteo, a exposiciones prolongadas de humedad atmosférica, o en contacto con humedad de suelo, no deberá de contener algún material que sea reactivamente deletéreo con los álcalis en el cemento en cantidades suficientes para crear expansiones excesivas del mortero o concreto, excepto si tales materiales están presentes en cantidades no dañinas, el agregado grueso le está permitido ser utilizado con un cemento que contenga menos de 0.60% de álcalis calculados como óxido de sodio equivalente

( $\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$ ) o con la adición de un material que haya mostrado que previene la expansión dañina debido a reacciones álcali-agregado.

**2.1.4 Cemento:** Cómo se mencionó con anterioridad, el concreto es material principal en la ejecución de obras constructivas, y el cemento es el material principal para la elaboración de concreto. El cemento es el principal responsable de que el concreto logre los valores de resistencia que se buscan para cumplir con las demandas. Según CEMEX (s.f) “El cemento es un polvo fino que se obtiene de la calcinación a  $1,450^\circ\text{C}$  de una mezcla de piedra caliza, arcilla y mineral de hierro. El producto del proceso de calcinación es el clínker; principal ingrediente del cemento; que se muele finamente con yeso y otros aditivos químicos para producir cemento”. Los concretos hechos con base en cemento convencional requieren aproximadamente 15 días para adquirir una resistencia suficiente que permita retirar el encofrado y aplicar cargas relativamente bajas, la resistencia óptima de diseño se obtiene a los 28 días y posteriormente continúan ganando resistencia en menor proporción. (MacCormac y Brown, 2018, p.9).

Si se desea acelerar el proceso de obtener las resistencias deseadas se puede utilizar cementos de fraguado rápido que permiten obtener valores de resistencia considerables a los 3 o 7 días, lo cual es sumamente bueno en comparación con los tradicionales 28 días. Esos cementos son bastante utilizados para la fabricación de miembros prefabricados, ya que permite agilizar el proceso de producción en masa de distintos elementos. Al poder retirar el encofrado con mucha anticipación permite a la compañía elaborar más especímenes en un menor lapso, esto aunado al hecho de que se estarían teniendo una mayor cantidad de elementos que cumplan con las especificaciones técnicas de resistencia y preparados para la venta hace la utilización de este tipo de cementos muy atractiva. Está claro que cuanto más rápido se obtenga la resistencia deseada, más eficiente resultará la operación. Por otra parte, si lo vemos desde una perspectiva constructiva no industrial, el colado de entrepisos de edificios de múltiples pisos se ve dinamizado mediante la utilización de cementos de fraguado rápido.

La American Society for Testing and Materials (ASTM) clasifica los cementos portland en cinco tipos. Estos cinco tipos de cementos se fabrican con base en los mismos materiales básicos, pero sus propiedades se modifican variando un tema de dosificaciones. El cemento tipo I es el cemento normal usado en la mayoría de las construcciones convencionales, pero hay otros cuatro tipos útiles en situaciones especiales, en las que se requiere un fraguado rápido o una generación baja de calor, o bien una resistencia mayor a los sulfatos: Tipo I: el cemento común de usos

múltiples empleado en trabajos de construcción en general. Tipo II: un cemento modificado que tiene menor calor de hidratación que el Tipo I y puede resistir alguna exposición al ataque de los sulfatos. Tipo III: un cemento de fraguado rápido que produce, en las primeras 24 horas, un concreto con una resistencia aproximadamente del doble que la del cemento tipo I. Este cemento produce calor de hidratación muy alto. Tipo IV: un cemento de bajo calor que produce un concreto que disipa muy lentamente el calor. Se usa en estructuras de concreto de gran tamaño. Tipo V: un cemento usado para concretos que van a estar expuestos a altas concentraciones de sulfatos. Si el tipo requerido de cemento no está disponible en el mercado, pueden adquirirse varios aditivos con los que las propiedades del cemento Tipo I se modifican para producir las características deseadas. (MacCormac y Brown, 2018, p.9).

**2.2 Densidad del concreto:** El concreto convencional de peso normal, usado en pavimentos, edificios, cimentaciones, losas entre otros, tiene una masa volumétrica (masa unitaria, densidad) que va desde los 2200 hasta 2400 kg/m<sup>3</sup>. La masa volumétrica del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado que se utilice en el concreto, así como la cantidad de aire atrapado o intencionalmente incluido y por último, debido a las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta y por consiguiente aumentándose la cantidad de agregado en general, se aumenta la masa volumétrica de la muestra. En el diseño del concreto armado (reforzado con acero), la masa volumétrica de la combinación del concreto con la armadura (refuerzo) normalmente se considera 2400 kg/m<sup>3</sup>. El peso del concreto seco es igual al peso de los ingredientes del concreto fresco menos el peso del agua de mezclado evaporable. Parte del agua de la mezcla combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando el cemento en un gel de cemento. Por otro lado, parte de esta agua permanece fuertemente retenida en los poros y en los capilares y no se evapora bajo las condiciones normales. En este mismo apartado Kosmatka afirma lo siguiente:

La cantidad del agua de mezclado que se evaporará del concreto expuesto en un medio ambiente con humedad relativa del 50% es cerca del 1/2% al 3% del peso del concreto; la cantidad real depende del contenido inicial de agua, de las características de absorción de los agregados y del tamaño y forma de los miembros del concreto. Aparte del concreto convencional, hay una gran cantidad de concretos especiales para atender a las más variadas necesidades, los cuales varían de concretos aislantes ligeros (livianos) con masa

volumétrica de 240 kg/m<sup>3</sup> (15 libras por yarda cúbica) hasta los concretos pesados con masas volumétricas de 6000 kg/m<sup>3</sup> (375 libras por yardas cúbicas), usados como contrapesos o blindajes contra radiación. (Kosmatka, 2004, p.9.).

En el caso de este proyecto se va a buscar que las mezclas de concreto que posean tanto polietileno de alta densidad como escombros triturados, una densidad de entre 1600 – 1800 kg/m<sup>3</sup>, con el fin de que sean considerados concretos de baja densidad. Se espera obtener estas cifras al utilizar materiales que poseen una masa unitaria mucho menor que un agregado convencional por lo que se espera que los valores de magnitud de densidad de la mezcla sean de igual manera menores, sin que esta disminución se vea reflejada en el desempeño a compresión de la mezcla cuando sea probada a través de la creación de cilindros de concreto siguiendo la normativa del ASTM C39.

**2.2.1 Concreto de baja densidad:** es básicamente un concreto muy similar a un concreto de peso normal, su diferencia sustancial es su peso volumétrico. Dicho peso ronda los 1350 – 1850 kg/m<sup>3</sup> y se puede lograr haciendo combinaciones de agregados de bajo peso y peso normal o completamente de agregado liviano. Se le asocia una resistencia a la compresión a los 28 días de 180 kg/cm<sup>2</sup>. Su uso se adjudica en algunas ocasiones a buscar disminuir el valor de la carga muerta en elementos que estén compuestos por concreto. (Kosmatka, 2004, p.375).

El concreto de baja densidad es un concreto relativamente más costoso que uno convencional, sin embargo, presenta características que hacen que este pequeño inconveniente económico sea aceptable. Un ejemplo de estas características es que si se utiliza en elementos estructurales las cargas por peso muerto de estos elementos se ven reducidas considerablemente al utilizar este concreto de baja densidad, lo que a la postre genera que se puedan establecer elementos de mayor tamaño. Este costo adicional de utilizar concreto menos denso se ve equiparado cuando se utiliza en paredes ya que el concreto de baja densidad es un muy buen aislante térmico por lo que en lugares con condiciones climáticas adversas, no es necesario adquirir e instalar aislantes térmicos en paredes que estén compuestas por concreto de baja densidad.

CEMEX (s.f) en su página web clasifica los concretos de baja densidad en 3 tipos los cuales se explicarán a continuación:

- Concretos sin finos: cuya ligereza se obtiene suprimiendo el agregado fino, produciéndose con ello numerosos vacíos entre las partículas del agregado grueso.

- Concretos celulares: producidos por la formación de burbujas gaseosas dentro de la masa fluida por una lechada o un mortero. También se conocen como concretos aireados, espumosos o gaseosos.
- Concretos de agregados ligeros: obtenidos mediante la utilización de agregados naturales o artificiales de muy bajo peso específico.

De igual manera respecto a la resistencia a compresión de los concreto de baja densidad Cemex afirma lo siguiente:

La resistencia a la compresión de los concretos ligeros es variable, de acuerdo al tipo específico de concreto, y varía de manera considerable de una clase a otra.

Incluso, dentro de un mismo tipo de concreto ligero, existen variaciones en resistencia que dependen de la relación agua/cemento empleado, de su peso volumétrico, de su contenido de humedad y del tipo de fabricación, donde interviene el sistema de curado de manera preponderante.

La base empleada para definir su resistencia está referida al contenido de cemento para un revenimiento determinado. El contenido agua-cemento requerido para un revenimiento dado no constituye una propiedad mecánica o física del concreto ligero, sin embargo, sí influye en su resistencia, flujo plástico y contracción.

Para el desarrollo de una consistencia determinada, los concretos ligeros requieren de un 60% más de cemento que los concretos convencionales. En algunos casos, sobre todo cuando las resistencias esperadas son del orden de 300 kg/cm<sup>2</sup>, se requiere de una cantidad de cemento similar en los concretos ligeros que en los convencionales.

Además, la sustitución del agregado ligero fino, por arena, reduce la cantidad de cemento requerida para una resistencia específica. El contenido total de agua, incluyendo la de absorción y la de mezclado, es mayor en los concretos ligeros.

Si el agregado fino se sustituye por arena, el contenido de agua se reduce de manera significativa, pero siempre en una cantidad mayor a la de los concretos convencionales. (CEMEX, s.f.).

El uso del concreto ligero es recomendado en elementos y estructuras tales como lo son el relleno de azoteas, nivelación de entrepisos, remodelación de edificios, muros de relleno y precolados ligeros de concreto, así como en sitios donde la acústica es importante.

El concreto de baja densidad destaca por su gran elasticidad y flexibilidad, gracias a lo cual no trasmite las vibraciones y reduce el agrietamiento, aun cuando tiene una excelente resistencia al impacto. En síntesis, es un concreto muy completo que bajo situaciones específicas su diferencia de precio se vuelve razonable para cumplir con ciertas necesidades constructivas.

**2.3 Resistencia:** Las resistencias en el diseño de mezclas de concreto es muy importa ya que deben cumplir ciertas especificaciones y exigencias con las cuales posterior a la realización de las pruebas y ensayos respectivos se verifica si su viabilidad de uso en las obras y elementos para la cual fue diseñado finalmente es viable. A continuación, se destacarán y detallarán los distintos tipos de resistencia presenten en un concreto, como lo son la resistencia a compresión, resistencia a tensión y resistencia a flexión.

Kosmatka en su literatura define el concepto de resistencia a la compresión y otras generalidades importantes involucradas con este concepto a través de las siguientes afirmaciones:

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados ( $\text{kg/cm}^2$ ), megapascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas ( $\text{lb/pulg}^2$  o psi) a una edad de 28 días. Un megapascal equivale a la fuerza de un newton por milímetro cuadrado ( $\text{N/mm}^2$ ) o 10.2 kilogramos-fuerza por centímetro cuadrado. Se pueden usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días. La resistencia a compresión que el concreto logra, es función de la relación agua-cemento (o relación agua-materiales cementantes), de cuanto la hidratación ha progresado, del curado, de las condiciones ambientales y de la edad del concreto. (Kosmatka, 2004, p.8).

Esta resistencia a la compresión es determinada mediante métodos de pruebas estandarizadas y utilizadas a nivel internacional como lo es la norma ASTM C39, la cual lleva por nombre “Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto” con la cual se determina dicha capacidad a compresión siguiendo sus lineamientos. Por lo general, este ensayo se pone a prueba a los 28 días de la elaboración de los especímenes cilíndricos de concreto, sin embargo, aunado a esto se llevarán a cabo pruebas de compresión uniaxial a lapsos más próximos a la elaboración de los especímenes con el fin de



identificar qué tal es la resistencia de las muestras con contenido de agregado alternativo a 7 y 14 días, y eventualmente comprobar como el concreto ganando resistencia a través del tiempo.

La normativa creada por la American Society for Testing and Materials (ASTM) y mencionada con anterioridad, es decir la ASTM C39, especifica la creación de especímenes cilíndricos con los cuales se busca evaluar resistencia a compresión de distintos diseños de mezcla con distintas proporciones de agregado grueso como lo es en primera instancia la inclusión de polietileno de alta densidad (PEAD) y, por último, la inclusión de escombros triturados. Seguir de manera minuciosa estos lineamientos de la normativa permiten tener un nivel de confianza respecto a características físicas y mecánicas de los materiales a utilizar, para posteriormente llevar la muestra a un punto de falla, punto donde se expresa la resistencia crítica a compresión del concreto diseñado según cada una de las dosificaciones establecidas con anterioridad. La norma especifica que los especímenes que se deben usar para estos ensayos deben poseer una forma de cilindros con dimensiones de diámetro de diámetro de 15 cm x 30 cm de altura. Por último, el Código Sísmico de Costa Rica (2010) realiza la siguiente afirmación respecto a la clasificación de las resistencias del concreto, “la resistencia mínima especificada del concreto a compresión debe ser de 210 kg/cm<sup>2</sup> y la resistencia máxima especificada para elementos de concreto liviano debe ser de 280 kg/cm<sup>2</sup>” (p. 8/2).”

La resistencia a flexión o también conocido como módulo de ruptura se usa en el diseño de pavimentos y otro tipo de losas sobre el terreno. La resistencia a compresión y resistencia a flexión se pueden correlacionar entre sí para facilitar la aproximación de la magnitud de la resistencia a flexión, eso sí, esto se puede llevar a cabo una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados. Kosmatka (2004) afirma que “la resistencia a flexión de concretos de peso normal es normalmente de 0.7 a 0.8 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en megapascales o de 1.99 a 2.65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetros cuadrados”.

**2.4 Curado:** Llevar a cabo un correcto proceso de curado es de vital importancia para obtener las propiedades de resistencia óptimas que se requieren en un concreto. Como se mencionó con anterioridad, uno de los objetivos de esta investigación consiste en que se deben llevar a pruebas de laboratorio distintos especímenes cilíndricos de concreto cada uno con características específicas diferentes, pero con un común denominador, evaluar capacidad a compresión. Para obtener valores de capacidad a compresión de las muestras que sean confiables y precisos es

necesario que dichos especímenes cilíndricos pasen por un correcto proceso de curado. Existe una serie de normativas que especifican como se debe llevar a cabo el proceso de curado en concretos en general y en concretos que se van a poner a prueba en laboratorio, como lo es la norma del American Concrete Institute, la ACI 308. En dicha normativa se afirma lo siguiente respecto al tiempo de curado y sus beneficios:

El período de curación es definido como el período de tiempo que comienza en la colocación, consolidación y finalización, y se extiende hasta que las propiedades de un concreto deseado se han desarrollado. Los objetivos del curado son prevenir la pérdida de humedad del concreto y, cuando sea necesario, suministrar humedad adicional y mantener una temperatura favorable del concreto durante un suficiente período de tiempo. (ACI 308R-01, 2008)

La resistencia del concreto se ve involucrada inmediatamente se ve expuesto a un ambiente húmedo ideal para el curado, el cual se habla que posee una densidad relativa de mayor al 80% y una temperatura favorable, esto con el fin de que el valor de resistencia se vea incrementado lo mayor posible. Un punto importante es, que, si dichas condiciones de humedad se ven alteradas y/o se aproximan al mínimo de 80%, y la temperatura desciende hasta los cero grados Celsius, el proceso de incremento de resistencia se ve estropeado. He aquí la importancia de llevar a cabo un correcto proceso de curado de los especímenes de concreto.

**2.5 Trabajabilidad:** es de suma importancia que a la hora de elaborar un concreto sin importar el uso que se le quiera dar tenga facilidad de colocación, consolidación y acabado en estado fresco y un grado que resista la segregación, este concepto es conocido como trabajabilidad. Lo ideal es que el concreto sea trabajable pero que los ingredientes no tengan una tendencia a separarse en ninguna circunstancia. Los métodos de colocación, tipo de consolidación y tipo de concreto son los que rigen y/o controlan el grado de la trabajabilidad que se requiere para una buena colocación del concreto. En el caso de los tipos de colocación, requieren diferentes niveles de trabajabilidad. Algunos de los factores más determinantes en la determinación de la trabajabilidad del concreto se mencionan a continuación según lo que estipula Kosmatka (2004) en su literatura sobre mezclas de concreto:

- método y la duración del transporte
- cantidad y características de los materiales cementantes
- consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento)

- tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos
- aire incluido (aire incorporado)
- cantidad de agua
- temperatura del concreto y del aire
- aditivos.

Se puede apreciar una mejora en los valores de trabajabilidad y control de segregación si se presenta una presencia de aire incorporado y una correcta y/o adecuada distribución de partículas.

Algunas de las propiedades que se ven mejoradas con una correcta trabajabilidad se describen a continuación:

- consistencia
- segregación
- movilidad
- bombeabilidad
- sangrado
- facilidad de acabado.

Se afirma que la consistencia es una gran indicador o señal de que la trabajabilidad del concreto que se está preparando es la correcta, esto de la mano de los valores de revenimiento expresados a través del asentamiento del mítico cono de Abrams, se usa como medida de la consistencia y de la humedad del concreto. La norma indica que un concreto que posea un valor de revenimiento relativamente bajo y que presenta una consistencia rígida o seca, da la señal de que tanto la colocación como la compactación del concreto van a ser algo difíciles, esto debido a que las partículas más grandes de agregados presentan una tendencia a separarse de la mezcla. Sin embargo, es importante recalcar que no se debe suponer o generalizar que una mezcla más húmeda y fluida es más trabajable, esta afirmación no es correcta en algunos casos ya que, si la mezcla es muy húmeda, pueden aparecer el fenómeno de la segregación lo que a lo postre generaría la formación de huecos conocidos popularmente como hormigueros. Es correcto afirmar que la consistencia debe ser lo más seca posible para que aún se permita la colocación empleándose los equipos de consolidación disponibles. (Kosmatka, 2004, p.3).

**2.6 Durabilidad:** En el libro de Diseño de Mezclas de Concreto de Kosmatka se establece lo siguiente referente a la durabilidad:

La durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto. (Kosmatka, 2004, p.13).

La durabilidad es una de las cualidades más importante que debe tener un concreto sin importar para que se va a utilizar, debido a que si el concreto va a conformar algún elemento que va a estar expuesto permanentemente a la intemperie como lo es una columna de un muelle, la viga de una terraza, zapata de cimentación, entre otros elementos. Es de vital importancia que dicho concreto que conforma dicho elemento posea la capacidad para resistir las inclemencias del tiempo. Como se menciona es importante tener una durabilidad óptima en un concreto, sin embargo, dicha durabilidad depende de otros factores que se detallarán a continuación.

Es importante tener en cuenta que, si no se presenta una correcta dosificación del cemento, el agregado grueso y el agregado fino, las propiedades de durabilidad se ven afectadas, todo esto se diseña de acuerdo con las características que se desean en el concreto como se especifica en la norma del ACI 211.1. De esto anterior va de la mano la utilización de materiales de calidad que garanticen las propiedades que se requieren en el concreto. Por otra parte, el tener los cuidados necesarios a la hora de ejecutar el proceso de colado es de vital importancia para obtener una durabilidad óptima. Por último, una vez colocado el concreto con los cuidados necesarios es de igual manera importante seguir de manera minuciosa el proceso de curado del concreto.

**2.7 Mezclado:** realizar la conformación de una mezcla de concreto de manera correcta es de vital importancia para obtener las propiedades y/o características según se requiera, como lo son valores de resistencia, trabajabilidad, durabilidad entre otras.

Es necesario que todo concreto se mezcle completamente hasta que tenga una consistencia uniforme donde todos sus ingredientes se presenten igualmente distribuidos formando una masa lo más homogénea posible. El orden de colocación de los ingredientes en el dispositivo de mezclado juega un papel fundamental ya que a partir de este punto se busca obtener ciertas propiedades como lo es la uniformidad y/o homogeneidad del concreto que a la postre influye directamente en el acabado de este. Sin embargo, cabe aclarar que este orden no debe ser

estrictamente el mismo siempre ya que puede variar y de igual manera el concreto que se esté conformando posea buenas propiedades y desempeños en distintos campos como la compresión. Otro punto importante consiste en que en el momento en el que se incorpora el agua existe una serie de variables que se deben ajustar de acuerdo con el proporcionamiento de agua, algunas de estas variables son por ejemplo el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora y la velocidad de la revolución (rotación). Existen una serie de factores adicionales importantes que se deben considerar y que son establecidos por CEMEX, algunos de ellos son los siguientes:

- El volumen de concreto mezclado en relación con el tamaño del tambor de la mezcladora.
- El tiempo transcurrido entre el proporcionamiento y el mezclado.
- El diseño, configuración y condiciones del tambor y de las paletas de la mezcladora.
- Si el concreto se mezcló de manera adecuada, las muestras tomadas de diferentes porciones tendrán esencialmente la misma masa volumétrica, contenido de aire, revenimiento y contenido de agregado grueso.

CEMEX en su literatura también contempla una serie de procedimientos y protocolos a acatar a la hora de realizar mezclas de concreto bajo distintas circunstancias. Es importante observar la variación del proceso bajo diversas circunstancias, así como de igual manera mantiene similitudes entre los procesos. A continuación, se detallarán algunos de estos procedimientos de mezclado en laboratorio, en obra y entre otros.

#### Mezclado concreto en laboratorio:

- Antes de iniciar el mezclado de la revoltura de prueba, la revoladora debe prepararse con una revoltura de mortero o con concreto en una proporción aproximadamente igual a la de prueba, en cantidad suficiente para cubrir las paredes internas de la revoladora.
- Previo a la operación de la revoladora, se añade el agregado grueso, parte del agua de mezclado y la solución de aditivos, en caso de que se requieran. De ser así, cuando sea factible, el aditivo puede ser disuelto en el agua de mezclado, antes de ser agregado.
- Se inicia la operación de la revoladora y mientras gira la olla se añade el agregado fino, el cemento y el agua. Los componentes pueden ser adicionados mientras la

revolvedora está detenida, si no resulte práctico realizarlo cuando se encuentra en operación.

- Después de haber cargado todos los ingredientes, el concreto se mezcla durante tres minutos, seguido de un descanso de tres minutos y se termina con otro periodo de mezclado de dos minutos. Durante el lapso de descanso, se tapa la boca de la revolvedora con un paño húmedo.
- Para eliminar la segregación, se deposita el concreto en una charola y se remezcla con una pala o un cucharón.

Mezclado de concreto premezclado industrial.

Este tipo de concreto premezclado, es el que se elabora comúnmente en las concreteeras. Las concreteeras son las que llevan a cabo el proceso de dosificación y mezclado en la planta de producción de concreto. Posteriormente dicho concreto preparado se procede a entregarse en la construcción en un estado fresco y no endurecido. Existen una serie de métodos para producir este tipo de concreto premezclado, CEMEX los detalla de la siguiente manera:

- El concreto mezclado en central concreteera se mezcla completamente en la mezcladora estacionaria. Después se entrega en un camión agitador (chompipa) operando en la velocidad de agitación o en un camión no agitador.
- El concreto se mezcla parcialmente en la mezcladora estacionaria y el mezclado se completa en el camión mezclador con el fin de obtener una mezcla consistente y lo más fresca posible.
- El concreto mezclado en el camión se mezcla completamente en el camión mezclador.

Existe una serie de disposiciones interesantes relacionadas con el transporte de concreto en chompipas, información dispuesta en normas como la ASTM C94 donde se resalta que, cuando se usa un camión mezclador o chompipa para el mezclado completo del concreto, normalmente se contemplan valores de 70 a 100 revoluciones del tambor y de las palas en la tasa de rotación designada por el fabricante como velocidad de mezclado para producir un concreto con la uniformidad deseada. Después del límite de 100 revoluciones, el proceso pasa a clasificarse de manera distinta, éstas deben ser a una tasa de rotación designada por el fabricante como velocidad de agitación.

Otro aspecto importante contemplado en la normativa mencionada es que cuando se usan camiones mezcladores, la ASTM C 94 también limita el tiempo entre mezclado y descarga completa del concreto en la obra en 1 1/2 hora, o antes que el camión haya logrado 300 revoluciones después de la adición del agua al cemento y agregados, o de introducir el cemento a los agregados, esto debido a que si se incumple con estos valores la mezcla de concreto estaría experimentando valores alterados en sus propiedades y capacidades por lo que cumplir con estos lineamientos es sumamente importante.

Algunas otras observaciones, no menos importantes, relacionadas con el transporte de concreto en vehículos tipo chompipas son las siguientes:

- Los mezcladores y agitadores se deben siempre operar dentro de los límites de volumen y velocidad de rotación designados por el fabricante del equipo.
- El procedimiento de carga recomendado es entrar a la zona de carga girando la olla al revés, es decir, en sentido de descarga, salvo que tenga concreto para aprovechar alguna precarga.
- Al recibir el material o la carga, acelera el CR hasta alcanzar el rango indicado. Verifica que el tacómetro se encuentre en un rango de 1500 y 2100 rpm (12 a 16 rpm). Al salir la carga se desacelera el trompo a mínima velocidad en ambos dispositivos (aceleramiento y rotación).
- La velocidad de agitación es normalmente de 2 a 6 rpm y la velocidad de mezclado de 6 a 18 rpm.
- El mezclado con velocidades elevadas por periodos prolongados, por ejemplo, de más de 1 hora, puede resultar en pérdida de resistencia, aumento de la temperatura, pérdida excesiva del aire incluido y pérdida acelerada del revenimiento del concreto. (CEMEX, s.f.).

**2.8 Permeabilidad:** La permeabilidad consiste en la habilidad del concreto de resistir la penetración del agua u otra sustancia cantidad de agua que migra a través del concreto, mientras que el agua está bajo presión. Por lo general el concreto usado en estructuras de retención de agua o expuestas a condiciones climáticas adversas u otras condiciones severas de exposición deben ser casi impermeables o estancas. La estanquidad o también conocida como hermeticidad es normalmente conocida como la habilidad del concreto en contener el agua sin escurrir o que posea un escape visible. Por lo general cuando se busca la creación de un concreto permeable la misma propiedad que hace el concreto menos permeable también lo hace más estanco.

La permeabilidad total del concreto al agua depende una serie de variables según lo establecido por Kosmatka en su libro Diseño de Mezclas de Concreto:

- la permeabilidad de la pasta
- la permeabilidad y la granulometría del agregado
- la calidad de la pasta y de la zona de transición del agregado
- la proporción relativa de pasta y agregado.

La disminución de la permeabilidad aumenta la resistencia al congelamiento y deshielo en el concreto, así como la resaturación, la penetración de sulfatos y de iones cloruro y otros ataques químicos. La permeabilidad de la pasta es una de las variables mencionadas y que influye directamente en la permeabilidad del concreto según lo establecido por Kosmatka. Dicha característica es particularmente importante debido a que la pasta, es decir el cemento y agua, cubre todos los componentes en el concreto. La permeabilidad está directamente influenciada por la relación agua-cemento, el grado de hidratación del cemento y el periodo del curado del concreto, todos procesos sumamente importantes para obtener las características deseadas de un concreto. Un concreto de baja permeabilidad requiere una relación agua-cemento baja y un periodo de curado adecuado, de igual manera, el aire incluido ayuda la estanquidad, pero tiene poco efecto sobre la permeabilidad, la permeabilidad si se ve considerablemente incrementada con el proceso de secado.

Kosmatka en su literatura afirma lo siguiente respecto a la permeabilidad:

La permeabilidad de una pasta de cemento endurecida, mantenida continuamente húmeda, varía de  $0.1 \times 10^{-12}$  hasta  $120 \times 10^{-12}$  cm por segundo, con relaciones agua/cemento que varían de 0.3 hasta 0.7. La permeabilidad de la roca comúnmente usada como agregado para concreto varía de aproximadamente  $1.7 \times 10^{-9}$  hasta  $3.5 \times 10^{-13}$  cm por segundo. La permeabilidad de un concreto maduro, de buena calidad es aproximadamente  $1 \times 10^{-10}$  cm por segundo. A pesar de que los valores de permeabilidad serían diferentes para otros líquidos y gases, la dependencia entre relación agua-cemento, periodo de curado y permeabilidad sería similar. (Kosmatka, 2004, p.10).

Por otra parte, el Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto el concreto permeable bajo las siguientes características:

De acuerdo con el ACI-522R, el concreto permeable es un material de estructura abierta con revenimiento cero, compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de



finos, aditivos y agua. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros interconectados, cuyo tamaño varía de 2 a 8 mm lo que permite el paso de agua. El contenido de vacíos puede variar de un 18 a un 35 por ciento, con resistencias a compresión típicas de 2.8 a 28 MPa. Su velocidad de drenaje depende del tamaño del agregado y de la densidad de la mezcla, pero generalmente varía en el rango de 81 a 730 L/min/m<sup>2</sup>.

En general, como ya se ha comentado, se emplean los mismos materiales que en el concreto convencional; es decir, materiales cementantes, agregados grueso y fino, aditivo y agua. Sin embargo, el agregado fino está limitado a pequeñas cantidades o se elimina de la composición de la mezcla. Si bien, al añadir agregado fino se incrementa la resistencia puede reducir el contenido de vacíos y por lo tanto la permeabilidad del concreto, la cual es la principal característica de estos concretos. (IMCYC, s.f.).

El agua potable es la recomendada para la elaboración del concreto permeable, sin embargo, no existe problema alguno con utilizar agua de otras fuentes o reciclada. En estos casos lo que sí es estrictamente necesario es que dicha agua debe cumplir con los lineamientos especificados en la normativa ASTM C1602, lo que implica que se debe verificar que su empleo no influya en el tiempo de fraguado, resistencia y durabilidad. Debido a que este tipo de concreto permeable presenta una ausencia o limitada cantidad de agregado fino, la cantidad de agua es un factor determinante en el concreto permeable. La resistencia del concreto depende de la adherencia entre la pasta de cemento y las partículas de agregado grueso. Una eventual escasez de agua provocaría que la de adherencia sea deficiente por lo que la resistencia se vería mermada y experimentaría una falla prematura en la superficie, por otra parte, si se presenta un exceso en el contenido de agua puede generar la obstrucción de los poros del concreto lo que resultaría en una reducción de la capacidad de filtración, es decir, la permeabilidad se vería reducida.

Como se ha mencionado, la mezcla de concreto permeable posee un revenimiento de cero, lo que la convierte en una mezcla más rígida. Otro aspecto característico es que su tiempo de fraguado es menor comparado con la del concreto convencional, por lo que en algunas ocasiones es necesario que se deban incluir aditivos retardantes de fraguado, muy especialmente si se está trabajando en climas calurosos, esto con el fin de facilitar la entrega y colocación del concreto. Para prolongar la condición fresca de la mezcla y facilitar la descarga y/o colocación se pueden emplear estabilizadores de hidratación o aditivos retardantes para alargar las condiciones frescas

del concreto. En todo caso, si se desea utilizar alguno de los aditivos mencionado es estrictamente necesario que se deba verificar que los aditivos cumplan lo especificado normas como la ASTM C494.

El Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto en su documento sobre concreto permeable enumera una serie de propiedades de diversa índole de este tipo de concreto, las cuales se mencionarán de igual manera en este documento:

- **Revenimiento:** En general, es cero; sin embargo, se han usado valores en el rango de 20 a 50 mm. La prueba del revenimiento –que se puede realizar de acuerdo con la ASTM C143– no es una prueba que se considera para fines de control de calidad, como en el caso del concreto convencional, sólo se considera como un valor de referencia, debido principalmente a que la mezcla es demasiado rígida y la medición del revenimiento en la mayoría de los casos no es aplicable.
- **Peso unitario:** El peso unitario del concreto permeable es del orden del 70% del concreto convencional. Su determinación se hace de acuerdo con lo especificado en la ASTM C1688.
- **Tiempo de fraguado:** El tiempo de fraguado se reduce en el concreto permeable, por lo que en algunos casos se deben usar aditivos químicos para permitir la adecuada colocación.
- **Porosidad:** La porosidad es una medida de los espacios vacíos entre los agregados. La condición para que un concreto sea permeable es que el contenido de vacíos sea mayor al 15%.
- **Permeabilidad:** La permeabilidad al igual que la porosidad depende de las propiedades de los materiales, la proporción de la mezcla y de los métodos de colocación y compactación. Una excesiva compactación reducirá la permeabilidad al sellar los poros necesarios para la filtración del agua.
- **La resistencia a compresión típica** es del orden de 17 MPa; sin embargo, se pueden desarrollar resistencias hasta de 28 MPa.
- **La resistencia a compresión** está influenciada por los materiales componentes, el esfuerzo de compactación y por el contenido de vacíos.
- **La resistencia a flexión** varía entre 1 y 3.8 MPa. Su determinación puede estar sujeta a importante variabilidad, por lo que es común medir la resistencia a compresión y usar relaciones empíricas para estimar su valor.

- La contracción por secado en el concreto permeable se presenta más pronto, sin embargo, es menor, del orden de la mitad de lo esperado en el concreto convencional. La menor contracción permite eliminar el número de juntas, o en todo caso, respecto a los pavimentos contruidos con concretos convencionales, colocarlas más espaciadas.

**2.9 Polietileno de alta densidad (PEAD):** consiste en un polímero termoplástico que está conformado por una serie de unidades de etileno lo cual le brinda un incremento en la densidad molecular. Sus ramificaciones moleculares son mínimas por lo que genera una gran dureza expresada en resistencia agregada. Otra de sus ventajas es que tiene una alta resistencia a las altas temperaturas. Siguiendo con el apartado de sus ventajas, el polietileno de alta densidad es un material con propiedades mecánicas muy buenas, ya que resiste impactos y presenta buen comportamiento a la tracción, tensión y compresión. Otro punto importante es que es una materia que resiste ácidos y disolventes y es altamente reciclable por su facilidad de procesado a través de diversos métodos. Se le clasifica con un Código de Identificación Plástico 2.

La compañía española Envaselia (s.f) es distribuidor de este material en distintas presentaciones y en su página web afirma lo siguiente:

Las propiedades del polietileno de alta densidad HDPE/PEAD lo hacen idóneo para fabricar objetos tan variados como tuberías, garrafas de productos de limpieza, tapones de envases de todo tipo o mesas y sillas de plástico.

Su resistencia a las altas y bajas temperaturas es lo que permite la fabricación de tuberías para fluidos y contenedores geotérmicos de HDPE/PEAD. A su vez, al ser capaz de albergar productos químicos de distinto tipo, es muy común encontrarlo en garrafas para productos de limpieza o higiene. También es frecuente encontrar envases y tapones para medicamentos y cosméticos fabricados en polietileno de alta densidad. (Envaselia, s.f).

La utilización de materiales no necesariamente orgánicos es perfectamente posible, los agregados sintéticos o incluso reciclados se pueden implementar en mezclas de concreto, es un agregado que se puede adicionar a lo mencionado. Lo que en muchas ocasiones se busca al adicionar estas partículas sintéticas es para obtener una mezcla liviana pero que cumpla estrictamente con las propiedades necesarias para que sea funcional, para que de esta forma no se comprometa con los requerimientos de capacidad de las estructuras u obras donde se va a colocar. Estos concretos conocidos popularmente como “concretos verdes” o reciclados se destacan por contener, básicamente, agregados de material reciclable (como es el caso de esta investigación), donde de

igual manera se procede mezclarse el agregado reciclado con el cemento y los agregados convencionales como la arena y la piedra. Se han realizado múltiples investigaciones y experimentos donde se utiliza una gran variedad de materiales, por ejemplo, materiales de desechos de demoliciones, papel, cartón en distintas presentaciones, ciertos porcentajes de adición de vidrio, llantas de vehículos trituradas e incluso la incorporación de baldosas de cerámica como se detalló en los antecedentes el Trabajo Final de Graduación del estudiante Castillo (2018) de la Universidad San Pedro de Perú. La idea primordial de la implementación de este tipo de agregados radica en que su implementación y/o reutilización trae beneficios en el impacto ambiental de estas partículas, ya que a partir de esto la demanda de materiales de fuentes recursos como tajos se va a ver disminuida por la implementación de alternativas de agregado. Un punto importante es al utilizar cualquier material alternativo en el diseño de mezclas de concreto, es necesario que el material tenga la calidad y/o propiedades suficientes para tener un concreto funcional, es decir, que se obtengan las resistencias necesarias, por lo que para garantizar esto es necesario realizarle las pruebas de laboratorio respectivas al material que se va a utilizar con el fin de comprobar la viabilidad de su uso, aspecto que puede ser una desventaja relacionada con razones de tiempo ya que este tipo de pruebas requieren pruebas, sin embargo, puede interpretarse como un pequeño sacrificio a cambio de un bien mayor.

### **3. Marco Metodológico**

#### **3.1 Paradigma**

La ingeniería Civil es una de las ramas de la ingeniería que más impacta el desarrollo de las naciones. Anualmente se construyen miles de estructuras y el concreto es el material principal de estas obras por lo que la utilización de materiales de calidad es de vital importancia para obtener buenos desempeños de las estructuras. Sin importar si son orgánicos o sintéticos los materiales tienen que poseer la calidad necesaria para poder colaborar con la obtención de las propiedades necesarias del concreto y que se ajusten con las demandas estructurales de la obra.

#### **3.2 Enfoque Metodológico**

La investigación de este proyecto se realizará con base en un enfoque cuantitativo, el cual parte de una idea que se delimitada, va de la mano con generación de objetivos y preguntas de investigación. Posteriormente se procede a revisar la literatura y se construye un marco teórico. De las preguntas generadas se establecen hipótesis y se determinan variables, luego se traza un plan para ponerlas a prueba. Se miden las variables en un determinado contexto, se estudian los resultados de las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones con base en los resultados. (Sampieri, 2014, p.4).

Este tipo de enfoque va de la mano con lo que se desea realizar en este Trabajo Final de Graduación, ya que como indica Sampieri, se partirá de una idea inicial que es la inclusión de partículas alternativas en el diseño de mezclas de concreto, de dicha idea se derivan una serie de objetivos e hipótesis que van trazando el camino a seguir como lo son la evaluación del desempeño a compresión con la inclusión de una serie de porcentajes de polietileno de alta densidad y escombros. Seguidamente, se determinan las pruebas y muestreos que se realizarán con base en normativas de ACI y ASTM, por lo que a partir de este último proceso se determinan las conclusiones correspondientes con base en las hipótesis de proporciones de las alternativas de agregado grueso establecidas.

#### **3.3 Método de Investigación**

El método de esta investigación corresponde al método experimental enfocado en el campo de los cuasiexperimentos, ya que se harán pruebas de laboratorio a especímenes cilíndricos designados con anterioridad y no al azar. La variable que se va a trabajar es la cantidad de contenido de agregado grueso, sustituido por una cierta proporción de polietileno de alta densidad (PEAD) y escombros de mampostería triturado con el fin de observar su efecto en la resistencia del concreto.

### 3.4 Operacionalización de Variables:

**Tabla 1**

*Variables del proyecto.*

Objetivos Específicos	Variables independientes	Herramientas por utilizar	Variables dependientes
Evaluar el desempeño del PEAD en forma de tapas de botellas (peso específico: 0.95 g/cm <sup>3</sup> ) como agregado grueso parcial en concreto estructura.	Diseño de mezcla de concreto con inclusión parcial de Polietileno de Alta Densidad.	ACI 211.1	Buena inclusión de las partículas sintéticas con los demás materiales para obtener un concreto resistente
Considerar el escombros de mampostería triturada como agregado grueso parcial en el diseño de mezclas de concreto estructural.	Inclusión de escombros triturados en el diseño de mezcla de concreto de baja densidad	ACI 211.1	Incluir el escombros y con los ajustes correspondientes obtener una mezcla con buenas propiedades.
Seguir lineamientos del ASTM (C136,	Clasificación de los agregados para	ASTM C136, ASTM C39 y ASTM C192	Obtener especímenes confiables para que

<p>C39 y C31), para caracterizar y homogenizar los agregados para posteriormente realizar los especímenes cilíndricos de cada diseño de mezcla.</p>	<p>después sean para posteriormente sean parte de los especímenes cilíndricos a testear</p>	<p>durante las pruebas se muestren resultados concisos.</p>
<p>Verificar la capacidad a compresión a los 7, 15, 28 días del diseño de mezcla con PEAD (210kg/cm<sup>2</sup>) y del diseño con escombros triturados (mínimo 210kg/cm<sup>2</sup>).</p>	<p>Estudio de los valores ASTM C39 de resistencia a compresión de cada espécimen</p>	<p>Realizar proyecciones con base en los resultados de pruebas de los especímenes cilíndricos.</p>
<p>Obtener un porcentaje de ahorro mayor al 5% de acuerdo con un diseño de mezcla de</p>	<p>Diseñar varios concretos para obtener ahorros en cuanto a agregado grueso.</p>	<p>Obtener un ahorro en cuanto a costos de materia prima para justificar viabilidad económica.</p>

concreto

convencional.

Nota: Variables dependiente e independientes con base en normativas. Fuente: Propia.

### **3.5 Población:**

En cuanto a la población se trabajará en primera instancia con una mezcla patrón convencional sin adición de partículas alternativas de agregado grueso, con la cual se comparan los resultados de las otras muestras. Por otra parte, se trabajará con 2 porcentajes de contenido de agregado grueso tanto del polietileno de alta densidad como del escombros, se realizará 2 especímenes cilíndricos por cada porcentaje de agregado grueso alternativo. Se manejarán 2 por cada porcentaje de contenido debido a que se testearán a los 7, 15 y 28 días posteriores a su elaboración.

### **3.6 Muestra:**

Se trabajará con la totalidad de los especímenes cilíndricos por diseñar, no se realizará ningún tipo de selección ya que se requiere del testeado de la totalidad de los cilindros para obtener los valores requeridos de resistencia a los 7, 15 y 28 días como lo indica la norma. Otra de las razones para utilizar la totalidad de la población consiste en que se requiere realizar las respectivas comparaciones de desempeño en cada uno de los escenarios, para de esta forma tener una justificación numérica de las diferencias que pueden existir cuando se añade cierta proporción de material en específico.

### **3.7 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

Los muestreos, creación de especímenes cilíndricos y ensayos respectivos serán realizados en el laboratorio de la Universidad Latina de Costa Rica, ubicado en San Pedro de Montes de Oca. Todo el procedimiento se llevará a cabo bajo la supervisión del personal de laboratorio debidamente calificado.



**Tabla 2***Normativa para los diferentes ensayos.*

Ensayo	Normativa
Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto	ASTM C39
Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos	ASTM C136
Método de ensayo normalizado para determinar la cantidad de material más fino que el tamiz de 75 $\mu$ m (N° 200)	ASTM C117

---

de los áridos

minerales por el  
método de lavado.

Especificación            ASTM C33-03

estándar para

Agregados para

Concreto

Práctica estándar para    ACI 211.1

el proporcionamiento  
de concreto.

Práctica estándar para    ASTM C192

hacer y curar

especímenes de

prueba de concreto en

el laboratorio.

Fuente: Propia.

### **3.7.1 Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (ASTM C39).**

La norma contempla los lineamientos para la determinación del esfuerzo a compresión de especímenes cilíndricos de concreto que no supere un peso unitario de 800 kg/m<sup>3</sup>. La determinación del esfuerzo a compresión es mediante una fórmula que divida la magnitud de la carga máxima que se obtuvo en el ensayo entre el área de la cara axial. Cabe destacar que los resultados que se obtengan pueden variar según valores de tamaño del espécimen, la conformación de la pasta que se va a utilizar, el tipo de muestreo que se vaya a realizar, las condiciones de humedad durante el curado y procedimientos de conformación de la mezcla final. (American Society for Testing and Materials (ASTM), 2021).

La máquina de ensayo debe tener la capacidad de abastecer las cargas solicitadas, de igual manera, se requiere que la máquina esté calibrada según la norma ASTM E4. Esta norma contempla que la máquina debe calibrarse al menos cada 13 meses, y se debe calibrar si se tiene duda de los resultados, es decir, de su precisión y exactitud.

Es necesario que la máquina tenga la capacidad de mantener una fuerza aplicada continua sin alteraciones durante el desarrollo del ensayo. El porcentaje de error aceptable en estas máquinas es de alrededor de un 1%.

**Figura 2**

*Máquina de compresión uniaxial.*



Fuente: propia.

La norma indica las siguientes disposiciones relacionadas con el procedimiento:

1. Empezar el ensayo tan pronto como el espécimen ha sido retirado de la cámara de curado y conservar sus condiciones de humedad.

**Figura 3**  
Tolerancia permisible.

EDAD	TOLERANCIA PERMISIBLE DE TIEMPO DE ENSAYO
24H00	± 0.5 h ó 2.1 %
3 días	2 h ó 2.8 %
7 días	6 h ó 3.6 %
28 días	20 h ó 3.0 %
90 días	2 días ó 2.2 %

Nota: Tiempo límite para ejecución de pruebas con base en curado. Fuente: ASTM C39.

2. Limpiar la superficie de los soportes superior e inferior de la prensa.
3. Colocar el espécimen en el bloque de soporte inferior.
4. Alinear los ejes del espécimen con el centro del bloque de empuje superior (soporte con cabeza movable).
5. Verificar que el indicador de c encuentre en cero.
6. Mover el bloque de soporte inferior lentamente para poner el espécimen en contacto con los platos de compresión de la prensa.
7. Aplicar carga continuamente (sin choque) con un rango de velocidad de  $0.25 \pm 0.05$  MPa/s ( $35 \pm 7$  psi/s). Para máquinas de tornillo la proporción de carga dependerá del tamaño del espécimen de prueba, módulo de elasticidad del hormigón y de la dureza de la máquina de comprobación.
8. Durante el ensayo ajuste la válvula de inyección de aceite suavemente, con el objeto de mantener constante la velocidad de aplicación de la carga durante la última mitad de la fase de carga.
9. Aplicar la carga hasta que el espécimen falle.
10. Registrar la máxima carga soportada por el espécimen. Para máquinas con indicadores de carga automáticos, no detener la aplicación de la carga hasta que disminuya más del 95 % de la máxima carga.
11. Anotar el tipo de fractura y la apariencia del concreto.
12. Calcular el esfuerzo de compresión con una aproximación de 0,1 MPa. (10 psi)
13. Si la relación L/D es 1.75 o menor, el valor calculado de esfuerzo se debe multiplicar por el factor de corrección determinado en la siguiente tabla.

#### Figura 4

Factores de corrección L/D.

L/D	FACTOR DE CORRECCIÓN
1.75	0.98
1.50	0.96
1.25	0.93
1.00	0.87

Fuente: Norma ASTM C39.

14.Registrar los datos.

A partir de los datos recolectados se determinan los datos requeridos:

- Cálculo de la resistencia a la compresión.

$$R = \frac{P}{A}$$

R= Esfuerzo a compresión (MPa).

P= Máxima carga aplicada (kN).

A= Área de cara axial espécimen (mm<sup>2</sup>).

- Cálculo densidad espécimen.

$$D = \frac{W}{V}$$

W = masa del espécimen (kg).

V= Volumen del espécimen obtenido de la media del diámetro y de la media de la longitud (m<sup>3</sup>).

- Si el volumen se obtiene pesando.

$$V = \frac{W - W_s}{\gamma_w}$$

W<sub>s</sub>= masa aparente del espécimen sumergido.

γ<sub>w</sub> = densidad del agua a 23°C = 997.5 kg/m<sup>3</sup>.

#### 3.7.2 Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos (ASTM C136).

Este ensayo se utiliza para determinar la clasificación por tamaño de materiales propuestos para ser usados como agregados en mezclas de concreto, por ejemplo. Los resultados determinan la conformidad de la distribución por tamaños de partículas con los requisitos aplicables de la

especificación requerida con el fin de proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de varios productos de agregados y de mezclas que contengan agregados. Los datos también se utilizan para desarrollar relaciones sobre datos relacionados a la porosidad y al acomodo de partículas. Un aspecto importante es que según la American Society for Testing and Materials (ASTM) “La determinación exacta de material más fino que la malla de 75  $\mu\text{m}$  (malla No.200) no puede lograrse utilizando únicamente este método de ensayo. Se debe emplear el método de ensayo de la norma ASTM C 117...”. (ASTM, 2019).

El muestreo se realiza conforme a la norma ASTM D75, en el caso del agregado fino la masa de la muestra de ensayo, después del secado, debe ser de 300 g como mínimo. En el caso del agregado grueso, el tamaño de la figura se rige bajo la siguiente figura:

**Figura 5**

*Proporción de muestra de agregado grueso.*

Tamaño nominal máximo aberturas cuadradas		Masa mínima de la muestra de Ensayo	
mm	pulg.	kg	Lb
9,5	3/8	1	2
12,5	1/2	2	4
19,0	3/4	5	11
25,0	1	10	22
37,5	1 1/2	15	33
50,0	2	20	44
63,0	2 1/2	35	77
75,0	3	60	130
90,0	3 1/2	100	220
100	4	150	330
125	5	300	660

Fuente: ASTM C136.

El procedimiento de este ensayo establecido por la American Society for Testing and Materials (ASTM) es el siguiente:

- Se debe secar la muestra de ensayo, a masa constante a una temperatura de 110 °C  $\pm$  5 °C (230 °F  $\pm$  9 °F).
- Se deben seleccionar los tamices con las aberturas adecuadas para obtener la información requerida por las especificaciones que cubren el material que va a ser ensayado. Se deben acomodar los tamices en orden de tamaño de abertura decreciente, de arriba hacia abajo y colocar la muestra en el tamiz superior. Se debe agitar los tamices manualmente o por medio de un agitador mecánico por un

período de tiempo necesario establecido por tanteo o comprobado por mediciones sobre la muestra de ensayo.

- Se debe limitar la cantidad de material retenida en un tamiz dado, de manera que todas las partículas tengan la oportunidad de ponerse en contacto, con las aberturas del tamiz un cierto número de veces durante la operación de tamizado. Para tamices con aberturas más pequeñas que 4,75 mm (malla No.4), la cantidad retenida en cualquier tamiz al completar la operación de tamizado no debe exceder 7 kg/m<sup>2</sup> del área superficial de tamizado. Para tamices con aberturas de 4,75 mm (malla No.4) y mayores, la cantidad retenida en kg no debe exceder el producto de 2,5 x (abertura del tamiz, en mm) x (área efectiva de tamizado, en m<sup>2</sup>).
- Se debe continuar tamizando el tiempo necesario de manera tal, que, después de terminar el tamizado, no más del 1 % en masa del material retenido en cualquier tamiz individual, pueda pasar ese tamiz, durante un minuto adicional de tamizado manual continuo, realizado de la siguiente manera: se debe sostener un tamiz individual, con una charola y tapa cómodamente ajustada, en una posición ligeramente inclinada en una mano. Se debe golpear el lado opuesto del tamiz bruscamente y con un movimiento ascendente contra el talón de la otra mano, a razón de 150 veces por minuto aproximadamente; se debe girar el tamiz alrededor de un sexto de revolución en intervalos de cada 25 golpes. Para determinar la suficiencia del tamizado para tamaños mayores que el tamiz de 4,75 mm (No.4), se debe limitar el material en el tamiz a una simple capa de partículas. Si el tamaño de los tamices de ensayo montados hace que el movimiento de tamizado descrito sea imposible de realizar, se deben utilizar los tamices de 203 mm (8 pulg.) de diámetro para verificar la suficiencia del tamizado.
- A menos que se utilice un agitador mecánico de mallas, se debe tamizar manualmente las partículas mayores de 75 mm (3 pulg.) determinando la abertura menor de tamiz por la cual puede pasar cada partícula. Se debe iniciar el ensayo con el tamiz de abertura más pequeña a ser utilizado. Si es necesario, hacer girar las partículas, con el fin de determinar si pasarán por una abertura en particular; sin embargo, no se deben forzar las partículas para pasar por una abertura.

- Se debe determinar la masa de cada incremento de tamaño en una balanza de acuerdo con los requisitos especificados en el apartado 5.1 lo más cercano al 0,1 % de la masa total seca de la muestra original. La masa total del material después de pasar por los tamices debe ser lo próximo o parecida a la masa original del espécimen colocada en los tamices. Si las cantidades difieren por más de un 0,3 %, basado en la masa seca de la muestra original, los resultados no deben ser usados para propósitos de aceptación.
- Si la muestra de ensayo ha sido previamente ensayada de acuerdo con el método de ensayo ASTM C 117, agregar la masa de material más fino que la malla de 75  $\mu\text{m}$  (No.200) determinada por ese método de ensayo a la masa que pasa la malla de 75  $\mu\text{m}$  (No.200) por tamizado en seco de la muestra por el presente método.
- Dependiendo de la forma de las especificaciones para el uso del material bajo ensayo, el informe debe incluir lo siguiente: El porcentaje total de material que pasa cada tamiz. El porcentaje total de material retenido en cada tamiz. El porcentaje de material retenido entre tamices consecutivos. Se debe informar los porcentajes al número entero más cercano, excepto si el porcentaje que pasa la malla de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) es menos del 10 %, en cuyo caso debe reportarse al 0,1 % más cercano. Se debe informar el módulo de finura, cuando se requiera, al 0,01 más cercano.

**3.7.3 Método de ensayo normalizado para determinar la cantidad de material más fino que el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) de los áridos minerales por el método de lavado (ASTM C117).**

El ASTM afirma lo siguiente respecto a la norma ASTM C117:

El material más fino que el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) puede ser separado de las partículas mayores de manera más eficiente y completa usando un tamizado húmedo en lugar de un tamizado seco. Por lo tanto, cuando se requieren determinaciones más exactas para los áridos finos y gruesos, este método de ensayo se emplea en la muestra con anterioridad al uso del tamizado seco de acuerdo con el Método de ensayo C 136. Los resultados de este método se incluyen en los cálculos del Método de ensayo C 136, y la cantidad total de material más fino que de 75  $\mu\text{m}$  por lavado, más el obtenido por el tamizado en seco de la muestra, son informados junto con los resultados del Método de ensayo C 136. En general, la cantidad adicional de material más fino de 75  $\mu\text{m}$  obtenido por el proceso de tamizado



seco es una pequeña cantidad. Si fuera grande, debería verificarse la eficiencia de la operación de lavado. También podría ser una indicación de la degradación de los áridos. (ASTM, 1995).

El muestreo se realizará de acuerdo con el ASTM D75. La misma muestra de ensayo deberá realizársele su respectivo análisis granulométrico, de acuerdo con la norma ASTM C136.

El procedimiento dispuesto por el ASTM para este ensayo a través del método de lavado por agua es el siguiente:

- Secar la muestra de ensayo hasta obtener una masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ). Se determina la masa aproximándola al 0,1% más cercano de la masa de la muestra de ensayo.
- Si las especificaciones aplicables requieren que la cantidad que pasa por el tamiz de  $75 \mu\text{m}$  (Nº 200) sea determinada sobre una porción de la muestra que pasa por un tamiz menor que el tamaño máximo nominal de los áridos, separe la muestra en el tamiz designado y se determina la masa del material que pasa ese tamiz al 0,1% de la masa de esta porción de la muestra de ensayo. Use esta masa como masa seca original de la muestra de ensayo en 10.1.
- Después de secar y determinar la masa, se coloca la muestra de ensayo en el recipiente y se agrega el agua suficiente para cubrirla. No deben agregarse detergentes, agentes dispersantes u otras sustancias al agua. Agite la muestra vigorosamente hasta obtener la separación completa de todas las partículas más finas que el tamiz de  $75 \mu\text{m}$  (Nº 200) de las partículas más gruesas, y trate de llevar el material fino a suspensión. De inmediato, se vierte el agua de lavado que contiene las partículas suspendidas y sólidos disueltos sobre el juego de tamices, con el tamiz más grueso en la parte superior. Trate de evitar al máximo la decantación de las partículas mayores de la muestra.
- Agregue por segunda vez agua a la muestra del recipiente, agite y vierta como lo hizo anteriormente. Repita esta operación hasta que el agua de lavado esté clara.
- Devuelva todo el material retenido por lavado mediante un chorro de agua en el juego de tamices. Seque los áridos lavados hasta masa constante a una temperatura

de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  ( $230 \pm 9^{\circ}\text{F}$ ) y determine la masa al 0,1% más cercano de la masa original de la muestra.

- Por último, se calcula la cantidad de material que pasa por un tamiz de  $75 \mu\text{m}$  (Nº 200) por lavado, a través de la siguiente fórmula:

$$A = \left[ \frac{B - C}{B} \right] * 100$$

A = porcentaje de material más fino que el tamiz de  $75 \mu\text{m}$  (Nº 200) por lavado.

B = masa seca original de la muestra (g).

C = masa seca de la muestra después del lavado (g).

### **3.7.4 Especificación estándar para Agregados para Concreto (ASTM C33).**

El ASTM en su norma C33 afirma lo siguiente sobre los lineamientos respectivos de muestreo de agregados.

Esta especificación define los requerimientos de granulometría y la calidad de los agregados finos y gruesos (diferente de los agregados livianos o pesados) para usarse en el concreto. Esta especificación es para usarse por un Contratista, proveedor de concreto, u otro comprador, como parte de un documento de compra que describa los materiales a ser usados. Esta especificación es también para ser usada en la especificación de proyectos para definir la calidad de los agregados, tamaño nominal máximo de los agregados y otros requerimientos de granulometría. Aquellos responsables de seleccionar las proporciones para mezclas de concreto tendrán la responsabilidad de determinar las proporciones de los agregados finos y gruesos y la adición de mezclas de tamaños de agregados, si ello es requerido o aprobado. (ASTM, 2008).

El proveedor directo de agregados deberá de incluir la siguiente información en la orden de compra. Se deberá de incluir en los documentos del proyecto la información para describir los agregados a utilizarse en el proyecto.

- Referencia a esta Especificación, como C 33-\_\_\_\_\_.
- Si la orden es de agregado fino o de grueso.
- Cantidad, en toneladas métricas o toneladas.

Si se trata de agregado fino es necesario que se especifique:

- Si aplica la restricción de Materiales Reactivos.

- En el caso de la expansión por sulfato se especifica cual sal será usada. Si ninguna es establecida, tanto el Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio podrá usarse.
- El límite apropiado para el material más fino que 75  $\mu\text{m}$  (Tamiz No. 200). Si no es establecido, el límite de 3% aplicará.
- El límite apropiado que aplica con respecto a carbón y lignito. Si no es establecido, el límite de 1.0% deberá de aplicarse.

### Figura 6

*Límites para substancia deletéreas en agregados finos.*

Item	Porcentaje Masa de la Muestra Total, máx.
Terrones de Arcilla y Partículas Quebradizas	3.0
Material más fino de 75 $\mu\text{m}$ (Tamiz No. 200)	
Concreto sujeto a Abrasión	3.0 <sup>A</sup>
Todos los otros Concretos	5.0 <sup>A</sup>
Carbón y Lignito:	
Donde la apariencia de la Superficie del Concreto es importante	0.5
Todos los otros Concretos	1.0

Fuente: ASTM C33.

Si se trata de agregado grueso es necesario que se especifique:

- El tamaño nominal máximo, basado en el espesor de la sección o espaciamento de las barras de refuerzo u otro criterio. En lugar de establecer el tamaño máximo nominal, quien especifica designará un número de tamaño apropiado. La designación de un número de tamaño para indicar un tamaño nominal no restringirá la responsabilidad personal en seleccionar las proporciones de combinación de dos o más granulometrías de agregados para obtener una granulometría deseada, y el tamaño máximo nominal indicado por el número de tamaño no es excedido.
- La designación de la clase.
- Si aplica la restricción sobre materiales reactivos.
- En el caso de la prueba de expansión por sulfatos, se debe especificar cuál es la sal utilizada. Si no es establecido, se deberá de utilizar sulfato de sodio o sulfato de magnesio.
- La persona responsable para seleccionar las proporciones del concreto si este es diferente al productor de concreto.

**Figura 7**

*Límites para sustancias deletéreas y requerimiento en las propiedades físicas de los agregados gruesos para concreto.*

DESIGNACIÓN DE CLASE	TIPO DE LOCALIZACIÓN DEL CONCRETO DE CONSTRUCCIÓN	MÁXIMO PERMISIBLE (%)						
		Terrones de arcilla y partículas quebradizas	Chert <sup>c</sup> (menor del 2.4% sp gr SSD)	Suma de terrones de arcilla, Partículas quebradizas y Chert (menor de 2.4% sp gr SSD) <sup>c</sup>	Material más fino de 75 µm (Tamiz No. 200)	Carbón y Lignito	Abrasión <sup>A</sup>	Expansión por sulfato de Magnesio (5 ciclos) <sup>B</sup>
		<b>Región de Temperización Severa</b>						
1S	Fundaciones, columnas, y vigas no expuestas al clima, lozas interiores cubiertas	10.0	...	...	1.0 <sup>D</sup>	1.0	50	...
2S	Pisos interiores sin cubierta	5.0	....	...	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	...
3S	Paredes de fundación, de retención, abatimiento, columnas, y vigas expuestas a temperización.	5.0	5.0	7.0	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	18
4S	Pavimentos, puentes, calles, curvas, paredes, patios, pisos de garage, pisos expuestos, estructuras vistas, sujetas a temperización frecuente	3.0	5.0	5.0	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	18
5S	Concreto Arquitectural expuesto	2.0	3.0	3.0	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	18
		<b>Región de Temperización Moderada</b>						
1M	Fundaciones, columnas, y vigas no expuestas al clima, lozas interiores cubiertas	2.0	...	...	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	...
2M	Pisos interiores sin cubierta	10.0	...	...	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	...
3M	Paredes de fundación, de retención, abatimiento, columnas, y vigas expuestas a temperización.	5.0	8.0	10.0	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	18
4M	Pavimentos, puentes, calles, curvas, paredes, patios, pisos de garage, pisos expuestos, estructuras vistas, sujetas a temperización frecuente	5.0	5.0	7.0	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	18
5M	Concreto Arquitectural expuesto	3.0	3.0	5.0	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	18
		<b>Región de Temperización Despreciable</b>						
1N	Lozas sujetas a tráfico abrasivo, puentes, pisos, pavimentos	5.0	...	...	1.0 <sup>D</sup>	0.5	50	...
2N	Otras clases de concreto	10.0	...	...	1.0 <sup>D</sup>	1.0	50	...

Fuente: ASTM C33.

### 3.7.5 Práctica estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto (ACI 211.1).

La obtención del correcto proporcionamiento de los distintos componentes del concreto es de vital importancia para obtener un concreto con las características específicas que se requieren según corresponda. Este proporcionamiento se hace con base en el ACI 211.1 y en dicha norma se afirma lo siguiente.

Esta Práctica de la Norma describe métodos para proporciones seleccionando para hormigón de cemento hidráulico hecho con y sin otros materiales del cementicios y químico mezclas. Este hormigón consiste en normal y/o highdensity agregados (como distinguió del peso ligero agregados) con una trabajabilidad conveniente para el lanzamiento-en-lugar usual construcción (como distinguió de las mezclas especiales para los productos concretos fabrican). También incluido es una descripción de métodos usados por seleccionar proporciones para masa hormigón. Los cementos hidráulicos se refirieron a en esta Norma La práctica es los portland consolidan (ASTM C 150) y mezclado cemento (ASTM C 595). La Norma no incluye proporcionando con humo de sílice condensado. (ACI 211.1, 1997).

### **3.7.6 Práctica estándar para hacer y curar especímenes de prueba de concreto en el laboratorio (ASTM C192).**

Esta norma detalla todos los aspectos pertinentes para la elaboración de especímenes de concreto para ser preparados y testeados en el laboratorio, bajo un control de procesos, materiales entre otras cosas. En el caso de este proyecto se utilizaron moldes de hierro con forma cilíndrica con dimensiones de 150mm x 300mm según especificación del ASTM C470/470M, donde a dichos moldes se les aplica un desmoldante para colaborar con el desprendimiento de los especímenes. Para la compactación se utilizará una varilla de 5/8" de diámetro y 24" de largo. Cabe destacar que se deben realizar la misma cantidad de especímenes por cada día de prueba y pueden ser elaborados y fallados cualquier día.

El proceso de curado inicia cuando una vez conformados los elementos se procede a colocarles una manta de un material no absorbente que permita evitar la pérdida de humedad. Una vez retirados los moldes 24 horas posterior a la elaboración se debe preservar su humedad ingresando los especímenes al método de curado seleccionado, en este caso el cuarto húmedo con una temperatura  $23.0 \pm 2.0$  °C y condiciones de humedad especificadas en el ASTM C511.

### **3.8 Técnicas e instrumentos para el procesamiento y análisis de los datos**

Se utilizará la herramienta de Microsoft Excel para ingresar tanto los datos preliminares como los datos resultantes de las pruebas, así como las características de cada espécimen, esto con el fin de utilizar los recursos de dicha herramienta para crear tablas y gráficos que permita realizar un análisis de los resultados obtenidos de una manera más eficaz.

## Capítulo III.

### 4. Resultados y Análisis de Resultados

#### 4.1 Resultados.

Para la conformación del concreto, es muy importante la selección de los materiales que se requieren por lo que se seleccionó cemento y agregados con las siguientes características técnicas brindadas por las respectivas fichas técnicas.

El agregado grueso es originario de cerro Minas, consiste en piedra quebrada con un tamaño máximo de agregado de 12.5mm, el cual presenta un peso unitario de 1200 kg/m<sup>3</sup>, un peso específico de 2.50 y un porcentaje de absorción de 3.3%.

En el caso del agregado fino es originario de Guápiles, consiste en arena lavada de río con un tamaño máximo de agregado de 6.0 mm y un módulo de finura de 2.47. Dicha arena posee un peso unitario de 1252 kg/m<sup>3</sup>, un peso específico de 2.53 y un porcentaje de absorción de 2.05%.

Por su parte el cemento corresponde a cemento hidráulico de uso general de tipo MM/B (P-C)-28 de la casa cementera Holcim. Dicho material posee un peso específico de 2.896, un peso unitario de 1000 kg/m<sup>3</sup> y un contenido de aire de un 12% máximo, esto según las disposiciones del ASTM C185.

#### 4.1.1 Diseño de mezcla Patrón

El diseño de mezcla patrón se supone para ser un concreto estructural de 210 kg/cm<sup>2</sup> destinado a colocarse en una columna reforzada. A partir de las características detalladas de los materiales junto con las especificaciones citadas al inicio de este párrafo se establecen los siguientes requerimientos según el ACI 211.1:

- Revenimiento: entre 10cm y 2cm.
- Tamaño Máximo de Agregado: 12.5mm
- Agua de Mezclado: 215kg/m<sup>3</sup>.
- % de aire atrapado: 2.5%
- Relación Agua / Cemento: 0.684.
- Contenido de Cemento: 314.32 kg / 0.108 m<sup>3</sup>.
- Contenido Agregado Grueso: 700 kg / 0.28 m<sup>3</sup>.
- Contenido Agregado Fino: 942 kg / 0.372 m<sup>3</sup>.

Las proporciones anteriores corresponden para 1m<sup>3</sup> de concreto, sin embargo, lo que se requirieron para el diseño de mezcla patrón son 0.033m<sup>3</sup>, es decir el equivalente a 6 moldes de 150mm x 300mm como lo especifica el ASTM C39. El cálculo se obtuvo de la siguiente manera:

$$V_{cil} = \pi * r^2 * h$$

$$V_{cil} = \pi * (0.075)^2 * (0.3)$$

$$V_{cil} = 0.0053014376 \text{ m}^3 \approx 0.0055 \text{ m}^3.$$

$$V_{mp} = 6 * V_{cil}$$

$$V_{mp} = 0.033 \text{ m}^3.$$

**Tabla 3**

*Materiales requeridos para elaboración de mezcla patrón.*

Material	Peso (kg)
Cemento	10.5
Agua	9
A. F	31.1
A. G	23.1

Fuente: Propia.

#### **4.1.2 Elaboración de especímenes Mezcla Patrón**

El diseño de mezcla comentado presentó un revenimiento de 8cm, lo cual significó un incremento en la facilidad de elaboración de especímenes lo que a su vez contribuyó a disminuir los vacíos presentes en la superficie del elemento, es decir, la porosidad.

Este fue el segundo diseño elaborado, los primeros en elaborarse fueron los diseños con contenido de PEAD, cuando se elaboraron dichos diseños se obtuvo un desperdicio de aproximadamente 2 cilindros, por lo que para este diseño de mezcla patrón se decidió realizar un ajuste en los cálculos volumétricos para disminuir dicho desperdicio. Posterior a realizar el ajuste y al realizar la mezcla de concreto, no fue suficiente para completar los 6 especímenes requeridos, se logró realizar 5 especímenes completos. Este es un error meramente humano, y se debió a la intención de buscar la optimización volumétrica de concreto para disminuir el desperdicio de material.

El diseño de mezcla patrón se elaboró el 9 de noviembre del 2022 en el laboratorio de materiales de la Universidad Latina de Costa Rica en el campus San Pedro. El día 10 de noviembre fueron ingresados en cuarto húmedo para iniciar su respectivo proceso de curado.

**Figura 8**

*Mezcla Patrón recién retirada de la batidora.*



Fuente: Propia.

**Figura 9**

*Revenimiento 8cm mezcla patrón.*



Fuente: Propia.



**Figura 10**

*Especímenes Mezcla Patrón a los 7 días de edad de curado.*



Fuente: Propia.

#### 4.1.3 Pruebas a especímenes Mezcla Patrón a los 7 días de edad de curado

El 16 de noviembre del 2022, a los 7 días de curado, se procedieron a realizar los primeros ensayos de compresión uniaxial según el ASTM C39 y se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 4**

Resultados derivados de mediciones y pruebas a los 7 días de curado.

	Ø sup	Ø med	Ø inf	W	Ø prom	Fcomp	F prom
PAT	15.45cm	15.5cm	15.45cm	12.197kg	15.47cm	18378kg	18378kg
PAT	-	-	-	-	-	-	-

Nota: mediciones corresponden a diámetros superior, intermedio e inferior del elemento, así como la capacidad soportada en la máquina de compresión. Fuente: Propia.

El cálculo de la capacidad a compresión se llevó a cabo tomando el valor de compresión en kilogramos brindado por la máquina en compresión al momento de llevar el elemento al fallo, dicho valor se divide entre el valor de área de la cara del elemento que recibe la carga. Posteriormente este valor se divide entre un factor de crecimiento a los 28 días de 0.65 donde dicha operación nos entrega el valor de la capacidad en compresión del espécimen en “kg/cm<sup>2</sup>”. Posteriormente para tener el valor en unidades de MPa, el resultado final se multiplica por un factor de conversión de 0.0981. El proceso mencionado se repetirá en cada día de prueba de cada diseño de mezcla con el fin de estudiar el crecimiento de la resistencia.

$$A_{cara} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara} = \pi * (7.735)^2$$

$$A_{cara} = 188 \text{ cm}^2$$

$$f'c = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'c = \frac{18378 \text{ kg}}{188 \text{ cm}^2} \div 0.65$$

$$f'c = 150.4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$150.4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 0.0981 = 14.75 \text{ MPa}$$

### Figura 11

*Elemento mezcla Patrón listo para ser ensayado.*



Fuente: Propia.

No se experimentaron fallas destructivas ni fallas verticales notables que comprometan el elemento, se mantuvo completo incluso posterior a ser llevado al fallo. Se presentó únicamente un leve agrietamiento superficial en la parte superior, pero sin un patrón de agrietamiento.

**Figura 12**

*Leve agrietamiento posterior a su respectivo fallo.*



Fuente: Propia.

**Figura 13**

*Mezcla Patrón 7 días edad de curado posterior a ser fallado.*



Fuente: Propia.

#### **4.1.4 Pruebas a especímenes Mezcla Patrón a los 15 días de edad de curado**

El 23 de noviembre del 2022 al cumplir 15 días de curado se realizaron las segundas pruebas de laboratorio previstas con el fin de documentar el crecimiento de la resistencia y demás fenómenos asociados al proceso de maduración de los elementos. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 5***Resultados derivados de mediciones y pruebas a los 15 días de curado.*

	Ø sup	Ø med	Ø inf	W	Ø prom	Fcomp	F prom
PAT	15.55cm	15.5cm	15.45cm	12.227kg	15.5cm	23262kg	22652kg
PAT	15.5cm	15.45cm	15.5cm	12.260kg	15.488cm	22041kg	

Nota: mediciones corresponden a diámetros superior, intermedio e inferior del elemento, así como la capacidad soportada en la máquina de compresión. Fuente: Propia.

$$A_{cara} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara} = \pi * (7.747)^2$$

$$A_{cara} = 188.54 \text{ cm}^2$$

$$f'c = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'c = \frac{22652 \text{ kg}}{188.54 \text{ cm}^2} \div 0.65$$

$$f'c = 184.84 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$184.84 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 0.0981 = 18.13 \text{ MPa}$$

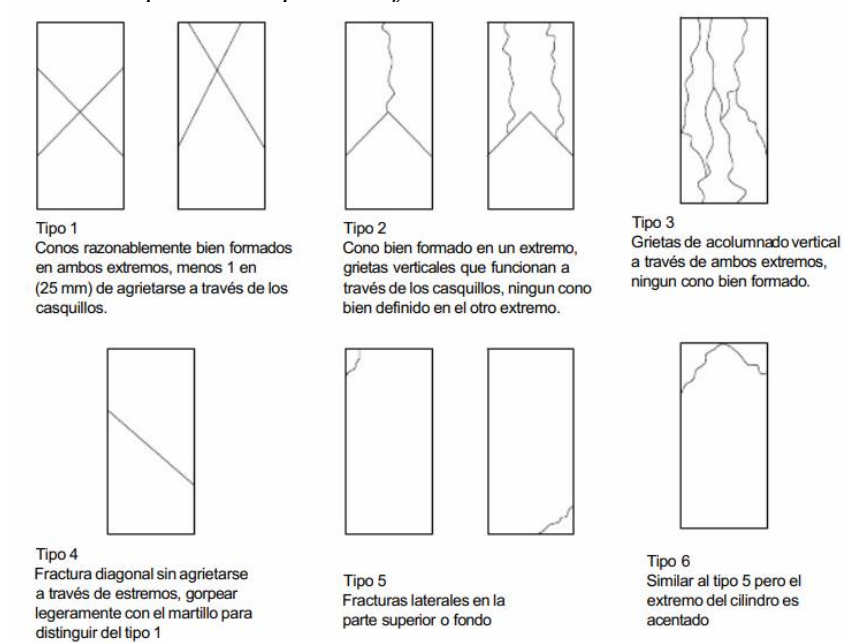
A diferencia de las pruebas realizadas a los 7 días, en este caso uno de los dos elementos si experimentaron un tipo de falla más pronunciada. Según la clasificación establecida en la norma ASTM C39, el elemento experimentó una falla tipo 5, es decir, una fractura lateral en la parte superior.

El otro elemento no experimentó falla destructiva al igual que como sucedió con los especímenes con 7 días de curado. De igual manera, lo único presentado fueron unas leves grietas superficiales las cuales se presentaron al momento de llevarlo al fallo.

Se apreciaron incrementos en los valores de masa de los elementos, esto debido a la absorción de agua que se tuvo durante esta semana adicional en la cámara de curado, lo que a la postre se vio reflejado en un incremento de la capacidad a la compresión. Se registraron incrementos de más de 4000 kilogramos de acuerdo con los valores promedios de las pruebas a los 7 y 15 días.

## Figura 14

Diagrama esquemático de los patrones típicos de fractura.



Fuente: ASTM C39.

## Figura 15

Falla tipo 5 representada posterior a llevar al fallo al elemento.



Fuente: Propia.

## Figura 16

Elementos mezcla patrón con 15 días de curado.



Fuente: Propia.

### 4.1.5 Pruebas a especímenes Mezcla Patrón a los 28 días de edad de curado

El 7 de diciembre del 2022 al cumplir 28 días de curado los datos obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 6**

*Resultados derivados de mediciones y pruebas a los 28 días de curado.*

	Ø sup	Ø med	Ø inf	W	Ø prom	Fcomp	F prom
PAT	15.45cm	15.5cm	15.45cm	12.234kg	15.467cm	26819kg	28017kg
PAT	15.45cm	15.45cm	15.45cm	12.170kg	15.45cm	29216kg	

Nota: mediciones corresponden a diámetros superior, intermedio e inferior del elemento, así como la capacidad soportada en la máquina de compresión. Fuente: Propia.

$$A_{cara} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara} = \pi * (7.73)^2$$

$$A_{cara} = 187.72 \text{ cm}^2$$

$$f'c = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'c = \frac{28017 \text{ kg}}{187.72 \text{ cm}^2} \div 0.65$$

$$f'c = 230 \frac{kg}{cm^2}$$

$$230 \frac{kg}{cm^2} * 0.0981 = 22.5 MPa$$

Al cumplir los 28 días los elementos de mezcla Patrón posterior a ser puestos a prueba en la máquina de compresión experimentaron fallas de tipo 5 en la parte superior de ambos especímenes. Se evidenciaron crecimientos en la capacidad a compresión en comparación con las pruebas anteriores, justo como se esperaba.

En el elemento número dos se evidenció un agrietamiento superficial pronunciado y uniforme, el cual es producto de una carga aplicada de manera uniforme.

**Figura 17**

*Agrietamiento superficial uniforme.*



Fuente: Propia.

**Figura 18**

*Falla tipo 5 en la parte superior de elemento 1.*



Fuente: Propia.

**Figura 19**

*Elementos con falla tipo 5 posterior a ser retirados de la máquina de compresión.*



Fuente: Propia.



#### 4.2 Diseño de Mezcla Polietileno de Alta Densidad (PEAD).

Para el caso del proporcionamiento de la mezcla de concreto con un porcentaje de contenido de dicho polímero, se plantea realizar el cálculo de materiales requeridos con base en los cálculos realizados para el diseño de mezcla patrón, esto ajustándose a los parámetros de volumen requerido, el cual aumenta, así como las cantidades requeridas de agregado grueso alternativo requerido.

$$V_{mp} = 12 * V_{cil}$$

$$V_{mp} = 0.072 \text{ m}^3.$$

**Tabla 7**

*Cantidad de material requerido para elaboración de Mezcla Patrón.*

Material	Peso (kg)
Cemento	23
Agua	16
A. F	68
A. G	51

Fuente: Propia.

Se van a realizar 6 especímenes con 15% de sustitución de agregado grueso por PEAD, por lo que a dicha mezcla se le adicionarán las siguientes proporciones:

**Tabla 8**

*Cantidad de material requerido para elaboración de Mezcla PEAD 15%.*

Material	Peso (kg)
Cemento	12
Agua	9
A. F	34
A. G	22
PEAD	4

Fuente: Propia.

**Figura 20**

*Materiales para especímenes 15% PEAD.*



Fuente: Propia.

De igual manera se van a realizar 6 especímenes con 25% de sustitución de agregado grueso por PEAD con las siguientes cantidades:

**Tabla 9**

*Materiales requeridos para elaboración de Mezcla PEAD 25%.*

Material	Peso (kg)
Cemento	12
Agua	8
A. F	34
A. G	19.5
PEAD	6.5

Fuente: Propia.

**Figura 21**  
*Materiales para especímenes 25%.*



Fuente: Propia.

#### **4.2.1 Elaboración de especímenes Mezcla PEAD**

Para la mezcla de 25% de contenido PEAD la cual fue la primera en realizarse, se obtuvo un revenimiento de 3cm lo que dificultó un poco la elaboración de los especímenes, lo que se vio reflejado en una excesiva porosidad, esto debido a la falta de agua en la mezcla.

En cuanto a los elementos con 15% de contenido de PEAD, se obtuvo un revenimiento de 5cm, esto debido a que al experimentar dificultades con la mezcla de 25% se tomó la decisión de incluir 1 kg más de agua para incrementar este valor de revenimiento y contribuir con la elaboración de los cilindros. Con este cambio en la cantidad de agua se obtuvo elementos más uniformes y una porosidad leve la cual es normal ya que no se utilizó vibrador mecánico ni alguna otra herramienta que facilite el acomodo del material y eliminar los vacíos.

Ambos diseños de mezcla; 15% y 25%, se llevaron a cabo el 8 de noviembre del 2022 en el laboratorio de materiales del campus San Pedro, e inmediatamente 24 horas después fueron ingresados en cámara húmeda para iniciar su respectivo proceso de curado.

**Figura 22**

*Especímenes con sustitución de agregado grueso por PEAD.*



Fuente: Propia.

**Figura 23**

*Especímenes PEAD en cámara de curado.*



Fuente: Propia.

#### **4.2.2 Pruebas a especímenes PEAD a los 7 días de edad de curado**

A los 7 días de curado se procedieron a realizar los primeros ensayos de compresión uniaxial según el ASTM C39. El día 15 de noviembre del 2022 se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 10**

*Resultados derivados de mediciones y pruebas a los 7 días de curado.*

	$\varnothing$ sup	$\varnothing$ med	$\varnothing$ inf	W	$\varnothing$ prom	Fcomp	F prom
15%	15.4 cm	15.4 cm	15.4 cm	9.850 kg	15.4 cm	6314 kg	6250 kg
15%	15.5 cm	15.4 cm	15.5 cm	10.017kg	15.47 cm	6184 kg	

25%	15.5 cm	15.5 cm	15.4 cm	8.635 kg	15.47 cm	3552 kg	3416 kg
25%	15.5 cm	15.5 cm	15.5 cm	8.535 kg	15.5 cm	3280 kg	

Nota: mediciones corresponden a diámetros superior, intermedio e inferior del elemento, así como la capacidad soportada en la máquina de compresión. Fuente: Propia.

$$A_{cara\ 15\%} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara\ 15\%} = \pi * (7.72)^2$$

$$A_{cara\ 15\%} = 187.23\ cm^2$$

$$f'c_{15\%} = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'c_{15\%} = \frac{6250\ kg}{187.23\ cm^2} \div 0.65$$

$$f'c_{15\%} = 51.35\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$51.35\ \frac{kg}{cm^2} * 0.0981 = 5.04\ MPa$$

$$A_{cara\ 25\%} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara\ 25\%} = \pi * (7.74)^2$$

$$A_{cara\ 25\%} = 188.2\ cm^2$$

$$f'c_{25\%} = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'c_{25\%} = \frac{3416\ kg}{188.2\ cm^2} \div 0.65$$

$$f'c_{25\%} = 28\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$28\ \frac{kg}{cm^2} * 0.0981 = 2.75\ MPa$$

## Figura 24

*Especímenes 15% y 25% listos para ser ensayados.*



Fuente: Propia.

Cabe recalcar que, aunque las muestras se llevaron al fallo a través de la máquina de compresión, en ninguno de los 4 especímenes con contenido de PEAD se presentó falla destructiva. Lo único visible que se pudo apreciar es la presencia de unas grietas milimétricas en el caso de los especímenes de 15% de contenido.

En el caso de los especímenes de 25% de sustitución de agregado grueso se presentó un comportamiento inesperado, al poseer un alto contenido de polímero la muestra experimentó un comportamiento flexible ante la fuerza de compresión aplicada, esta es quizás una de las razones por las cuales la resistencia de la muestra se vio disminuida en comparación con las muestras de 15% de contenido. Otro aspecto por tomar en cuenta es que con la mezcla de 25% de sustitución se obtuvo un revenimiento de 3cm el cual se encuentra dentro de los parámetros establecidos por el ACI (2cm – 10cm), sin embargo, debido a una postura conservadora no se le decidió agregar más agua para incrementar esta cifra lo que a la postre se vio reflejado en la trabajabilidad de la mezcla y en su uniformidad como espécimen cilíndrico, es decir, presentó una porosidad excesiva.

**Figura 25**

*Elemento con 15% de sustitución posterior al fallo.*



Fuente: Propia.

**Figura 26**

*Elemento con 25% de PEAD experimentando comportamiento flexible.*



Fuente: Propia.

**Figura 27**

Grieta milimétrica presentada posterior a ser llevado al fallo.



Fuente: Propia.

#### 4.2.3 Pruebas a especímenes PEAD a los 15 días de edad de curado

A los 15 días de curado se procedieron a realizar los segundos ensayos de compresión uniaxial según el ASTM C39. El día 22 de noviembre del 2022 se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 11**

*Resultados derivados de mediciones y pruebas a los 15 días de curado.*

	Ø sup	Ø med	Ø inf	W	Ø prom	Fcomp	F prom
15%	15.45 cm	15.45 cm	15.45 cm	10.072kg	15.45 cm	7449 kg	7741 kg
15%	15.45 cm	15.45 cm	15.45 cm	10.065kg	15.45 cm	8032 kg	
25%	15.5 cm	15.45 cm	15.45 cm	9.041 kg	15.47 cm	5213 kg	5386 kg
25%	15.6 cm	15.6 cm	15.55 cm	9.064 kg	15.58 cm	5558 kg	

Nota: mediciones corresponden a diámetros superior, intermedio e inferior del elemento, así como la capacidad soportada en la máquina de compresión. Fuente: Propia.

$$A_{cara\ 15\%} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara\ 15\%} = \pi * (7.725)^2$$

$$A_{cara\ 15\%} = 187.47\ cm^2$$

$$f'c_{15\%} = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'c_{15\%} = \frac{7741\ kg}{187.47\ cm^2} \div 0.65$$



$$f'_{c_{15\%}} = 63.52 \frac{kg}{cm^2}$$

$$63.52 \frac{kg}{cm^2} * 0.0981 = 6.23 MPa$$

$$A_{cara\ 25\%} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara\ 25\%} = \pi * (7.762)^2$$

$$A_{cara\ 25\%} = 189.27 cm^2$$

$$f'_{c_{25\%}} = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'_{c_{25\%}} = \frac{5386 kg}{189.27 cm^2} \div 0.65$$

$$f'_{c_{25\%}} = 43.8 \frac{kg}{cm^2}$$

$$43.8 \frac{kg}{cm^2} * 0.0981 = 4.3 MPa$$

Al igual que como fue la tendencia en los especímenes con 7 días de edad de curado, ninguno de los 4 especímenes experimentó falla destructiva como tal, sin embargo, se experimentó una leve falla tipo 5 en uno de los 2 especímenes con 15% de PEAD, y en el otro, se experimentaron unas leves grietas milimétricas en la parte superior del elemento.

En el caso de los especímenes con 25% de sustitución se experimentó una situación similar a la documentada a los 7 días de curado, los elementos no experimentaron falla destructiva, sin embargo, mostraron un comportamiento flexible al experimentar la falla, esto debido al alto contenido de PEAD que propició la amortiguación de la carga aplicada por la máquina de compresión.

Se evidenciaron crecimientos tanto en la masa de los elementos como en los valores de compresión resistidos en comparación con los datos recolectados a los 7 días de curado. Esto se debe al curado de los elementos, ya que al poseer más días en la cámara húmeda ganó masa por el agua que absorbió el elemento, lo que a la postre se vio reflejado en una elevación de la resistencia a la carga axial aplicada sobre los elementos.

**Figura 28**

*Agrietamiento vertical en elemento con 15% de PEAD.*



Fuente: Propia.

**Figura 29**

*Falla leve de tipo 5 experimentada por elemento con 15% de contenido PEAD.*



Fuente: Propia.

**Figura 30**

*Especímenes sin falla destructiva posterior al fallo.*



Fuente: Propia.

#### 4.2.4 Pruebas a especímenes PEAD a los 28 días de edad de curado

A los 28 días de curado se procedieron a realizar los terceros ensayos de compresión uniaxial según el ASTM C39. El día 06 de diciembre del 2022 se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 12**

*Resultados derivados de mediciones y pruebas a los 28 días de curado.*

	Ø sup	Ø med	Ø inf	W	Ø prom	Fcomp	F prom
15%	15.5 cm	15.5 cm	15.4 cm	9839 kg	15.467cm	8608 kg	8715 kg
15%	15.5 cm	15.45 cm	15.45 cm	9750 kg	15.467cm	8822 kg	
25%	15.5 cm	15.5 cm	15.5 cm	9456 kg	15.5cm	5261 kg	4883 kg
25%	15.4 cm	15.4 cm	15.4 cm	8843 kg	15.4cm	4505 kg	

Nota: mediciones corresponden a diámetros superior, intermedio e inferior del elemento, así como la capacidad soportada en la máquina de compresión. Fuente: Propia.

$$A_{cara\ 15\%} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara\ 15\%} = \pi * (7.733)^2$$

$$A_{cara\ 15\%} = 187.86\ cm^2$$

$$f'_{c15\%} = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'_{c15\%} = \frac{8715\ kg}{187.76\ cm^2} \div 0.65$$

$$f'_{c15\%} = 71.4\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$71.4\ \frac{kg}{cm^2} * 0.0981 = 7.0\ MPa$$

$$A_{cara\ 25\%} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara\ 25\%} = \pi * (7.725)^2$$

$$A_{cara\ 25\%} = 187.48\ cm^2$$

$$f'_{c25\%} = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'c_{25\%} = \frac{4883 \text{ kg}}{187.48 \text{ cm}^2} \div 0.65$$

$$f'c_{25\%} = 40.07 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$40.07 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 0.0981 = 3.93 \text{ MPa}$$

En los especímenes con 15% de contenido, por un lado, uno de los cilindros experimentó una leve falla de tipo 5 en la base, algo que no había sucedido en ninguno de los elementos documentados, la tendencia siempre fue que la falla se presentara en la parte superior. Por otro lado, el otro elemento de 15% de contenido solo presentó unas leves grietas superficiales en la parte superior del elemento. Cabe destacar que a ambos elementos se les tuvo que realizar un cabeceo previo a ser fallados, esto debido a que durante el desmoldado se desprendió una parte leve del cilindro por lo que para efectos de facilidad de aplicación de la carga por parte de la máquina de compresión se procedió a realizar el cabeceo con yeso.

En el caso de los especímenes de 25% de contenido el comportamiento se mantuvo, se mostró un leve agrietamiento superficial y de igual manera persiste el fenómeno de flexibilidad que hace que amortigüe la carga y no presente falla destructiva, tal y como fue documentado en las observaciones de las pruebas anteriores.

**Figura 31**

*Cabeceo con cal hecho para corregir imperfecciones previo a las pruebas.*



Fuente: Propia

**Figura 32**

*Agrietamiento vertical presentado posterior al fallo.*



Fuente: Propia.

### Figura 33

Falla tipo 5 experimentada en base del elemento.



Fuente: Propia.

#### 4.3 Diseño de mezcla escombro de mampostería triturado.

Para el presente diseño de mezcla se siguió la misma tendencia del anterior, se parte del diseño de mezcla patrón, pero ajustándolo al volumen requerido con base en la cantidad de especímenes que se desean elaborar. El volumen es el mismo del diseño de mezcla con sustitución de Polietileno de Alta Densidad ya que se elaborarán 6 especímenes por cada porcentaje de sustitución, es decir, 12 en total.

$$V_{mp} = 12 * V_{cil}$$

$$V_{mp} = 0.072 \text{ m}^3.$$

#### Tabla 13

*Materiales requeridos para elaboración Mezcla Mampostería Triturada.*

Material	Peso (kg)
Cemento	23
Agua	16
A. F	68
A. G	51

Fuente: Propia.

**Figura 34**

*Materiales requeridos para realizar Mezcla Mampostería Triturada.*



Fuente: Propia.

Se van a realizar 6 especímenes con 20% de sustitución de agregado grueso por escombros de mampostería triturada, por lo que a dicha mezcla se le adicionarán las siguientes proporciones:

**Tabla 14**

*Materiales requeridos para elaboración Mezcla Escombros Mampostería 20%.*

Material	Peso (kg)
Cemento	12
Agua	9
A. F	34
A. G	20.8
MAMP	5.2

Fuente: Propia.



**Figura 35**

*Materiales requeridos para realizar mezcla con mampostería 20%.*



Fuente: Propia.

De igual manera se van a realizar 6 especímenes con 30% de sustitución de agregado grueso por escombros de mampostería triturado, los cuales estarán conformados por las siguientes cantidades de cada material:

**Tabla 15**

*Materiales requeridos para elaboración de Mezcla Escombros Mampostería 30%.*

Material	Peso (kg)
Cemento	12
Agua	8
A. F	34
A. G	18.2
MAMP	7.8

Fuente: Propia.

**Figura 36**

*Mezcla 30% recién retirada de la batidora.*



Fuente: Propia.

**Figura 37**

*Especímenes de 20% y 30% recién moldeados.*



Fuente: Propia.

#### **4.3.1 Elaboración de especímenes escombros mampostería**

A la hora de la elaboración y hacer la prueba de revenimiento se obtuvo un revenimiento de 5cm en la muestra de 20% de sustitución, y 6cm en la muestra de 30% de sustitución. Porcentajes que en ambos casos contribuyeron con la elaboración de los cilindros ya que poseían el agua suficiente para que durante la elaboración los finos del agregado fueran transportados a la superficie para dar una apariencia más uniforme al elemento.

Ambos diseños de mezcla; 20% y 30%, se llevaron a cabo el 10 de noviembre del 2022 en el laboratorio de materiales del campus San Pedro. 24 horas después de su elaboración se procedió con su respectivo desmolde, posterior a este proceso fueron ingresados en cámara húmeda para iniciar su respectivo proceso de curado.

#### 4.3.2 Pruebas a especímenes con mampostería triturada a los 7 días de edad de curado

A los 7 días de curado se procedieron a realizar los primeros ensayos de compresión uniaxial según el ASTM C39. El día 15 de noviembre del 2022 se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 16**

*Resultados derivados de mediciones y pruebas a los 7 días de curado.*

	Ø sup	Ø med	Ø inf	W	Ø prom	Fcomp	F prom
20%	15.45 cm	15.45 cm	15.4 cm	12.088kg	15.43cm	24687kg	22501 kg
20%	15.45 cm	15.4 cm	15.4 cm	12.190kg	15.416cm	20315kg	
30%	15.5 cm	15.6 cm	15.55 cm	12.355kg	15.55cm	19504kg	18888 kg
30%	15.5 cm	15.5 cm	15.45 cm	12.190kg	15.48cm	18272kg	

Nota: mediciones corresponden a diámetros superior, intermedio e inferior del elemento, así como la capacidad soportada en la máquina de compresion. Fuente: Propia.

$$A_{cara\ 20\%} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara\ 20\%} = \pi * (7.71)^2$$

$$A_{cara\ 20\%} = 186.75\ cm^2$$

$$f'_{c_{20\%}} = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'_{c_{20\%}} = \frac{22501\ kg}{186.75\ cm^2} \div 0.65$$

$$f'_{c_{20\%}} = 185.36\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$185.36\ \frac{kg}{cm^2} * 0.0981 = 18.2\ MPa$$

$$A_{cara\ 30\%} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara\ 30\%} = \pi * (7.75)^2$$

$$A_{cara\ 30\%} = 188.7\ cm^2$$

$$f'c_{30\%} = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'c_{30\%} = \frac{18888 \text{ kg}}{188.7 \text{ cm}^2} \div 0.65$$

$$f'c_{30\%} = 154 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$154 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 0.0981 = 15.1 \text{ MPa}$$

**Figura 38**

*Elementos de 20% y 30% con 7 días de curado.*



Fuente: Propia

A diferencia de los casos anteriores, en estas muestras si se experimentaron fallas destructivas de tipo 5. En los 4 especímenes se presentó el mismo patrón de falla, sin embargo, la severidad de la falla fue mayor en los especímenes de 20% de sustitución que en los de 30% de sustitución, esto se debe posiblemente a que los bloques de concreto triturado son un material rígido, pero no tan rígido como la piedra convencional ya sea de tajo o de río. Dicha diferencia en solidez va de la mano con la elasticidad que, hasta cierto punto ganó el concreto al incluir el material, por lo que generó un amortiguamiento el cual permitió contener mejor la carga aplicada y reducir los daños de la falla en el cilindro. Un fenómeno similar al documentado en los especímenes con contenido de PEAD, pero a una escala menor. Cabe mencionar también que este amortiguamiento no solo se vio reflejado en la disminución del daño provocado a los cilindros,

sino que también un porcentaje de resistencia también se vio comprometido en las muestras con mayor porcentaje de sustitución de material grueso.

**Figura 39**

*Falla tipo 5 de mayor severidad en elemento 20%.*



Fuente: Propia.

**Figura 40**

*Falla tipo 5 de menor severidad en elemento 30%.*



Fuente: Propia.

**Figura 41**

*Especímenes posterior a ser retirados de la máquina de compresión.*



Fuente: Propia.

### 4.3.3 Pruebas a especímenes con mampostería triturada a los 15 días de edad de curado

El día 24 de noviembre del 2022 se procedió con la segunda jornada de pruebas de laboratorio a los especímenes. Dicho día se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 17**

*Resultados derivados de mediciones y pruebas a los 15 días de curado.*

	Ø sup	Ø med	Ø inf	W	Ø prom	Fcomp	F prom
20%	15.4 cm	15.5 cm	15.45 cm	12.194kg	15.45cm	26252kg	24831 kg
20%	15.5 cm	15.45 cm	15.45 cm	12.174kg	15.467cm	23409kg	
30%	15.5 cm	15.5 cm	15.55 cm	12.180kg	15.483cm	25598kg	24665 kg
30%	15.4 cm	15.4 cm	15.45 cm	12.161kg	15.416cm	23732kg	

Nota: mediciones corresponden a diámetros superior, intermedio e inferior del elemento, así como la capacidad soportada en la máquina de compresión. Fuente: Propia.

$$A_{cara\ 20\%} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara\ 20\%} = \pi * (7.73)^2$$

$$A_{cara\ 20\%} = 187.72\ cm^2$$

$$f'_{c20\%} = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'_{c20\%} = \frac{24831\ kg}{187.72\ cm^2} \div 0.65$$

$$f'c_{20\%} = 203.5 \frac{kg}{cm^2}$$

$$203.5 \frac{kg}{cm^2} * 0.0981 = 20 MPa$$

$$A_{cara\ 30\%} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara\ 30\%} = \pi * (7.72)^2$$

$$A_{cara\ 30\%} = 187.2 cm^2$$

$$f'c_{30\%} = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'c_{30\%} = \frac{24665 kg}{187.2 cm^2} \div 0.65$$

$$f'c_{30\%} = 202.7 \frac{kg}{cm^2}$$

$$202.7 \frac{kg}{cm^2} * 0.0981 = 19.9 MPa$$

A los 15 días se experimentaron comportamientos similares a los documentados a los 7 días. Por un lado, en los elementos con 20% de contenido se experimentaron fallas de tipo 5 según lo establecido por el ASTM, y en el caso de los elementos con 30% de sustitución experimentaron el mismo tipo de falla, pero con una menor severidad igual como se evidenció en las pruebas a los 7 días de curado.

Con respecto a los valores obtenidos, inicialmente se observaron aumentos leves en los valores de masa, esto atribuido principalmente a la absorción de agua resultante del proceso de curado. Los valores de compresión promedio en ambos diseños de mezcla se incrementaron, como era de esperarse, entre 2000 y 6000 kilogramos aproximadamente.

**Figura 42**

*Elementos recién retirados de la cámara de curado a los 15 días.*



Fuente: Propia.

**Figura 43**

*Falla destructiva tipo 5 en elemento de 20% a los 15 días de curado.*



Fuente: Propia.



**Figura 44**

*Falla tipo 5 de menor severidad en espécimen de 30%.*



Fuente: Propia.

**Figura 45**

*Elementos con fallas visibles posterior a ser llevados al fallo.*



Fuente: Propia.

#### 4.3.4 Pruebas a especímenes con mampostería triturada a los 28 días de edad de curado

A los 28 días de curado se procedieron a realizar los primeros ensayos de compresión uniaxial según el ASTM C39. El día 08 de diciembre del 2022 se obtuvo los siguientes datos:

**Tabla 18**

*Resultados derivados de mediciones y pruebas a los 28 días de curado.*

	Ø sup	Ø med	Ø inf	W	Ø prom	Fcomp	F prom
20%	15.4 cm	15.5 cm	15.5 cm	12.198kg	15.467cm	31996 kg	31709 kg
20%	15.5 cm	15.4 cm	15.4 cm	12.231kg	15.433cm	31422 kg	
30%	15.4 cm	15.5 cm	15.45 cm	12.222kg	15.45cm	31773 kg	32273kg
30%	15.5 cm	15.5 cm	15.5 cm	12.200kg	15.5cm	32772 kg	

Nota: mediciones corresponden a diámetros superior, intermedio e inferior del elemento, así como la capacidad soportada en la máquina de compresión. Fuente: Propia.

$$A_{cara\ 20\%} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara\ 20\%} = \pi * (7.725)^2$$

$$A_{cara\ 20\%} = 187.476\ cm^2$$

$$f'c_{20\%} = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'c_{20\%} = \frac{31709\ kg}{187.476\ cm^2} \div 0.65$$

$$f'c_{20\%} = 260.2\ \frac{kg}{cm^2}$$

$$260.2\ \frac{kg}{cm^2} * 0.0981 = 25.52\ MPa$$

$$A_{cara\ 30\%} = \pi * (r_{prom})^2$$

$$A_{cara\ 30\%} = \pi * (7.737)^2$$

$$A_{cara\ 30\%} = 188.06\ cm^2$$

$$f'c_{30\%} = \frac{F_{comp}}{A_{cara}} \div 0.65$$

$$f'c_{30\%} = \frac{32273 \text{ kg}}{188.06 \text{ cm}^2} \div 0.65$$

$$f'c_{30\%} = 264.01 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$264.01 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 0.0981 = 25.9 \text{ MPa}$$

Los primeros especímenes en ser llevados al fallo fueron los de 20% de contenido, en el caso del elemento número 1 presentó una falla de tipo 5 posterior a ser aplicada la carga en compresión. En el caso del elemento 2 no presentó falla destructiva de ningún tipo, un comportamiento que no se esperaba debido a que no se presentó en las anteriores pruebas de compresión.

En los elementos con 30% de contenido la tendencia fue similar, por un lado, el elemento número 2 presentó una severa falla destructiva de tipo 5, sin embargo, el elemento número 1 no presentó ningún tipo de falla, solo experimentó unas grietas superficiales en la parte superior del elemento.

En los elementos que no tuvieron falla destructiva es muy probable que hayan sufrido falla a lo interno del elemento, esto debido al patrón de las grietas, las cuales atravesaron el elemento de manera uniforme por la cara superior lo que nos permite interpretar una posible falla a lo interno.

**Figura 46**

*Falla tipo 5 elemento con 20% de sustitución.*



Fuente: Propia.

**Figura 47**

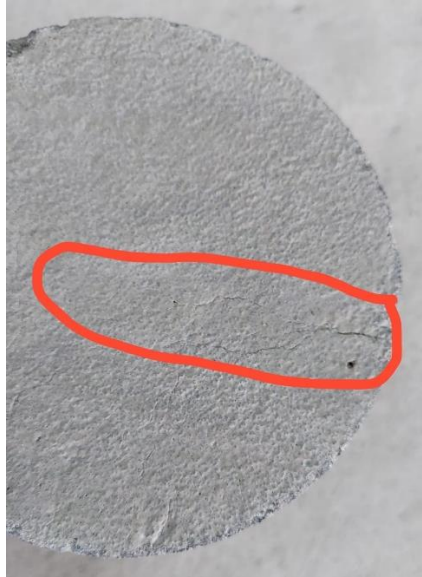
*Falla tipo 5 elemento con 30% de sustitución.*



Fuente: Propia.

**Figura 48**

*Grieta en cara superior de elemento sin falla destructiva.*



Fuente: Propia.

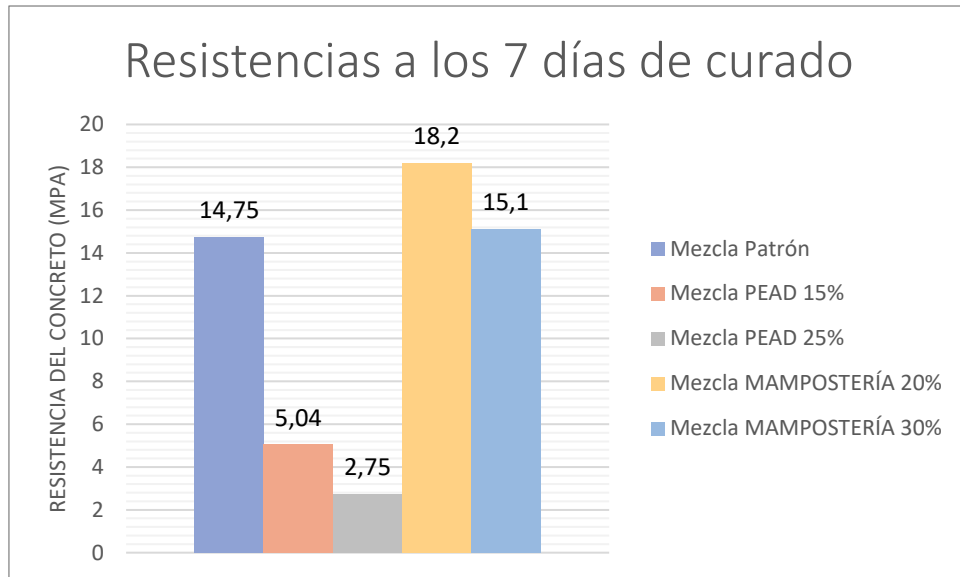
## Análisis de Resultados

Posterior a realizar el detallado de los resultados se procederá con su respectivo análisis. El objetivo principal de este análisis es sintetizar toda la información brindada en el apartado anterior con el fin de agilizar su comprensión y demostrar la viabilidad del uso de las distintas partículas de agregado grueso alternativo con base en el crecimiento de su resistencia a lo largo del curado de los especímenes cilíndricos.

### Resistencias a los 7 días de curado

**Figura 49**

*Resistencias de los distintos diseños de mezcla a los 7 días de curado.*



Fuente: Propia.

Del gráfico anterior se puede deducir como desde la primera prueba de compresión realizada la proyección del crecimiento de la resistencia revelaba de manera parcial el éxito de algunos de los diseños de mezcla. Por un lado, los diseños de mezcla con polietileno de alta densidad (PEAD) revelaban desempeños muy pobres comparados con los valores de resistencia del diseño de mezcla patrón. Superados en hasta casi 3 veces los diseños PEAD de 15% y 25% se quedaban cortos en la carrera por el logro de los 21 MPa.

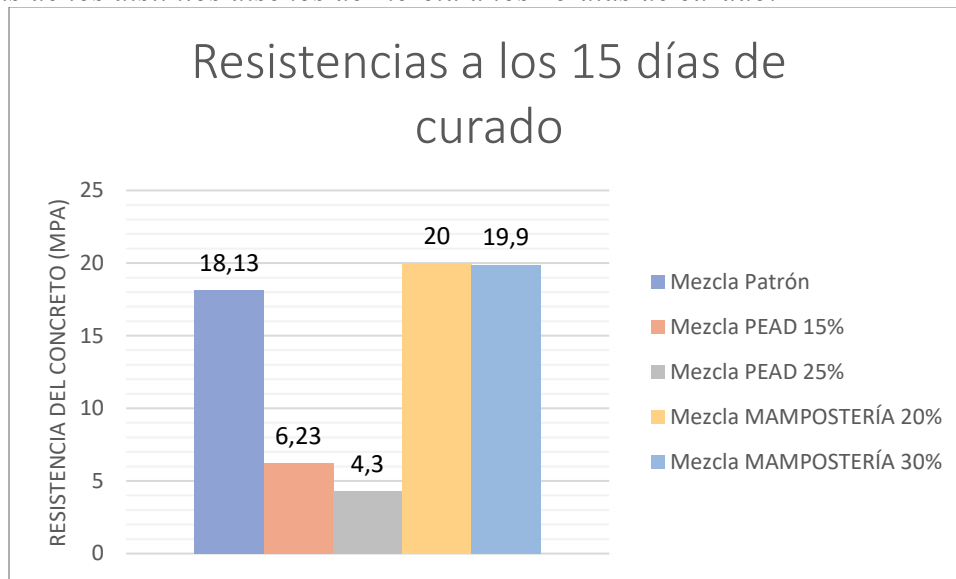
Por otro lado, los diseños de mezcla con escombro de mampostería triturado en 20% y 30% mostraron desempeños sumamente satisfactorios incluso superando los valores del diseño de mezcla patrón en hasta un 19%, donde el valor de la resistencia del diseño con 20% de adición

llegó hasta los 18 MPa en escasos 7 días de curado. Valor muy próximo a los 21MPa que se buscaban en el proyecto.

### Resistencias a los 15 días de curado

**Figura 50**

*Resistencias de los distintos diseños de mezcla a los 15 días de curado.*



Fuente: Propia.

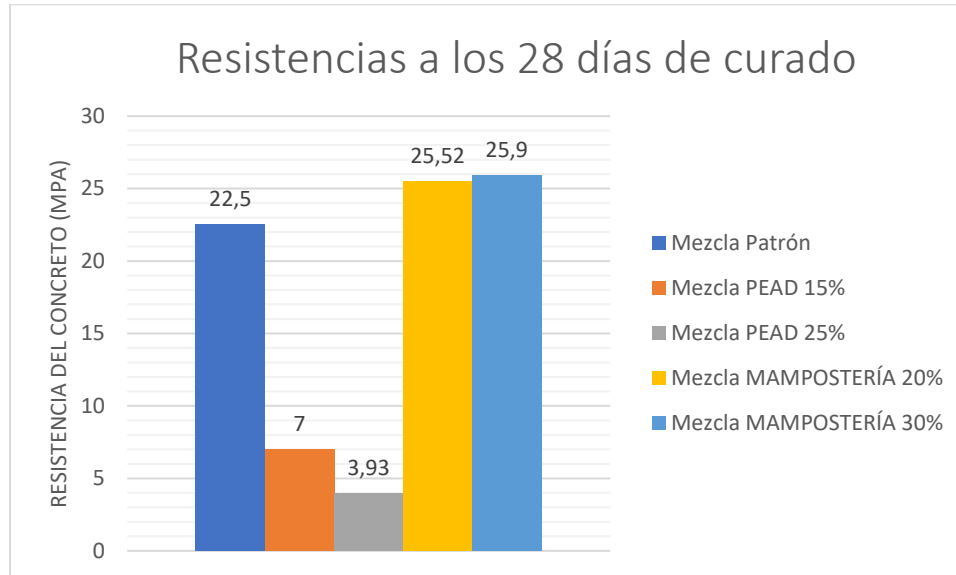
La gráfica mostrada corresponde a los resultados mostrados posterior a fallar los elementos cilíndricos en la máquina de compresión, donde se evidencian comportamientos similares a los mostrados en las primeras pruebas, por ejemplo, valores de resistencia muy deficientes de las mezclas PEAD, muy por debajo del valor alcanzado por la mezcla patrón.

Los diseños de mezcla con sustitución de agregado grueso por escombros de mampostería triturado mantuvieron la tendencia en cuanto a superar la capacidad del concreto de la mezcla patrón, sin embargo, la diferencia no fue tan sustancial como a los 7 días, en este caso fue de alrededor de un 9%. Dichos diseños a los 15 días de curado se aproximaron a los 20 MPa por lo que era prácticamente un hecho que iban a lograr la resistencia esperada cuando se realizaran las últimas pruebas de compresión a los 28 días.

## Resistencias a los 28 días de curado

**Figura 51**

*Resistencias de los distintos diseños de mezcla a los 28 días de curado.*



Fuente: Propia.

Al cumplirse los 28 días de curado y posterior a llevar a cabo las pruebas de compresión, se obtuvo los resultados de resistencia expuestos en el gráfico anterior.

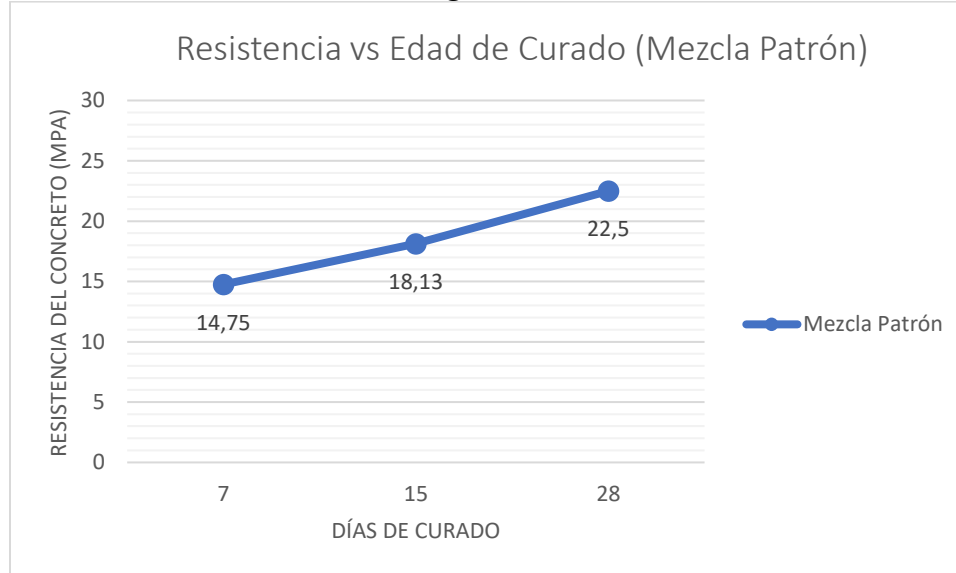
Como era de esperarse la mezcla patrón superó los 21 MPa y los diseños de mezcla PEAD quedaron muy por debajo de la meta establecida, por lo que no cumplieron con el objetivo de obtener la resistencia necesaria para su utilización como concreto estructural. Caso contrario a lo experimentado con los diseños de mezcla de 20% y 30% de mampostería triturada, los cuales superaron con creces la barrera de los 21MPa e incluso superaron la resistencia del diseño de mezcla patrón en un 13%. Tanto la proporción de 20% como la de 30% son viables para cumplir con la capacidad a compresión del concreto de un elemento estructural.



## Crecimiento de resistencia de la mezcla Patrón

**Figura 52**

*Resistencias del diseño de mezcla Patrón a lo largo de los 28 días de curado.*

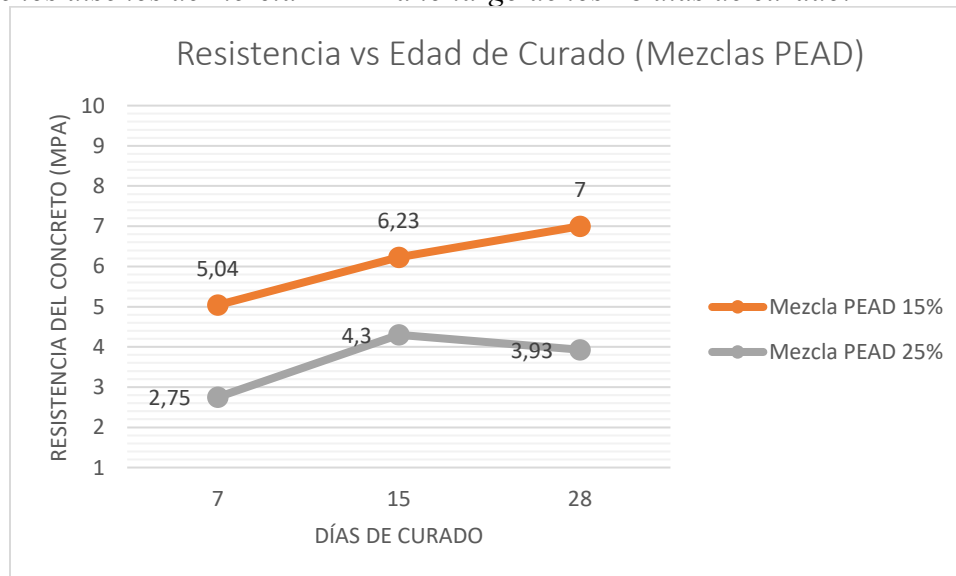


Fuente: Propia.

## Crecimiento de resistencia de las mezclas PEAD

**Figura 53**

*Resistencias de los diseños de mezcla PEAD a lo largo de los 28 días de curado.*

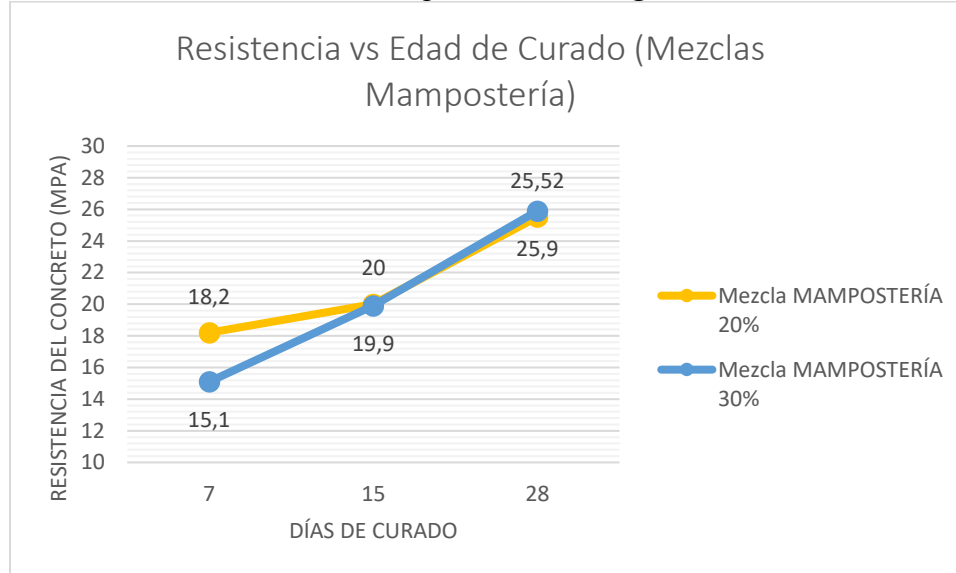


Fuente: Propia.

## Crecimiento de resistencia de las mezclas Mampostería triturada.

**Figura 54**

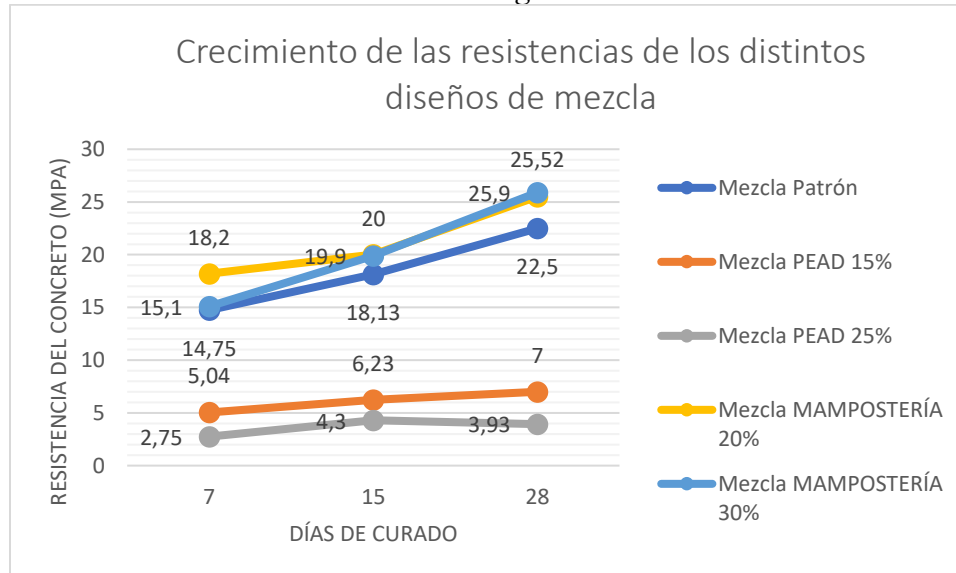
*Resistencias de los diseños de mezcla con Mampostería a lo largo de los 28 días de curado.*



Fuente: Propia.

**Figura 55**

*Resistencias de los distintos diseños de mezcla a lo largo de los 28 días de curado.*



Fuente: Propia.

#### 4.4 Presupuesto

Los cálculos realizados en el diseño de mezcla fueron para un metro cúbico de concreto, por lo que las comparativas de porcentajes de ahorro de las distintas mezclas con base en la mezcla patrón se harán por cada metro cúbico de concreto.

Para 1 metro cúbico de concreto del diseño de mezcla patrón se requieren las siguientes cantidades:

**Tabla 19**

*Materiales necesarios para elaborar un metro cúbico de concreto de la Mezcla Patrón.*

Material	Peso (kg)
Cemento	315
Agua	215
A. F	942
A. G	700

Fuente: Propia.

**Tabla 20**

*Cantidades y costos detallados para producir un metro cúbico de Mezcla Patrón.*

Material	Cantidades	Costo Unitario	Total
Cemento	6 sacos 50kg	¢ 6950	¢ 45200
	1 saco 25kg	¢ 3500	
Agua	-	-	-
Agregado Fino	19 sacos 50kg	¢ 2000	¢ 38000
Agregado Grueso	14 sacos 50kg	¢ 1800	¢ 25200
			¢ 108400

Fuente: Propia.

Para 1 metro cúbico de concreto del diseño de mezcla con 15% de contenido de PEAD se requieren las siguientes cantidades:

**Tabla 21**

*Materiales necesarios para elaborar un metro cúbico de concreto de la Mezcla PEAD 15%.*

Material	Peso (kg)
Cemento	315
Agua	215
A. F	942
A. G	595
PEAD	105

Fuente: Propia.

**Tabla 22**

*Cantidades y costos detallados para producir un metro cúbico de Mezcla PEAD 15%.*

Material	Cantidades	Costo Unitario	Total
Cemento	6 sacos 50kg	₡ 6950	₡ 45200
	1 saco 25kg	₡ 3500	
Agua	-	-	-
Agregado Fino	19 sacos 50kg	₡ 2000	₡ 38000
Agregado Grueso	12 sacos 50kg	₡ 1800	₡ 21600
			<b>₡ 104800</b>

Fuente: Propia.

Para 1 metro cúbico de concreto del diseño de mezcla con 25% de contenido de PEAD se requieren las siguientes cantidades:

**Tabla 23**

*Materiales necesarios para elaborar un metro cúbico de concreto de la Mezcla PEAD 25%.*

Material	Peso (kg)
Cemento	315
Agua	215

A. F	942
A. G	525
PEAD	175

Fuente: Propia.

**Tabla 24**

*Cantidades y costos detallados para producir un metro cúbico de Mezcla PEAD 25%.*

Material	Cantidades	Costo Unitario	Total
Cemento	6 sacos 50kg	₪ 6950	₪ 45200
	1 saco 25kg	₪ 3500	
Agua	-	-	-
Agregado Fino	19 sacos 50kg	₪ 2000	₪ 38000
Agregado Grueso	11 sacos 50kg	₪ 1800	₪ 19800
			₪ 103000

Fuente: Propia.

Para 1 metro cúbico de concreto del diseño de mezcla con 20% de contenido de escombros de mampostería triturado se requieren las siguientes cantidades:

**Tabla 25**

*Materiales necesarios para elaborar un metro cúbico de concreto de la Mezcla Mampostería 20%.*

Material	Peso (kg)
Cemento	315
Agua	215
A. F	942
A. G	560
Mampostería	140

Fuente: Propia.

**Tabla 26**

*Cantidades y costos detallados para producir un metro cúbico de Mezcla Mampostería 20%.*

Material	Cantidades	Costo Unitario	Total
Cemento	6 sacos 50kg	₴ 6950	₴ 45200
	1 saco 25kg	₴ 3500	
Agua	-	-	-
Agregado Fino	19 sacos 50kg	₴ 2000	₴ 38000
Agregado Grueso	12 sacos 50kg	₴ 1800	₴ 21600
			₴ 104800

Fuente: Propia.

Para 1 metro cúbico de concreto del diseño de mezcla con 30% de contenido de escombro de mampostería triturado se requieren las siguientes cantidades:

**Tabla 27**

*Materiales necesarios para elaborar un metro cúbico de concreto de la Mezcla Mampostería 30%.*

Material	Peso (kg)
Cemento	315
Agua	215
A. F	942
A. G	490
Mampostería	210

Fuente: Propia.

**Tabla 28**

*Cantidades y costos detallados para producir un metro cúbico de Mezcla Mampostería 30%.*

Material	Cantidades	Costo Unitario	Total
Cemento	6 sacos 50kg	₴ 6950	₴ 45200
	1 saco 25kg	₴ 3500	
Agua	-	-	-
Agregado Fino	19 sacos 50kg	₴ 2000	₴ 38000
Agregado Grueso	10 sacos 50kg	₴ 1800	₴ 18000
			₴ 101200

Fuente: Propia.

A partir de los datos calculados se determinará el porcentaje de ahorro de acuerdo con el costo de un metro cúbico de la mezcla patrón. Los datos se resumirán en la siguiente tabla:

**Tabla 29**

*Comparativa de porcentajes de ahorro de los distintos tipos de mezcla.*

Tipo de Mezcla	% Ahorro / 1m3
Mezcla 15% PEAD	3.32%
Mezcla 25% PEAD	5%
Mezcla 20% Mampostería	3.32%
Mezcla 30% Mampostería	6.64%

Fuente: Propia.

## **5. Conclusiones, Recomendaciones y Referencias bibliográficas**

### **Conclusiones**

Se concluye que la utilización de porcentajes del 15% y 25% de polietileno de alta densidad como sustitución parcial de agregado grueso no es viable debido a que la resistencia del concreto se ve afectada por la inclusión de este alto porcentaje de polímero, el concreto por su parte, a mayor porcentaje de inclusión de PEAD gana flexibilidad.

La utilización de escombros de mampostería triturado en mezclas de concreto en proporciones de 20% y 30% es viable ya que en ambos diseños de mezcla se logró superar la resistencia mínima de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Tanto el diseño de mezcla patrón como los diseños con contenido de escombros de mampostería triturado superaron la barrera de los 21MPa, sin embargo, los diseños de mampostería superaron la resistencia de la mezcla patrón en hasta un 13%, esto se debe a que los bloques de mampostería poseen cemento, por lo que a la hora de incluirlos al diseño de mezcla convencional incrementan la proporción de cemento, lo cual se ve reflejado en el incremento de la resistencia.

Se obtuvo porcentajes de ahorro superiores al 5% únicamente en los diseños de mezcla con 25% de contenido de polietileno de alta densidad y 30% de escombros de mampostería triturado. De ambos diseños de mezcla únicamente el de mampostería cumplió con los requisitos de resistencia mínima a la compresión, por lo que se concluye que dicho diseño de mezcla es el diseño óptimo con base los objetivos establecidos en este proyecto.

### **Recomendaciones**

Realizar pruebas de compresión uniaxial a especímenes de concreto con porcentajes de sustitución de agregado grueso menores al 15%, con el fin de estudiar el crecimiento de la resistencia a compresión con esta variación y determinar la viabilidad de utilizar polietileno de alta densidad como sustituto parcial de agregado grueso.

Estudiar la utilización del PEAD en mezclas o elementos conformados por concretos flexibles.

Realizar pruebas de compresión uniaxial a especímenes cilíndricos hechos a partir de concreto con un porcentaje de sustitución de agregado grueso por escombros de mampostería triturado superior al 30%.



Estudiar el desempeño a tensión y flexión de las mezclas de concreto con 20% y 30% de sustitución de agregado grueso por escombros de mampostería triturada con el fin de complementar el estudio de viabilidad sobre su utilización para conformar concretos de elementos estructurales.

## Bibliografía

Grajales, I. (2018). *Costa Rica tira al mar 15 camiones de plástico por día*. <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2018/06/05/costa-rica-tira-mar-15-camiones-plastico-dia>

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN). (2011). *Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción*. San José, Costa Rica.

Canales, D. (2020). “*En 2021 tendríamos una muy leve recuperación después de dos años de decrecimiento*”. <https://www.larepublica.net/noticia/en-2021-tendriamos-una-muy-leve-recuperacion-despues-de-dos-anos-de-decrecimiento>.

McCormac, J y Brown, R. (2014). *Diseño Concreto Reforzado*. New Jersey, Estados Unidos.

Kosmatka, S. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Illinois, Estados Unidos.

Monge M. S, (2013). *Evaluación del comportamiento a la fatiga de una mezcla de concreto MR-4.5 MPa con Adición de fibras de polipropano*. [Tesis de Licenciatura no publicada]. Universidad de Costa Rica.

León. J. G. (2021) *DESARROLLO DE UNA MEZCLA DE CONCRETO SECO LIVIANO MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE FRASSON JR. UTILIZANDO PARTÍCULAS DE CELULOSA RECICLADA*. Universidad Latina de Costa Rica.

Plastecno. (2018). *POLIETILENO (PEAD)*. <https://www.plastecno.com.br/es/productos/peadpolietileno-alta-densidade.html#:~:text=Se%20trata%20de%20un%20polietileno,%2C95%20g%2Fcm%2C%20B3>.

Envaselia. (s.f.). *QUÉ ES EL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD HDPE Ó PEAD*. <https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-polietileno-de-alta-densidad-hdpe-o-pead-id18.htm>

Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica, (2011). *Código Sísmico de Costa Rica 2010*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

American Concrete Institute [ACI 308R-01]. (2008). *Guide to Curing Concrete*.

American Society for Testing and Materials [ASTM C39]. (2021). *Método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.*

American Society for Testing and Materials [ASTM C136]. (2019). *Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos.*

American Society for Testing and Materials [ASTM C117]. (1995). *Método de ensayo normalizado para determinar la cantidad de material más fino que el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) de los áridos minerales por el método de lavado.*

American Society for Testing and Materials [ASTM C33-03]. (2008). *Especificación estándar para AGREGADOS PARA CONCRETO.*

American Society for Testing and Materials [ASTM C192]. (2007). *Práctica estándar para hacer y curar especímenes de prueba de concreto en el laboratorio.*

American Concrete Institute. ACI Temas en concreto. <https://www.concrete.org/>

CEMEX. (s.f.). *ABC del Mezclado.* <http://cemexparaindustriales.com/abc-del-mezclado/>

Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto [IMCYC]. (s.f.). *Concreto permeable: alternativas sustentables.*  
<http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>

Real academia española: Diccionario de la lengua española, 23.<sup>a</sup> ed. <https://dle.rae.es/sedimentar> [22/11/2021].

CEMEX. (S.F.). *Uso del Concreto Ligero.* <http://cemexparaindustriales.com/uso-del-concreto-ligero/>

American Concrete Institute [ACI 211.1]. (2004). *Práctica estándar para seleccionar el proporcionamiento de concreto.*

Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación.* México D.F: McGraw-Hill.

## Anexos

*Humedad relativa y temperatura de la cámara de curado.*



Fuente: Propia.

*Laboratorio de Ingeniería Civil campus San Pedro.*



Fuente: Propia.

*Máquina de compresión, laboratorio Ingeniería Civil campus San Pedro.*



Fuente: Propia.

*Herramienta utilizada para la elaboración de los especímenes cilíndricos.*



Fuente: Propia.

*Sacos de agregado grueso, fino y PEAD triturado.*



Fuente: Propia.

*Centro de Acopio San Francisco de Dos Ríos.*



Fuente: Propia.

*Sacos de 10kg de tapas de botellas hechas con base en PEAD.*



Fuente: Propia.

*Tapas polietileno de alta densidad.*



Fuente: Propia.

*Saco con escombro de mampostería.*



Fuente: Propia.

*Centro de Acopio La Sylvia, Barva de Heredia.*



Fuente: Propia.





*Centros comunales de recolección de botellas, Santa Rosa de Santo Domingo.*




Fuente: Propia.

*Características técnicas de la máquina de compresión.*

  
 Año 2020



**Ficha Técnica**  
**Equipo:** De Compresión Universal FORNEY LT-900

Datos Técnicos del Equipo					
Nombre	Máquina de compresión				
Código	039115				
Marca	FORNEY				
Nº de Serie	02160m0208012				
Modelo	LT-900-LC				
Año de Fabricación	1993				
Especificaciones del Equipo					
Sistema de Alimentación:	1-110/208Hz 220/60Hz				
2-Motor de bomba	2-220/440volts, 60Hz				
Recorrido máximo del pistón	313cm (12pulgadas)				
Unidades de lectura	Lbs-Kgf				
Diámetro de cabeza	163 mm				
Diámetro de base	210 mm				
Capacidad de aceite	22 Galones(83.3 Litros)				
Lubricantes utilizados					
Capacidad máxima:	C-181436.95 T- 90718.47 Kgf	Peso	Alto	Ancho	Prof.
Compresión:	C-400,000 T-200,000 Lbs				
Tensión:	C-1799.29 T-889.64 KN				
Fuente de Energía	Conexión directa al arrancador del motor				
Motor	5HP	3290 kg	1770 mm	770 mm	790 mm
Velocidad	(0-72.5 rrrrr/min)				
Condiciones generales					
Actividad	Equipo diseñado para la aplicación de fuerza de rompimientos a compresión y licuación de diversos tipos de materiales y especies, entre especímenes de concretos, hachos, madera, rocas, asfaltos entre otros.				
Años de Servicio	25 Años				
Situación Actual	Operativo				
Observaciones	Equipo actualmente se encuentra fuera de funcionamiento debido a la falta de calibración y mantenimiento preventivo del mismo.				
Criticidad	Alta				
Elaborado por:	Deyri Nuñez, Técnico Escuela de Ingeniería Civil Campus San Pedro.				
Revisado por:	Alvaro Flores, Técnico Escuela de Ingeniería Civil Sede Heredia.				

Universidad Latina de Costa Rica  
 Campus San Pedro

Fuente: Propia.

*Mediciones digitales de la máquina de compresión.*



Fuente: Propia.

*Piezas de mampostería fracturadas dispuestas para el desecho, Construplaza Escazú.*



Fuente: Propia.

## **Glosario**

1. Concreto. Mezcla de agua, arena, grava y cemento.
2. Cemento. Mezcla formada de arcilla y materiales calcáreos, sometida a cocción y muy finamente molida, que mezclada a su vez con agua se solidifica y endurece.
3. Compresión. Acción y efecto de comprimir.
4. Mampostería. Obra hecha con mampuestos colocados y ajustados uno con otros sin sujeción a determinado orden de hiladas o tamaños.
5. Polímero. Compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.
6. Flexión. Acción y efecto de doblar algún elemento.
7. Granulometría. Trata de la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas de los suelos.
8. Uniaxial. Pertenece o relativo a un solo eje.
9. Tensión. Estado de un cuerpo sometido a la acción de fuerzas opuestas que lo traen.
10. Tamiz. Cedazo muy tupido.
11. Permeabilidad. Cualidad de permeable.
12. Reciclaje. Reciclamiento.
13. Escombros. Desecho, broza y cascote que queda de una obra de albañilería o de un edificio arruinado o derribado.
14. Viabilidad. Cualidad de viable.
15. Resistencia. Fuerza que se opone a la acción de otra fuerza.