

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Comparación de la resistencia a compresión entre concreto convencional y concreto convencional con agregado plástico

Trabajo de graduación presentado por Jorge Wong Castillo para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,

2019

Comparación de la resistencia a compresión entre concreto convencional y concreto convencional con agregado plástico

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería




Comparación de la resistencia a compresión entre concreto convencional y concreto convencional con agregado plástico

Trabajo de graduación presentado por Jorge Wong Castillo para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

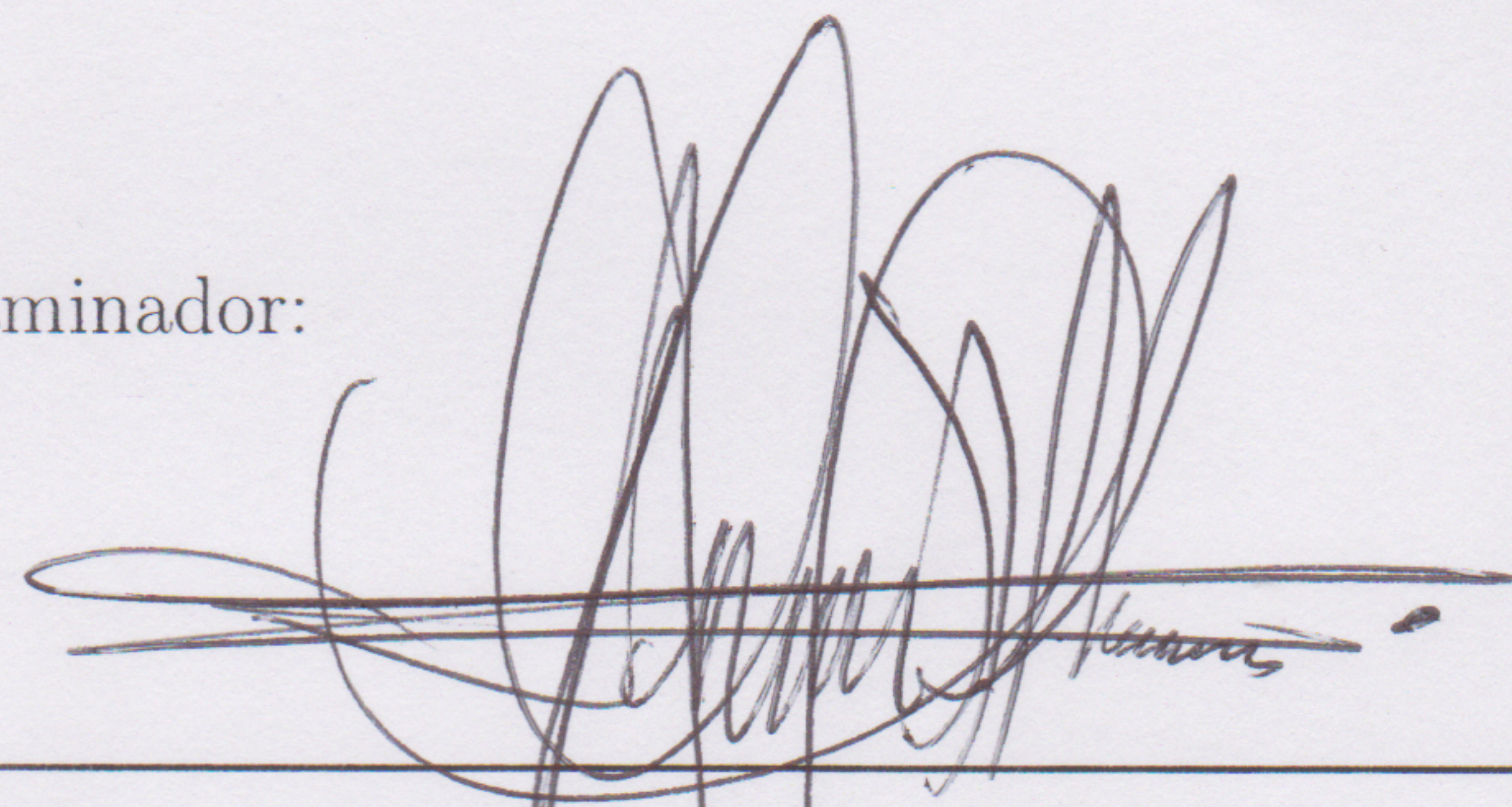
Guatemala,

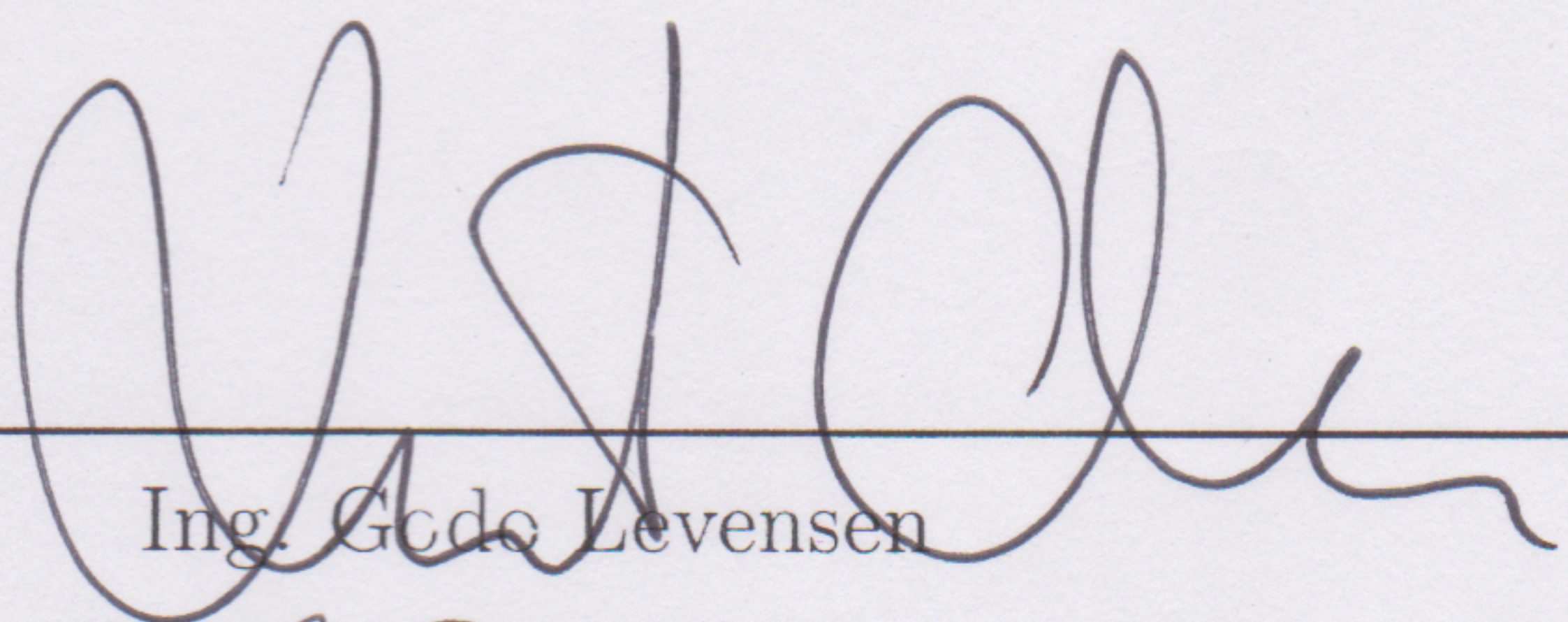
2019


Vo.Bo.:

(f) 
Arq. Al Moshe Asturas

Tribunal Examinador:

(f) 
Arq. Al Moshe Asturas

(f) 
Ing. Gede Levensen

(f) 
Ing. Alvaro Córdova

Fecha de aprobación: Guatemala, 14 de Enero de 2020.

La elaboración de esta tesis surgió por el interés de introducir un material nuevo como agregado en la creación de concreto, con una calidad de cambiante y sus resistencias mecánicas variadas. Mi principal objetivo fue elaborar este concreto y encontrar los materiales que se utilizarían en este trabajo, ya que el plástico reciclado no se consigue tan fácilmente en Guatemala.

La idea de crear un nuevo material de construcción me llamó mucho la atención ya que podría ser un material que podría ser beneficioso para el medio ambiente en el país y este fue el motor de arranque para realizar este trabajo.

Quiero agradecer a todas las personas que, de una u otra forma, ayudaron para la realización de este proyecto, desde la ayuda en el laboratorio, hasta la ayuda emocional que se necesitó. En especial a mis padres los cuales han sido como un pilar en todos mis estudios y un camino para que pueda cumplir todas mis metas.

Quiero agradecer a María Renée Loarca por ayudarme en todo el transcurso, no solo de este proyecto, sino toda la etapa universitaria. A mis compañeros Otto Zepeda, Juan Raimundo, Jacqueline Rivera, Santiago Gonzales, José Franco, Erick Ríos por su amistad durante estos años de estudio. A Jimena Marroquin por apoyarme en esta etapa y siempre mostrarme lo capaz que puedo ser.

Gracias a mis demás compañeros de estudio que se que de que alguna u otra forma han contribuido a mi formación académica y personal.

Prefacio	v
Lista de figuras	xii
Lista de cuadros	xiv
Resumen	xv
Abstract	xvii
1. Introducción	1
2. Objetivos	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. Marco teórico	5
3.1. Concreto	5
3.1.1. Componentes del concreto	5
3.1.2. Propiedades del concreto	6
3.1.3. Propiedades del concreto fresco	6
3.1.4. Propiedades principales del concreto endurecido	7
3.2. Cemento	8
3.2.1. Historia del cemento	9
3.2.2. Fabricación del cemento	10
3.2.3. Tipos de cementos	12
3.2.4. Requisitos físicos	13
3.3. Agregados	15
3.3.1. Características físicas	15
3.3.2. Granulometría	16
3.3.3. Agregado fino	17
3.3.4. Granulometría de agregado fino	17
3.3.5. Agregado grueso	17

3.4.	Funciones de los agregados	19
3.5.	Interrelación entre agregados y concreto	19
3.6.	Importancia de la porosidad de los agregados	20
3.7.	Resistencia por adherencia pasta-agregado	20
3.8.	Agua de mezcla	20
3.9.	Polipropileno	21
3.9.1.	Propiedades mecánicas	22
3.10.	Polietileno	22
3.10.1.	Polietileno de Alta Densidad (PEAD)	22
3.10.2.	Polietileno de Baja Densidad (PEBD)	23
3.11.	Ensayo a compresión del concreto	24
3.12.	Ensayo de revenimiento en el concreto	24
3.13.	Ensayo de temperatura del concreto	25
3.14.	Impacto de los plásticos en los últimos años	26
3.15.	Impacto ambiental de mineras y canteras	27
4.	Metodología	29
4.1.	Granulometría y propiedades de agregados	29
4.2.	Selección del agregado plástico a utilizar	31
4.3.	Diseño de mezcla	31
4.3.1.	Elección del revenimiento	32
4.3.2.	Elección del tamaño máximo del agregado	33
4.3.3.	Cálculo de agua de mezclado y contenido de aire	33
4.3.4.	Selección de la relación agua-cemento	33
4.3.5.	Cálculo del contenido de cemento	34
4.3.6.	Estimación del contenido de agregado grueso	35
4.3.7.	Estimación del contenido de agregado fino	35
4.3.8.	Ajustes por humedad del agregado	35
4.4.	Elaboración de cilindros de concreto	36
4.4.1.	Equipo	36
4.4.2.	Número de especímenes de concreto	37
4.4.3.	Procedimiento para la preparación de la mezcla	37
4.4.4.	Curado	39
4.5.	Ensayos realizados	40
4.5.1.	Ensayo a compresión	40
4.5.2.	Ensayo de revenimiento	41
4.5.3.	Ensayo de temperatura en el concreto	41
4.5.4.	Ensayo de densidad en el concreto	41
4.6.	Análisis costo / beneficio	42
5.	Resultados y discusión	43
5.1.	Agregados utilizados	44
5.2.	Dosificaciones de cada mezcla de concreto	44
5.3.	Pruebas realizadas	46
5.3.1.	Asentamiento	46
5.3.2.	Densidad	47
5.3.3.	Temperatura	48
5.3.4.	Compresión	48

5.4. Costo/Beneficio	50
5.5. Impactos ambientales	52
6. Conclusiones	55
7. Recomendaciones	57
8. Bibliografía	59
9. Anexos	61
10. Glosario	75

Lista de figuras

1.	Dimensión del cono de Abrams utilizado en la prueba de revenimiento	25
2.	Gráfica de aumento de residuos plásticos en los últimos 60 años	26
3.	Granulometría de agregado grueso obtenido por la empresa "La Roca"	29
4.	Granulometría de agregado fino obtenido por la empresa "La Roca"	30
5.	Gráfica comparativa de densidades de cada tipo de mezcla realizada	47
6.	Gráfica comparativa de resistencia a compresión entre cada concreto realizado	49
7.	Comparación de precios de concretos realizados para un $1 m^3$	51
8.	Comparación de precios de venta con precios de producción de cada concreto polimérico	52
9.	Diseño de mezcla para concreto convencional	61
10.	Diseño de mezcla para concreto con el 5 % de agregado plástico	62
11.	Diseño de mezcla para concreto con el 10 % de agregado plástico	62
12.	Diseño de mezcla para concreto con el 15 % de agregado plástico	63
13.	Bolsas con plástico triturado	63
14.	Recicladora de la empresa Recipa"	64
15.	Dosificación utilizada para mezcla de concreto polimérico	64
16.	Mezcla polimérica	65
17.	Ensayo de revenimiento de concreto con 15 % de agregado plástico	65
18.	Prueba de revenimiento	66
19.	Realización de prueba por estudiante	67
20.	Mezcla polimérica	67
21.	Temperatura de concreto	68
22.	Polipropileno utilizado en la mezcla de concreto	68
23.	Moldes utilizados para mezclas de concreto	69
24.	Curado de especímenes de concreto	69
25.	Comparación entre cilindros de concreto entre el concreto convencional y con- cretos con agregado con 10 % y 15 %	70
26.	Ejemplo cilindro ensayado en el laboratorio de Ingeniería Civil	70
27.	Cálculo de esfuerzo promedio para cilindros de concreto convencional	71

28.	Cálculo de esfuerzo promedio para cilindros de concreto con 5% de agregado plástico	71
29.	Cálculo de esfuerzo promedio para cilindros de concreto con 10% de agregado plástico	72
30.	Cálculo de esfuerzo promedio para cilindros de concreto con 15% de agregado plástico	72
31.	Ficha técnica de envase de Polipropileno de la empresa OMEGA	73

Lista de cuadros

1.	Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto . . .	6
2.	Proporciones generales del concreto	10
3.	Requisitos físicos de cada tipo de cemento utilizado en Guatemala	13
4.	Requisitos físicos de cada tipo de cemento utilizado en Guatemala	14
5.	Selección de tipo de agregado	15
6.	Límites de agregado fino	17
7.	Valores máximos de sales y sustancias presentes en el agua	21
8.	Propiedades mecánicas de Polipropileno - PP	22
9.	Impacto ambiental generado por la actividad minera	28
10.	Verificación de granulometría agregado grueso	30
11.	Verificación de granulometría agregado fino	30
12.	Comparativa entre los materiales utilizados	31
13.	Revenimiento recomendados para varios tipos de construcción	33
14.	Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire	34
15.	Dependencia entre las relación agua-cemento y la resistencia a compresión del concreto	34
16.	Volumen del agregado grueso varillado por volumen unitario de concreto . . .	35
17.	Capas requeridas en la elaboración de la mezcla	38
18.	Diámetro de varilla y número de golpes por capa para especímenes cilíndricos	39
19.	Edades de ensayo y tolerancia admisibles	40
20.	Características de agregado fino utilizado	44
21.	Características de agregado grueso utilizado	44
22.	Dosificación utilizada para el concreto convencional	44
23.	Dosificación utilizada para el concreto con 5% de agregado plástico	45
24.	Dosificación utilizada para el concreto con 10% de agregado plástico	45
25.	Dosificación utilizada para el concreto con 15% de agregado plástico	45
26.	Asentamiento de cada una de las mezclas realizadas	46
27.	Densidades de cada una de las mezclas de concreto	47
28.	Comparativa entre la temperatura	48
29.	Resistencia promedio para cada tipo de concreto	48
30.	Precio del agregado plástico a utilizar en cada dosificación de mezcla de concreto	50

31.	Costo para creación de un metro cubico de Concreto Convencional	50
32.	Precio de concretos realizados	51
33.	Datos sobre envase de Polipropileno	53
34.	Puntos FODA de concreto convencional	54
35.	Puntos FODA de concreto polimérico	54

El objetivo principal de este proyecto era comprobar si se puede utilizar el material plástico triturado como parte de la dosificación de un concreto para su implementación en elementos principales en una estructura. Para alcanzar dicha meta se tuvo que utilizar el diseño de mezcla especificado en el ACI 211 la cual se utiliza para un concreto convencional y las pruebas, las cuales se realizaron a cada mezcla fueron las siguientes: Norma NTG-41010h2 para el ensayo de densidad, Norma ASTM C1064 para el ensayo de temperatura y Norma NTG – 41052 para ensayo de revenimiento.

Se realizaron cilindros de concreto sin el agregado plástico para así compararlo con el concreto polimérico y saber si este material aporta en resistencia mecánica a compresión. Se utilizaron las mismas normas antes nombradas para estos cilindros. Para dicha comparación se utilizó una gráfica la cual relacionaba la cantidad de adición de plástico, la cuales fueron de 5 %, 10 % y 15 % del agregado fino que se utilizó en la mezcla del concreto convencional, con su resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de fraguado. Cabe recalcar que todas las pruebas y la realización de los cilindros se llevaron a cabo en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad de Valle de Guatemala.

Se calculó una estimación del precio de concreto con agregados convencionales y agregados plásticos y analiza su viabilidad desde el punto de vista económico y decidir si este concreto se puede implementar en la industria de la construcción como una alternativa a los demás concretos.

Por último, se analizaron los resultado y se determinó si es viable utilizar este material en métodos constructivos en Guatemala, más específicamente en la dosificación de concreto convencional con este material y se mostraron las diferencias entre ambos concretos.

The main objective of this project was to check if the crushed plastic material can be used as part of the dosing of a concrete for its implementation in main elements in a structure. To achieve this goal, the mixture design specified in ACI 211 was used, which is used for a conventional concrete and the tests, which were performed on each mixture, were as follows: Standard NTG-41010h2 for density testing, ASTM C1064 for temperature testing and NTG - 41052 for tempering test.

Concrete cylinder was made without the plastic aggregate to compare it with polymeric concrete and know if this material provides mechanical resistance to compression. The same standards mentioned above were used for these cylinders. For this comparison, a graph was used which compared the amount of plastic addition, which was 5%, 10% and 15% of the fine aggregate that was used in the mixing of conventional concrete, with its resistance to compression at 7, 14 and 28 days of setting. It should be noted that all the tests and the realization of the cylinders were carried out in the Civil Engineering laboratory of the University of Valle de Guatemala.

An estimate of the price of concrete with conventional aggregates and plastic aggregates was calculated and analyzes its viability from the economic point of view and decide whether this concrete can be implemented in the construction industry as an alternative to the other concrete.

Finally, the results were analyzed and it was determined whether it is feasible to use this material in construction methods in Guatemala, more specifically in the dosage of conventional concrete with this material and the differences between the two concrete were shown.

CAPÍTULO 1

Introducción

Este trabajo se enfocaba en comparar la resistencia de un concreto hecho con materiales convencionales, tales como arena, rocas y agua y compararlo con la resistencia a compresión de un concreto con un agregado plástico. Esto para poder mitigar la contaminación que este desecho origina en tierra firme y en cuerpos de agua.

De la misma manera, se pretende descubrir nuevos materiales para la construcción en nuestro país para su implementación en la industria de la construcción. Con esta investigación se observaron propiedades de un concreto polimérico realizado con métodos convencionales y si este mitiga costos de este mismo.

En este trabajo se realizaron comparaciones entre la calidad del concreto de cada una de las mezclas que se llevaron a cabo, la resistencia de concreto y una comparación económica para observar y analizar si se tiene un beneficio económico. De la misma manera se detalla la metodología realizada para la realización de estas mezclas y cada ensayo que se le realizó.

2.1. Objetivo general

Comparar las características mecánicas de un concreto convencional con el concreto con agregado plástico mediante gráficas de esfuerzo - tiempo para verificar el impacto del plástico reciclado en la resistencia mecánica.

2.2. Objetivos específicos

- Analizar la resistencia a compresión de un concreto utilizando plástico reciclado como agregado en su dosificación implementando el método del comité 211 del ACI para el diseño de la mezcla de concreto.
- Examinar parámetros del concreto con agregado plástico reciclado a partir de las pruebas de calidad, tales como prueba de revenimiento, de temperatura y densidad, con varias dosificaciones de este material plástico utilizando las normas técnicas guatemaltecas.
- Evaluar el costo del concreto con agregado plástico y observar los puntos FODA respecto al concreto convencional.

3.1. Concreto

El concreto es un producto artificial compuesto, que consiste en una pasta, dentro del cual se encuentran impregnadas partículas, denominadas agregados. Esta pasta, es el resultado de una combinación química del material cementante en el agua. [1]

Al denominado agregado, se le considera una parte discontinua del concreto ya que sus diversas partículas, no se encuentran unidas o en contacto unas con otras, si no que estas se encuentran a parte por espesores diferentes de pasta endurecidas. Las propiedades del concreto están determinadas fundamentalmente por las características físicas y químicas de los materiales que lo componen. [1]

3.1.1. Componentes del concreto

En la modernidad se consideran cuatro componentes del concreto: cemento, agua, agregados y Aditivo. Estos últimos se consideran elementos activos y el aire un elemento pasivo. Además, se considera a los aditivos como un componente extra, pero por su adición en el concreto utilizado en todas a las estructuras, actualmente se considera su uso como un componente "normal" del concreto. A continuación, se observa su división porcentual para cada uno de los componentes. A continuación se podrá ver como esta dividida en porcentajes cada uno de los componentes. [2]

Cuadro 1: Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto

Componentes	Porcentaje
Aire	1 % - 3 %
Cemento	7 % - 15 %
Agua	15 % - 22 %
Agregados	60 % - 75 %

[2]

3.1.2. Propiedades del concreto

Para cada uso que se da al concreto, se requiere determinadas propiedades, y se necesita un conocimiento de las mismas y de la relación que existe entre ellas. Es de importancia que el encargado o ingeniero conozca. que el concreto como cualquier otro material, sufre modificaciones en el tiempo y que es posible falle, como consecuencia de problemas en la durabilidad, aun cuando se haya alcanzado la resistencia deseada. [1]

Entre las propiedades más importantes del concreto al estado no endurecido, se incluyen: trabajabilidad, consistencia, fluidez, unión entre partículas, contenido de aire, segregación, exudación, tiempo de fraguado, calor de hidratación y peso unitario. [1]

En relación a las propiedades más importantes del concreto al estado endurecido, se incluyen: resistencia mecánica, en la cual se enfoca este trabajo, durabilidad, propiedades elásticas, cambios de volumen, impermeabilidad, resistencia al desgaste, resistencia a la cavitación, propiedades físicas como las propiedades térmicas y acústicas, y la propiedad de apariencia. [1]

3.1.3. Propiedades del concreto fresco

a) Trabajabilidad

Es definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Se destaca que su evaluación es relativa, ya que dependerá de las facilidades mecánicas y manuales que se requieran para ciertas etapas del proceso, es decir que un concreto logra ser trabajable para un uso, pero si se requiere un uso diferente, se convertirse en un concreto no trabajable. [2]

El método de tradicional para medir la trabajabilidad, ha sido el denominado "slump."^o Asentamientoel cono de Abrams, ya que permite tener una base numérica para esta evaluación. Se debe de tener en cuenta, que esta es una prueba más de la trabajabilidad misma del concreto, ya que se ha demostrado, que se obtiene concretos con similitud en revenimiento, pero trabajabilidades notablemente diferentes. [2]

b) Segregación

En los componentes del concreto, se encuentran diferencias en densidades, causando una tendencia física a que las partículas más pesadas, tiendan a descender y partículas con menor peso tiendan a subir. Se ha ampliado el conocimiento acerca de la variabilidad en las mezclas con agregados finos en comparación con la del agregado grueso, la cual representa solo el 20 %. Es necesario aclarar que agregados gruesos, se refiere a agregados normales. Esto hace que los agregados gruesos no tiendan a subir y queden inmersos y suspendidos en la mezcla. [2]

c) Exudación

Esta propiedad, se refiere a una parte del agua de la mezcla que se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto. Un caso común de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. Esto es justificado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes del efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades. Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados, de manera que cuanto más fina sea la molienda que logra atravesar la malla No. 100, la exudación será menor. [2]

La exudación se produce inevitablemente en el concreto, sin embargo, se debe controlar. Evitando cometer el error de considerar la exudación, como algo anormal en el concreto. [2]

d) Contracción

Esta es una de las propiedades más importantes relacionados con la fisuración. El cemento sufre una contracción en su volumen, por la reducción de agua que ocurre por una reacción química. A esta reducción de volumen se le llama contracción intrínseca, la cual es un proceso irreversible. Además, existe otra contracción en el concreto, la contracción por secado, este tipo de contracción causa la mayor parte de los problemas de fisuración, ya que está presente en el estado plástico como en el endurecido y permite la pérdida de agua en el concreto. Se debe tomar medidas adecuadas, para evitar que ocurra fisuración. [2]

3.1.4. Propiedades principales del concreto endurecido

a) Elasticidad

Esta es propiedad, se refiere a la deformación del concreto bajo carga, sin ser permanente. El concreto no es un material elástico, ya que no tiene un comportamiento lineal en su diagrama "carga vs deformación" en Compresión . A pesar de esto se acostumbra a definir un módulo de elasticidad, el cual surge de una recta tangente en el principio del diagrama, o una recta secante, que une el origen del diagrama con un punto establecido, que normalmente es un porcentaje de la tensión última. Los módulos de elasticidad normales oscilan entre 250000 a 350000 kg/cm², estos tienen relación directa con la resistencia a compresión del concreto y relación inversa con la relación agua/cemento. [2]

Según la teoría, las mezclas más ricas tienen módulos de elasticidad mayores y mayor capacidad de deformación que las mezclas pobres. Las normas ASTM C-469 establecen como determinar el módulo de elasticidad. [2]

b) Resistencia

Esta es la capacidad que tiene un material a resistir cargas y esfuerzos. Esta es una de sus mejores propiedades de este material, principalmente en su esfuerzo a compresión. Esto se debe prácticamente a las propiedades adherentes que tiene la pasta del cemento. Este dependerá principalmente de la concentración de la pasta en el cemento, que se acostumbra a expresarse en términos de relación agua/cemento en peso. [2]

Los factores que afectan la resistencia son: la temperatura y el tiempo de fraguado y la calidad de los agregados que se utilizan, que complementan la estructura del concreto. Otro factor que afecta la resistencia es el curado que se le da a los especímenes de concreto, pues si no se llevase a cabo, no se desarrollan completamente las características de resistencia que se desea alcanzar en el concreto. [2]

Los concretos convencionales, usualmente tienen resistencias a la compresión desde 100 a 400 kg/cm², pero con el uso de nuevas tecnologías que emplean Polímeros, se ha podido obtener resistencias a compresión que rodean los 1500 kg/cm², concluyendo que con su uso, obtienen mayores resistencias y niveles de compresión. [2]

c) Extensibilidad

Esta propiedad se refiere a la capacidad que posee el concreto sin agrietarse. Se define respecto a la función de la máxima que el concreto resiste, sin que existan en el mismo fisuraciones. Esta propiedad consiste en la deformación que tiene el concreto bajo cargas constantes en el tiempo. El flujo plástico tiene la particularidad de ser parcialmente recuperable. [2]

Las microfisuras aparecen normalmente cuando se aplica un 60 % del esfuerzo último, y a una deformación unitaria de 0.0012, en condiciones normales, la fisuración visible aparece para 0.003 de deformación unitaria. [2]

3.2. Cemento

Este es un conglomerante hidráulico, el cual es un producto que al mezclarse con agua forma una especie de pasta que fragua y endurece, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes [3]. Cabe la posibilidad de que estén tanto expuestos al aire como sumergidos en agua para formar una pasta y posteriormente, como se dijo antes, endurecer gracias a los productos de su hidratación, estables en tales condiciones [4]. Los productos los cuales utilizan para hacer el cemento tenemos:

- Clíntler de cemento portland, que lo realiza por sí solo, pero por muchas irregularidades que se presentan se le adicionan reguladores de fraguado, que por lo general son sulfato cálcico en algunas de variedades o mezcla de ellas. [4]
- Escorias granuladas básicas, cuyas propiedades hidráulicas en estado latente se manifiestan por intervención de un catalizador el cual es hidróxido cálcico, portlandita, anhídrita y/o otros. [4]
- Puzolanas naturales o artificiales, capaces de fijar la cal a una temperatura ambiente o si se tiene agua, formando compuestos con propiedades hidráulicas. [4]

Los productos fundamentales que se utilizan para la fabricación de cemento que posteriormente será utilizado en elementos de construcción son[4]:

- Clíinker[4]
- Reguladores de fraguado[4]
- Adiciones hidráulicamente activas[4]

3.2.1. Historia del cemento

Desde que el hombre dejó de habitar en cavernas, creció su interés por limitar su espacio vital y mejorar sus condiciones de habitabilidad a través de los años. Es este hecho el que marca el inicio de las construcciones en la antigüedad. Varias investigaciones demuestran, en territorio israelí y de la antigua Yugoslavia, hallazgos de restos de primitivas construcciones en la antigüedad. [3]

Posteriormente se creó el cemento Portland a mediados del siglo XVIII por el reverendo inglés James Parker, hecho que aconteció de manera accidental, al quemar unas piedras calizas. Este descubrimiento fue bautizado como cemento romano, porque entonces se pensaba que era el que se había utilizado en los tiempos de esta civilización, empezando a utilizarse en diversas obras en el Reino Unido. Posteriormente, Joseph Aspin y James Parker patentaron el 21 de octubre de 1824, el primer Cemento Portland, obtenido a partir de caliza arcillosa y carbón. Luego fue Isaac Johnson quien mejoró este proceso de producción, aumentando la temperatura de calcinación, obteniendo en 1845, el prototipo del cemento moderno, elaborado con base en una mezcla de caliza y arcilla calcinada a altas temperaturas, hasta la formación del Clinker. [3]

En la actualidad el cemento Portland se obtiene al calcinar mezclas de calizas y arcillas; preparadas artificialmente a una temperatura de aproximadamente 1500 Celsius. El producto resultante, que es el denominado Clinker se muele añadiendo una cantidad adecuada de regulador de fraguado; que suele ser piedra de yeso natural. [3]

3.2.2. Fabricación del cemento

Se inicia con la selección y explotación de las materias primas para su procesamiento[1]. Las materias primas para su fabricación y sus proporciones generales son las siguientes:

Cuadro 2: Proporciones generales del concreto

Porcentaje	Componentes químicos	Procedencia usual
95 %	Óxido de Calcio (CaO)	Rocas calizas
	Oxidación de Sílice (SiO ₂)	Arenisca
	Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas
	Óxido de Hierro	Arcillas, Mineral de Hierro, Pirita
5 %	Óxido de Magnesio, Sodio	Minerales Varios
	Potasio, Titanio, Azufre	
	Fósforo y Manganeso	

[1]

Se comienza con una explotación de la cantera de la materia prima que se utilizara, para que luego ésta se someta a un proceso de pulverización primaria, en el cual se reduce su tamaño a una piedra de aproximadamente 5 pulgadas, para después procesar ese material con otra pulverizadora secundaria, que lo reducirá hasta un tamaño aproximado de 3/4 pulgadas, para posteriormente introducirlo en una molienda. Los materiales son molidos individualmente hasta ser convertidos en polvo fino. Finalmente serán dosificados y mezclados en las proporciones necesarias para el tipo de cemento que se desea obtener y utilizar. [1].

Terminado esto, existe un proceso el cual es húmedo o seco; consta de colocar los materiales ya mezclados en un horno giratorio consistente en un gran cilindro metálico, que posee una ligera inclinación con respecto a la horizontal del orden de 4 por ciento y una velocidad que oscila entre 30 a 90 revoluciones por hora. La temperatura desarrollada a lo largo del horno, produce primero evaporación de agua y luego liberación de CO₂. [1]

En la etapa final del proceso se enfría el clinker y es molido en un molino de bolas conjuntamente con yeso en pequeñas cantidades, estas varían de 3 % a 6 %. Esto produce un polvo de tamaño muy fino que contiene hasta 1.1×10^{12} partículas por kilogramo y que logra pasar por un tamiz No. 200. El proceso húmedo es parecido al seco solo que este es mezclado con agua, lo cual forma una lechada, que es introducida al horno rotatorio. [1]

El proceso seco es mucho más dañino para el medio ambiente, pero es más económico. A diferencia del proceso húmedo, el cual es más costoso desde el punto de vista económico, pero menos dañino para el medio ambiente, ya que no libera la misma cantidad de CO₂ al ambiente. [1]

Composición del Cemento Portland

Luego de los procesos anteriormente descritos se obtienen compuestos establecidos por primera vez por Le Chatelier en 1852, los cuales definen el comportamiento del cemento hidráulico.[2]

- Silicato tricálcico:
Define la resistencia inicial, y con inicial se refiere a la primera semana y es de suma importancia en el calor de hidratación.[2]
- Silicato dicálcico:
Define la resistencia a largo plazo y tiene incidencia menor en el calor de hidratación. [2]
- Aluminato Tricalcico:
No aporta en la resistencia, pero junto a los silicatos da las condiciones de fraguado violento ya que actúa como un catalizador por lo cual es importante incluir yeso en una Dosificación entre 3 y 6 por ciento para controlar el fraguado.[2]
- Aluminio-Ferrito tetracálcico:
Tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación. [2]
- Óxido de Magnesio:
Recalca su importancia para contenidos mayores del 5 por ciento, ya que esto trae problemas de expansión en la pasta hidratada y endurecida. [2]
- Óxido de Magnesio:
Tiene su importancia para casos especiales de reacciones químicas con ciertos agregados, y los solubles en agua contribuyen a producir eflorescencias con agregados calcáreos. [2]
- Óxido de Magnesio y titanio:
El primero tiene significación en su coloración, ya que en casos donde los contenidos supera el 5 por ciento obtiene disminución de resistencia a largo plazo. El segundo influye en su resistencia ya que lo reduce su resistencia en contenidos superiores a el 5 %. [2]
- Óxido de Magnesio:
Tiene su importancia en la coloración, ya que en casos donde los contenidos supera el 5 % obtiene disminución de resistencia a largo plazo. [2]
- Óxido de titanio:
Influye en su resistencia ya que la reduce en contenidos superiores el 5 %. [2]

Cabe recalcar que los compuestos anteriormente mencionados, los silicatos y aluminatos son los componentes de mayor presencia, pero no significa que son los mas trascendentes. [2]

3.2.3. Tipos de cementos

En los mas importantes y el cual no sirve para esta investigación es el clinker de cemento portland. Este lo hace por sí solo, pero ante irregularidades que presenta se le adiciona un regulador de fraguado, el cual muchas veces es sulfato calcio en algunas de sus variedades o mezclas de ellas [4]. Todos los tipos de cementos que se verán a continuación fueron obtenidos de la NTG 41095 y los cuales son utilizados en Guatemala. Para este trabajo se utilizo concreto tipo UGC el cual es uno de los mas utilizados cotidianamente en Guatemala.

- Tipo UGC - Cemento hidráulico para uso general en la construcción: Esta se utiliza en la mayoría de obras, pequeñas, medianas o grandes, donde no se requiere de cemento con propiedades especiales.
- Tipo ARI - Alta Resistencia Inicial: Para obras especiales de concreto simple, reforzado y presforzado de endurecimiento rápido y altas resistencias iniciales, para la prefabricados liviana y de elementos estructurales y cuando se requiere desencofrado y desmolado rápido.
- Tipo DLR - Desarrollo lento de resistencia: Para la estabilización de suelos. Este para concreto compactado con rodillo (CCR) para pavimentos y para presas. Se debe despachar preferentemente granel.
- Tipo MRS - Moderada resistencia a los sulfatos: Se utiliza para concretos los cuales se encuentran en aguas y terrenos que puedan contener sulfatos. Concretos en aguas marinas o en ambientes marinos y que estén expuestos a concentraciones moderadas de sulfatos de calcio, sodio y magnesio, en aguas ó suelos.
- Tipo ARS - Alta resistencia a los sulfatos:

Parecidos a el cemento tipo MRS, pero como lo dice su nombre se utilizan en donde se requiere una alta resistencia.
- Tipo MCH - Moderado calor de hidratación:

Para obras de concreto masivo susceptibles de fuerte retracciones por variaciones térmicas y peligro de fisuración. Ejemplos de esto son las presas, estribos, cimentaciones, muros gruesos y grandes losas. Otra utilizada son para obras de concreto normal en ambientes calurosos.
- Tipo BCH - Bajo calor de hidratación:

Se utiliza cuando interesa que el concreto desarrolle poco calor a partir de la hidratación del cemento, como es el caso de las presas de concreto, bases de grandes dimensiones y otras construcciones masivas.

3.2.4. Requisitos físicos

Cuadro 3: Requisitos físicos de cada tipo de cemento utilizado en Guatemala

Requisitos físicos								
	Método de ensayo	Tipos de Cemento						
		UGC	ARI	DLR	MRS	ARS	MCH	BCH
Finura	C430 C240	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)	(A)
Expansión en autoclave, cambio de longitud en porcentaje % en máximo	C151	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Expansión le Chatelier, en milímetros. B	En 196-3	10	10	10	10	10	10	10
Tiempo de fraguado Vicat en minutos Inicial, no menor que Inicial, no mayor que. C	C191	45	45	45	45	45	45	45
Contiene de aire en el mortero, en porcentaje	C185	(D)	(D)	(D)	(D)	(D)	(D)	(D)
Resistencia A compresión mínima en MPa, (psi). E	C109/C109M							
1 día		-	12 (1740)	-	-	-	-	-
3 días		13 (1890)	24 (3480)	-	11 (1600)	11 (1600)	5 (725)	-
7 días		20 (2900)	-	-	18 (2610)	18 (2610)	11 (1600)	11 (1600)
28 días		28 (4060)	-	11 (1600)	-	25 (3620)	-	21 (3050)
90 días		-	-	18 (2610)	-	-	-	-
Calor de Hidratación, máximo 7 días, kJ/kg (kcal/kg) 28 días kJ/kg (kcal/kg)	C186	-	-	-	-	-	290(70)	250(60)
Expansión de la barra de mortero, % máximo 14 días	C 1038	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
Expansión a los sulfatos (Resistencia a los sulfatos). F	C 1012							
6 meses, % máximo		-	-	-	0.10	0.05	-	-
1 año, % máximo		-	-	-	-	0.10	-	-

[5]

Cuadro 4: Requisitos físicos de cada tipo de cemento utilizado en Guatemala

Opción BRA/R Baja reactividad con agregados reactivos a los álcalis (G)								
Expansión barra de mortero	C227							
14 días, % máximo		0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
56 días, % máximo		0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
Opción BL Color blanco								
Índice de blancura, % min		70	70	70	70	70	70	70
Opción A con incorporador de aire								
Contiene de aire en el mortero, en %. D	C185	19 ± 3	19 ± 3	19 ± 3	19 ± 3	19 ± 3	19 ± 3	19 ± 3
Requisitos físicos opcionales								
Endurecimiento inicial	C451	50	50	50	50	50	50	50
Penetración final, mínima, %								
Resistencia a la compresión, MPa , mín. E	C109/109M	-	-	-	28 (4060)	-)	22 (3190)	-
7 días	C596	(H)	(H)	(H)	(H)	(H)	(H)	(H)

[4]

Para las tablas anteriores la Norma Técnica Guatemalteca da algunas observaciones, las cuales serán las siguientes [4]:

- A: Los certificados que sean solicitados al fabricante, se deben consignar ambos resultados, el de ensayos de residuo en el tamiz (No.325) y la superficie específica del permeabilmetro de aire Blaine, en m^2/kg .
- B: Ensayo opcional, alternativo al de expansión en autoclave.
- C: Cuando se habla de tiempo de fraguado inicial en el método de ensayo C191.
- D: El contenido de aire se debe consignar en todos los certificados solicitados al fabricante. El valor obtenido en el mortero no necesariamente asegura que el contenido de aire deseado en el concreto.
- E: Los cementos se despachan antes que se dispongan de datos de edad tardía. En estos casos el dato de ensayo queda en blanco. Una alternativa del fabricante es proveer estimados basados en datos del historial de la producción.
- F: En el ensayo para el cemento ARS, no se requiere el ensayo a un año cuando el cemento cumple con el límite de 6 meses. Un cemento ARS que falle en el límite de 6 meses no debe ser rechazado a menos que también falle en el límite de un año.
- G: Este requerimiento no debe de ser cumplido a menos que vaya a ser utilizado con agregados reactivos con los álcalis.
- H: A solicitud del comprador, debe suministrarle le datos sobre la contracción por secado.

3.3. Agregados

Estos constituyen un factor determinado en la economía, durabilidad y estabilidad en obras civiles, ya que estos ocupan un volumen muy importante en la elaboración de concreto. Este siempre se agrega como un porcentaje de volumen total, el cual por ejemplo en el concreto hidráulico el valor varía de 65 % a 85 %, en el concreto asfáltico 92 % a 96 %.[5]

Una forma de clasificar los agregados es mediante su tamaño. Esto dependerá del número de tamiz que pase el agregado.[5] Esto se observa de buena forma en la siguiente tabla.

Cuadro 5: Selección de tipo de agregado

Tamaño de la partícula en mm	Denominación	Clasificación
Pasante del tamiz No. 200 inferior a 0.002 mm Entre 0.002 -0.0074 mm	Arcilla Limo	Fracción fina o finos
Pasante del tamiz No. 4 y retenido en el tamiz No. 200 Es decir entre 4.76 mm y 0.074 mm	Arena	Agregado fino
Retenido en el tamiz No. 4 Entre 4.76 mm y 19.1 mm (No.4 y 3/4") Entre 19.1 y 50.8 mm (3/4z 2") Entre 50.8 mm y 152.4 mm (2z 6") Superior a 152.4 mm (6")	Gravilla Grava Piedra Rajón, Piedra bola	Agregado Grueso

[5]

3.3.1. Características físicas

Las características principales en los agregados son densidad, resistencia, Porosidad, la distribución volumétrica de las partículas, la cual se conoce comúnmente como granulometría. Estas características deben de ser relacionadas con una cantidad de ensayos o pruebas, que miden las propiedades para ser comparadas con valores de referencia establecidos o para emplearlas en el diseño de mezcla.[2]

Peso específico

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. En las normas ASTM C-127 y C-128 se encuentra el procedimiento estandarizado para su determinación en el laboratorio, distinguiéndose maneras de expresarlo, en función de las condiciones de saturación. En estas normas se muestra la distribución de los volúmenes de sólidos, poros y vacíos para agregado secado al horno, donde se establecen las expresiones para la determinación en laboratorio y cálculo del peso específico. Estas expresiones son adimensionales por lo cual se debe de multiplicar por la densidad del agua para conseguir las unidades deseadas. Los valores límite se encuentran entre los 2500 y 2750 kg/m³. [2]

Peso unitario

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total, incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas, esta es influenciada por la manera en que se acomodan las mismas partículas, lo cual lo convierte en un parámetro hasta cierto punto ambiguo y relativo. Su evaluación es estandarizada por la Norma ASTM C-29, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de diámetro de 5/8 pulgadas en 3 capas. Este valor obtenido, es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezcla, para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso, a dosificaciones en volúmenes. Para este valor obtenido, hay que tomar en consideración que estas conversiones asumen que el material en su forma natural, tiene un en la prueba estándar. Esto no es cierto por las características de compactación indicadas. [2]

Se recomienda realizar por lo menos cinco determinaciones de peso unitario suelto en proporciones de muestras de agregados, que representen varios niveles de las pilas de almacenaje para así demostrar las posibles variaciones que este tiene por segregación. Este valor de peso unitario debe para agregados normales oscila entre 1500 y 1700 kg/m³. [2]

Porcentaje de vacíos

Volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados. Depende también del acomodo entre partículas, por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario.[2] La Norma ASTM C-29 indicada anteriormente establece la fórmula para calcularlo, empleando los valores de peso específico y peso unitario estándar:

$$\%V = 100 \cdot \frac{S \cdot W - M}{S \cdot W} \quad (1)$$

Donde:

- $\%V$ = Porcentaje de vacíos
- S = Peso específico de masa
- W = Densidad del agua
- M = Peso unitario compactado seco

3.3.2. Granulometría

Esta se refiere al estudio del tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de estas en una masa de agregados. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado, a través de una serie de tamices estándar dispuestos de mayor a menor. Esto se debe realizar mediante la norma NTC No. 77. Los resultados se colocan en una tabla que debe contener: peso de la muestra ensayada, peso del material retenido en cada malla, porcentaje del material retenido, porcentaje retenido acumulado y porcentaje que pasa. [6]

Para una mejor visualización de la distribución del agregado, los resultados de un análisis granulométrico se grafican mediante una curva granulométrica, en la cual aparece sobre las ordenadas, en escala aritmética, el porcentaje que pasa a través de los tamices y sobre las abscisas, en escala logarítmica o en escala aritmética, la abertura de los tamices. [6]

3.3.3. Agregado fino

Este se define como aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa por el tamiz NTP 9.4mm (3/8") y cumple con los límites establecidos en las Norma ASTM C 33. Esta esta constituida con arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Las partículas deben de ser limpias y de perfil angular, duras, resistentes y compactas. Libres de partículas escamosas o blandas, materia orgánica o cualquier otra sustancia que sea dañina para el concreto. [1]

3.3.4. Granulometría de agregado fino

Este agregado deberá estar graduado dentro de los límites indicados en ASTM C 33, debe ser uniforme y continuo, con valores retenidos en las mallas No. 4 a No. 100 de la Serie Tyler. Para el Agregado fino se recomienda tener los siguientes límites [7] :

Cuadro 6: Límites de agregado fino

Malla	Tamaño del agujero	Porcentaje que pasa
3/8"	9.50 mm	100
No. 4	4.75 mm	95 a 100
No. 8	2.36 mm	80 a 100
No. 16	1.18 mm	50 a 85
No. 30	600 micrones	25 a 60
No. 50	300 micrones	10 a 30
No. 100	150 micrones	2 a 10

[7]

Se debe recalcar que el porcentaje retenido en dos mallas sucesivas no excederá del 45 por ciento. Preferentemente el módulo de fineza no deberá ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1 los cuales se deben mantener dentro de los límites de más o menos 0.2 del valor asumiendo para la selección de las proporciones de la mezcla. Si este llegara a sobre pasar el valor asumido, se podrá autorizar ajustes por la supervisión en las proporciones de la mezcla. Esto para compensar las variaciones en la granulometría. [7]

3.3.5. Agregado grueso

Este se define como material que es retenido en el tamiz NTP 4.75 mm, o número 4 y que cumple con los límites establecidos en las Norma ASTM C33. Está formado por piedra partida, grava natural o triturada, agregados metálicos tanto naturales como artificiales,

concreto triturado o una combinación de todo lo anterior descrito. Estas partículas deben ser angulares o semi angulares, limpias, duras, compactas, resistentes, una textura rugosa, libres de materiales escamoso o partículas blandas. Estas partículas deberán de ser químicamente estables y estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, sales, humus, materia orgánica, u otras sustancias dañinas. [1]

Granulometría agregado grueso

Debe estar graduado entre los límites especificados en las Normas ASTM C 33. La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua y deberá permitir la densidad adecuada del concreto para su trabajabilidad, en función de la colocación del concreto. Esta no deberá tener más del 5 por ciento del agregado retenido en la malla 1 1/22, y no más del 6 por ciento del agregado que pasa de la malla de 1/4". [1]

Partículas perjudiciales

Las partículas las cuales logran estar presentes en los agregados no deben exceder los siguientes valores.

Partículas perjudiciales	
Arcilla	0.25 %
Partículas blandas	5 %
Material más fino que la malla No. 200	3 %
Carbón y lignito	
a) Cuando el acabado final es de importancia	0.5 %
b) otros concretos	1 %

[1]

Un agregado que exceda estos valores, se utilizado siempre y cuando haya cumplido con los requisitos especificados o tenga características satisfactorias cuando es ensayado en el laboratorio. [1]

Criterios de selección

Los límites del Agregado grueso que corresponden a cada designación deberán garantizar un comportamiento satisfactorio en el concreto para los respectivos tipos y ubicación de la construcción. [1]

Un elemento estructural suele ser realizado con concretos de diferentes tamaños de agregado grueso, el proyectista si desea que el agregado grueso de todo el concreto cumpla con los requisitos más restrictivos, a fin de reducir los cambios de comportamiento del concreto en su relación a la mejor clase del agregado. Esto debe ser tomado en cuenta en proyectos pequeños. [1]

3.4. Funciones de los agregados

Los agregados tienen tres principales funciones en el concreto las cuales son las siguientes; proporcionar una cantidad de relleno adecuado para la mezcla de concreto, reduciendo la el contenido de esta por unidad de volumen y, por lo tanto, reduciendo el costo de la unidad cúbica de concreto. La segunda es proporcionar partículas las cuales se puedan aglomerar y hacer una masa capaz de resistir las fuerzas o acciones mecánicas, de desgaste, o de endurecimiento, que puedan actuar sobre el concreto. Y, por último, reducir los cambios de volumen ocasionado por el fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado; o por un calentamiento de la pasta. [1]

Una de las funciones importantes sobre el agregado fino es que este se vuelve un lubricante del agregado grueso, ayudando a colocar el material de tamaño mayor uniformemente distribuido en la masa del concreto. [1]

3.5. Interrelación entre agregados y concreto

Las propiedades del concreto resultante del empleo de un agregado determinado depende de cite[1]:

- La composición mineral de las partículas de agregado, la cual tiene influencia en la durabilidad y elasticidad del concreto.
- Características superficiales de las partículas ya que están tienen influencia en la trabajabilidad, fluidez y consistencia del concreto. de la misma forma la adherencia entre la pasta y el agregado.
- las propiedades que influyen sobre el concreto en su esta no endurecido, la Densidad y sobre la economía de la mezcla, las cuales son la granulometría de el agregado fino y grueso, superficie específica, módulo de fineza y el tamaño máximo del agregado grueso.
- El volumen de agregado por unidad de volumen del concreto, el cual influye especialmente en los cambio de volumen debidos a los procesos de humedecimiento y secado; a los procesos de enfriamiento y calentamiento, así como los costos de la unidad cúbica de concreto.
- La porosidad y absorción del agregado, las cuales influyen sobre la relación agua-cemento efectiva, así como las propiedades del concreto no endurecido. Naturaleza y materiales del concreto.

3.6. Importancia de la porosidad de los agregados

Los poros corresponden a espacios que están en el concreto fuera de los límites de agregado. Sin embargo, estos son porosos y permeables lo cual significa que varía el total de los poros, de acuerdo a los diferentes tipos de rocas estos suelen ser entre 0.3 % y el 20 % [1]

En algunas rocas se presentan los macroporos, los cuales son poros suficientemente grandes como para que los efectos de la capilaridad en ellos sean muy pequeños o despreciables. Los macroporos que se encuentran en la superficie de el concreto o la roca suelen ser llenados fácilmente por inmersión de la roca en agua siempre que estos estén conectados por otros macroporos. En cambio, si estos se encuentran dentro del cuerpo de la roca y se encuentran separadas de la superficie por una fina estructura porosa que no es fácilmente permeable, no deberán llenarse rápidamente por un proceso ordinario tal como una prolongada inmersión en agua. La porosidad de los agregados naturales generalmente empleados en la dosificación de concreto de peso normal, se encuentran con un porcentaje debajo de 10 y muy seguramente por debajo de el 3 por ciento, en comparación de la porosidad completa de la mezcla final que es de un 30 por ciento. Por lo tanto se espera que a partir de estos valores la permeabilidad de los agregados utilizados sea mucho menor que la de la pasta. [1]

3.7. Resistencia por adherencia pasta-agregado

La capacidad que pueda tener de adherencia entre los agregados y la pasta esta mayormente influenciado por la textura superficial, composición mineral, tamaño, perfil y limpieza del agregado. Por lo general, la pasta se une con mayor facilidad en una superficie rugosa que a una suavizada. Cabe recalcar que esto es un factor mas a considerar del agregado grueso que de el agregado fino. [1]

Una explicación del por que la relación entre la capacidad de adherencia y el tamaño del agregado es que en la pasta el proceso de endurecimiento suele estar acompañado por cambios dimensionales, lo cual son, en algunas ocasiones, lo bastante grandes como para dar origen a considerables esfuerzos internos en la película de pasta en contacto con la superficie de los agregados. Esto ocasiona un oposición a la pasta de moverse. Esto quiere decir que entre mayor sea la superficie, mayor es el esfuerzo desarrollado y menor la capacidad de adherencia. [1]

3.8. Agua de mezcla

Es importante que el agua se utilice para la realización de mezclas de concreto este libre de ácidos, bases, aceites y materias orgánicas. Es preferible que contenga una cantidad menor de 2000 ppm de sólidos disueltos. No se prohíbe la utilización de aguas negras siempre y cuando estas hayan sido tratadas. Se tolera 2000 ppm de partículas finas de limo, arcilla o roca en el agua de que se utilizara para la mezcla de concreto.[1]

Por otra parte, los bicarbonatos de sodio y potasio ocasionan aceleración o un retardo el fraguado, de la misma forma que sales de manganeso, estaño, zinc, cobre y plomo, com-

puestos del sodio iodatos, fosfatos, arsenatos y boratos. Por lo tanto, para los bicarbonatos, se permite concentraciones que no sobrepasen los 1000 ppm, para los demás descritos, se permite concentraciones de hasta 500 ppm. A excepción del sulfuro de sodio el cual se permite solo hasta 100 ppm. Es permitido utilizar agua de mar para mezclar concretos que contengan concentraciones de 35000 ppm, 3.5 %, pero no para concretos de refuerzos. Esta agua le da un endurecimiento con más rapidez, pero afecta a su resistencia.[1]

Las aguas ácidas con pH menor que tres deben evitarse. El pH del agua neutra es de siete, por lo tanto valores menores a esta indican grados de acidez y los que sobre pasan dicho valor indican alcalinidad en la misma. Las aguas alcalinas con concentraciones de oxido de sodio de hasta un porcentaje de 0.45 del peso del cemento es posible utilizar. Concentraciones mayores afectan la resistencia del concreto.[1]

A continuación se presentara en partes por millos los valores aceptados como máximos para agua utilizadas en el concreto

Cuadro 7: Valores máximos de sales y sustancias presentes en el agua

Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles totales	500 ppm
pH	mayor a 7
Sólidos en suspensión	1.500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

[1]

3.9. Polipropileno

Este es de los plásticos más utilizados en envases de bebidas y textiles, por lo tanto, lo convierte en uno de los mayores desechos arrojados a mares y tierras. Este se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Entre sus propiedades se encuentra: alta resistencia al desgaste y corrosión, muy buen coeficiente de deslizamiento, buena resistencia química y térmica, buena barrera a CO₂ y aceptable a humedad, etc.[8]

Su capacidad para cumplir diversas especificaciones técnicas han sido las razones por las que el material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de fibras textiles y en la producción de una gran diversidad de envases. [8]

3.9.1. Propiedades mecánicas

Cuadro 8: Propiedades mecánicas de Polipropileno - PP

Propiedades mecánicas	Valor	Unidad	Comentario
Esfuerzo de tracción	33	MPa	ASTM D638
Módulo de tracción	1.31	GPa	ASTM D638
Alargamiento de rotura	400	%	ASTM D638
Esfuerzo de flexión	33.1	MPa	ASTM D790
Módulo de flexión	1.34	GPa	ASTM D790
Esfuerzo de compresión	34.5	MPa	10 % de deformación, ASTM D695
Módulo de compresión	1.38	GPa	ASTM D695
Gravedad específica	0.91	g/cm ³	ASTM D792

[9]

Estos valores fueron obtenidos por las pruebas realizadas por, se tomaran como referencia para la realización de este trabajo.

3.10. Polietileno

Este es un polímero sintético termoplástico que se obtiene por polimerización del etileno. Es parcialmente cristalino y parcialmente amorfo, de color blanquecino y translúcido. [10]

3.10.1. Polietileno de Alta Densidad (PEAD)

Este es un polímero con una estructura lineal y con pocas ramificaciones. Se extrae por una polimerización del etileno a presiones relativamente bajas utilizando catalizadores. Este contiene una densidad comprendida entre 0.941 - 0.954 gr/cm³, a su vez e incoloro, inodoro, no toxico y resiste tanto a esfuerzos como a agentes químicos. [10]

Las aplicaciones de este polímero son muy variadas, ya que por sus propiedades fisico-químicas, fácil procesamiento y costo bajo lo hacen uno de los termoplásticos mas utilizados en nuestra sociedad. [10]

Sus aplicaciones van desde, aislantes eléctricos, empaques, tuberías, botellas, juguetes, cajas, bolsas, tanques para agua, pistas de patinaje, redes de pescas y chalecos antibalas.

Envase

Este es un recipiente contenedor cuya función es proteger el producto y dar soporte para su transporte. Entre los productos que se envasan con este polímero se encuentran los de consumo diario, tanto productos de limpieza del hogar como alimenticios, así como los de productos industriales. [10]

Empaque

Este recipiente contenedor tiene características de flexibilidad y una facilidad de doblar. Las propiedades fisicoquímicas del polietileno de alta densidad lo colocan como un material con una flexibilidad, transparencia y resistencia adecuada para los materiales sintéticos utilizados para la fabricación de empaques. [10]

Industria eléctrica

Su principal función en esta industria es como aislantes de cable, y alambre y para conexiones y cuerpos de bobina. [10]

Industria automotriz

Se utiliza principalmente en contenedores para aceite y gasolina, conexiones, tanques para agua, tubos y mangueras. [10]

3.10.2. Polietileno de Baja Densidad (PEBD)

Es un polímero termoplástico derivado del petróleo. Este fue creado en 1933 gracias a un proceso de alta presión con polimerización radicada. Este al compararlo con el PEAD, tiene mas ramificaciones de los átomos de carbón, dando como resultado unas fuerzas moleculares mas débiles, lo cual lo vuelven menos fuerte a resistencia atracción. Por estas características se utiliza el PEBD para elementos con mas resistencia, y elementos con mas flexibilidad se utiliza el PEAD. [11]

Aplicaciones

El polietileno a baja densidad se utiliza sobretodo por la producción de películas para acoplar a otros materiales. Se utiliza además para la fabricación de contenedores o materiales de plásticos de varia índole como se puede ver a continuación. [11] Entre los materiales que se realizan están los siguientes:

- Bolsas
- Envases de leche y zumos de fruta
- En bandeja y recipientes para alimentos
- Partes de hardware de computadora
- Tipos de revestimiento de pisos
- Productos desechables (Ej. Botellas Plásticas)

3.11. Ensayo a compresión del concreto

La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se diseñan de tal manera que tengan una amplia variedad de Propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. Esta es una medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide tronando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayo de compresión, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en megapascales (MPa) en el Sistema Internacional. [12]

3.12. Ensayo de revenimiento en el concreto

Este método de ensayo comprende la determinación del Asentamiento del concreto hidráulico, tanto en laboratorio como en campo. En una muestra de concreto recién mezclado se coloca y se consolida por varillado dentro de un molde en forma de cono truncado. Se levanta el molde dejando que el concreto se asiente. Se mide la distancia vertical entre la altura original y la desplaza en el concreto de la superficie superior del concreto y se reporta como asentamiento del concreto. [13]

Este método de ensayo se considera aplicable al concreto plástico preparado con agregado grueso de hasta 37.5 mm ($1\frac{1}{2}$ pulgadas) de tamaño. Si el tamaño del agregado es mayor, el método se utiliza en la fracción del concreto que pasa la malla de 37.5 mm, o sea $1\frac{1}{2}$ pulgadas. Este método no es aplicable en concreto no plásticos y no cohesivos. [13]

El espécimen de ensayo debe hacerse en un molde metálico que no reacción fácilmente con la pasta de concreto. El molde debe tener la forma de la superficie lateral de un cono truncado, con la base de 200 mm de diámetro. La parte superior debe ser de 100 mm de diámetro y la altura de 300 mm. A continuación, se mostrará una figura del molde que se utiliza con su respectiva tabla de unidades dimensionales. Los demás materiales que se utilizan esta prueba son: Varillas apisonadora, dispositivo de medición y cucharón. La muestra de concreto para elaborar los especímenes de prueba debe ser respectivamente de toda la bacheada preparada. [13]

Unidades Dimensionales									
mm	[2]	[3]	[15]	[25]	[75]	[80]	[100]	[200]	[300]
Pulg	1/16	1/8	1/2	1	3	3 1/8	4	8	12

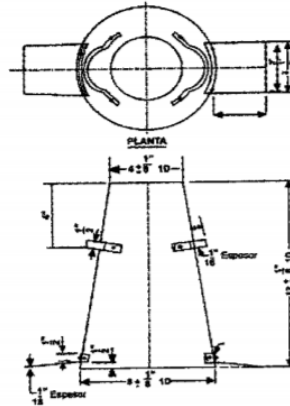


Figura 1: Dimensión del cono de Abrams utilizado en la prueba de revenimiento [13]

Para el procedimiento se debe humedecer el molde y colocarlo en una superficie plana, rígida, no absorbente y húmeda. El molde debe ser mantenido firmemente en su lugar durante su llenado y limpieza de su perímetro. Se debe apisonar con la varilla cada capa 25 veces uniformemente en toda la sección transversal de cada capa. Para la capa del fondo es necesario inclinar la varilla ligeramente y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, continuado con golpes verticales en forma de espiral hacia el centro. [13]

Al llenar y apisonar con la varilla la capa superior se debe hacer que el concreto exceda la capacidad del molde antes de empezar a compresión con la varilla. Si al varillar la superficie del concreto esta se derrama se debe agregar mas de concreto para que en todo momento haya un exceso de concreto sobre la superficie del molde. Cuando ya este completamente lleno y varillado el molde se debe de retirar el molde, levantando cuidadosamente en dirección vertical. Levantar el molde una altura de 300 mm en una cantidad aproximada de 5 segundos. Este debe de ser ascendente uniforme sin movimientos laterales o de torsión. La prueba se debe realizar sin interrupción. Este se debe registrar el asentamiento del espécimen, en milímetros con aproximación de 5 mm o en pulgadas, al $\frac{1}{4}$ pulgada mas cercano. [13]

3.13. Ensayo de temperatura del concreto

La temperatura del concreto depende del aporte calorífico de cada uno de sus componentes, además del calor liberado por la hidratación del cemento, la energía que se genera en el mezclado y el medio ambiente. Estos se realiza por medio de termómetros especialmente diseñados para esta finalidad, o calcularse a partir de la temperatura de los ingredientes de la mezcla. [14]

3.14. Impacto de los plásticos en los últimos años

Según un estudio realizado por la ONU desde los años 50 el crecimiento en la producción de plásticos ha superado en gran medida a la de los demás materiales, y tomando en cuenta un cambio de producción de plásticos duraderos a plásticos de un solo uso. El consumo mundial de plástico se ha estimado observando el aumento en la cantidad de residuos plásticos producidos. Los plásticos de un solo uso, como lo son los envases y se estima que en el 2015 cerca de 50 % de los residuos plásticos generados fueron envases plásticos. [15]

Entre estos se encuentran envases plásticos realizados con Polipropileno, como envases para microondas, tinas de helados, bolsas de papas fritas y tapas de botellas.

En la siguiente imagen se observa el incremento de generación de residuos plásticos a lo largo de los años.

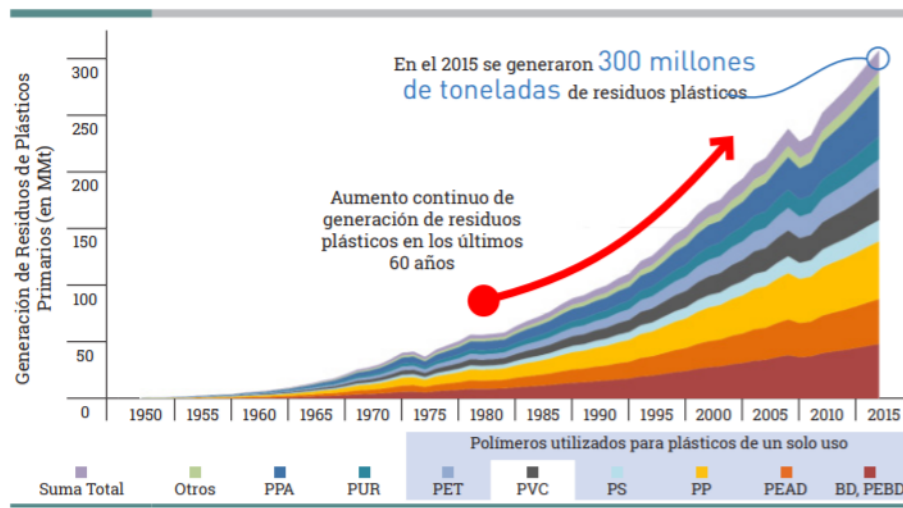


Figura 2: Gráfica de aumento de residuos plásticos en los últimos 60 años [15]

Al final del ciclo de vida de estos productos son reciclados, incinerados y enterrados en vertederos, los cuales muchas veces no son regulados o son desechados al medio ambiente. Según los cálculos de este estudio el 79 % de los residuos plásticos quedan en vertederos, el 12 % son incinerados y solo un 9 % son reciclados. Estos datos son a nivel mundial ya que en Guatemala no se tiene este tipo de dato.[15] El único dato que se ha logrado obtener fue el dicho por personas de el medio, los cuales indican que solo 5 % de estos valores se reciclan.

Otro dato interesante dado por este estudio es que solo un aproximado de 2 % de el reciclado se recicla eficientemente, y los demás son reciclados para usos menores o son desperdiciados en el proceso.[15]

3.15. Impacto ambiental de mineras y canteras

Las operaciones de explotación de canteras los cuales incluyen tránsito de maquinaria, carga, trituración y corte y tratamiento de roca, originan impactos sobre la composición atmosférica a causa de las emisiones de polvo. La contaminación sonora se hace presente la cual generan las obras de desbroce, construcción de caminos y el ruido el cual produce las operaciones de explotación.[16]

El impacto en la flora y la fauna también se hace presente. En el impacto de las canteras conlleva la eliminación total de la vegetación en los espacios en los cuales se llevarán a cabo. De acuerdo con la fauna las operaciones de la cantera alejan a la fauna del entorno durante el periodo de explotación.[16]

En el cuadro siguiente se podrá ver con mejor detalle sus impacto ambiental:

Cuadro 9: Impacto ambiental generado por la actividad minera

Tipo de impacto	Características
Contaminación atmosférica por emisión de polvo	<p>Las operaciones de explotación de las canteras (tránsito de maquinaria, carga, trituración y corte y tratamiento de roca) originan impactos sobre la composición atmosférica a causa de la emisión de polvo.</p> <p>Las explotaciones mineras generan además, otros contaminantes por combustión, entre ellas, partículas sólidas, CO₂, CO y NO_x.</p>
Contaminación sonora	<p>Se genera por las obras de desbroce, construcción de caminos y el ruido procedente de las operaciones de explotación.</p> <p>A esto se suma el ruido procedente de la circulación de vehículos en las parcelas mineras, en actividades de carga, descarga y cuando se entra y sale de las áreas de explotación.</p>
Impacto por la eliminación de flora	<p>La puesta en marcha de las canteras conlleva + la eliminación total de la vegetación en los espacios que serán ocupados por el hueco de la explotación, por los caminos de acceso y otras infraestructuras necesarias.</p> <p>Este proceso, en ocasiones, afecta áreas y especies vegetales protegidas, con las que debe tenerse consideraciones especiales.</p>
Impacto en la fauna	<p>Las operaciones de la cantera alejan a la fauna del entorno durante el periodo de explotación.</p> <p>Los impactos causados se producen por factores tales como la ocupación de la zona, los ruidos y el trasiego de maquinaria y vehículos, entre otros.</p>
Impacto en el paisaje	<p>La actividad minera afecta el paisaje debido a la modificación fisiográfica de la zona y por el cambio de color de ésta al extraer el material.</p> <p>El paisaje visual de la cuenca en la zona minera también cambia.</p>
Impacto por eliminación de suelo	<p>El desarrollo de la cantera conlleva la eliminación de suelo fértil en la parcela que ésta ocupa.</p>
Impacto por el beneficiado de materiales	<p>El beneficiado del mineral se realiza mediante trituraciones.</p> <p>Los impactos dependen de la naturaleza de las instalaciones, aunque caben resaltar: impactos atmosféricos por emisión de polvo, generación de residuos y lodos en los procesos industriales; generación de depósitos de materiales estériles; e impactos visuales debido a instalaciones poco integradas con el entorno.</p>

[16]

4.1. Granulometría y propiedades de agregados

Los agregados fueron proporcionados por la empresa "La Roca", ubicada en zona 18, ciudad de Guatemala, además la empresa colaboró con la realización de la granulometría y las características del agregado grueso y el agregado fino las cuales se presentan en las gráficas a continuación.

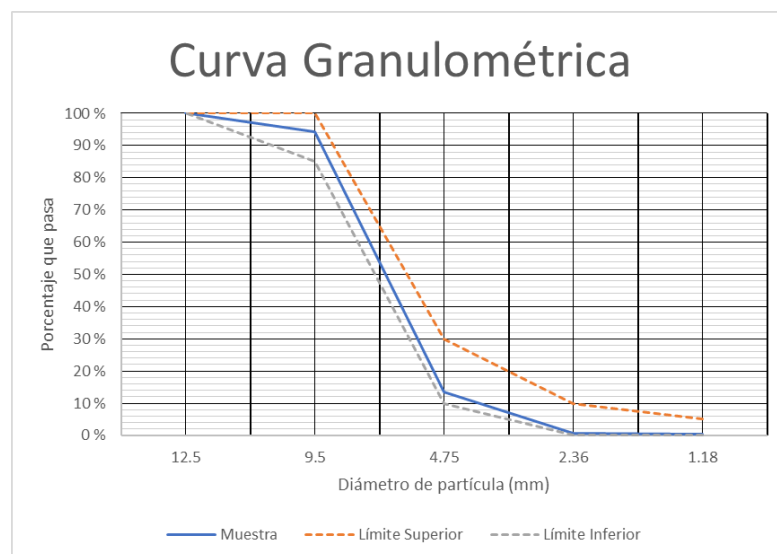


Figura 3: Granulometría de agregado grueso obtenido por la empresa "La Roca"

Cuadro 10: Verificación de granulometría agregado grueso

Tamiz		Porcentaje que pasa	
mm	N°	Piedrin de 3/8"(No. 8)	Muestra
12.5	16	100	100
9.5	8	85 - 100	94
4.75	4	10 - 30	14
2.36	3/8"	0 - 10	1
1.18	1/2"	0 - 5	0
Cumple			

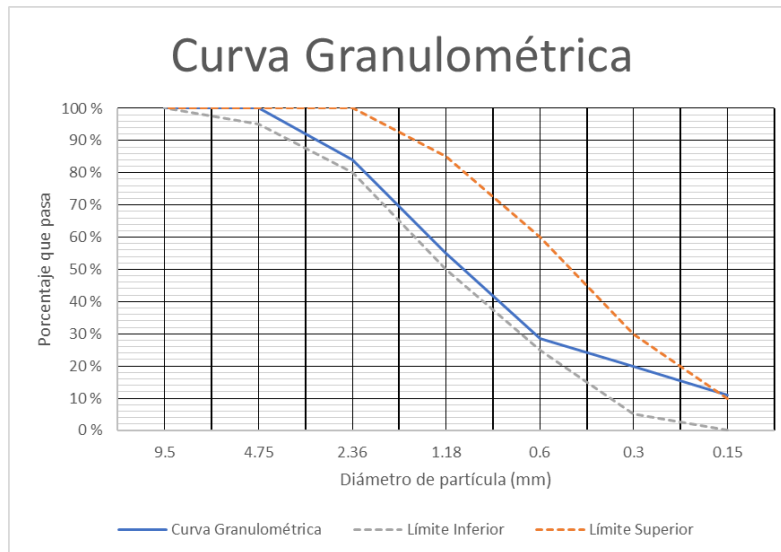


Figura 4: Granulometría de agregado fino obtenido por la empresa "La Roca"

Cuadro 11: Verificación de granulometría agregado fino

Tamiz		Porcentaje que pasa		
mm	N°	Arena natural	Arena manufacturada	Muestra
9.5	3/8"	100	100	100
4.75	4	95 - 100	95 - 100	100
2.36	8	80 - 100	80 - 95	84
1.18	16	50 - 85	45 - 95	55
0.6	30	25 - 60	25 - 75	29
0.3	50	5 - 30	10 - 35	30
0.15	100	0 - 10	8 - 20	10
Cumple				

Posterior a los resultados de la granulometría de agregados finos y gruesos utilizados en la realización de los especímenes de concreto, se determinó que sí cumplen los criterios para ser utilizados en la realización de concreto.

4.2. Selección del agregado plástico a utilizar

Para la realización de este trabajo uno de los mayores retos fue encontrar una empresa que proporcionase el material plástico previamente triturado. Posteriormente se contactó a una empresa que proporcionó el plástico totalmente reciclado y que ofertaba dos tipos de plástico: Polietileno y polipropileno.

Se realizó una búsqueda para encontrar las propiedades mecánicas de estos dos polímeros y determinar cuál se utilizaría, se encontraron fichas técnicas sobre estos valores y se concluyó en utilizar polipropileno, por ser el material que presenta mejores características mecánicas, partiendo de las diferencias entre la resistencia de ambos materiales. El cuadro comparativo se presenta a continuación.

El cuadro comparativo es el siguiente:

Cuadro 12: Comparativa entre los materiales utilizados

Comparativa entre los materiales polimericos		
Polietileno	Ventajas	Desventajas
	Mejores características para esfuerzos de impacto y desgaste	Material mas pesado
	Menor costo	Menor resistencia a compresión
Fácil reciclaje		
Polipropileno	Material mas liviano	Costo mas elevados
	Resistencia mecánicas altas; específicamente a compresión	dificultad de reciclaje
	Mejor a altas temperaturas	Características a desgaste mayores

4.3. Diseño de mezcla

Para el diseño de mezcla se utilizó el método empleado por el ACI 211, el cual determina la combinación más práctica de los materiales, esto con el objetivo de elaborar un concreto, que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de uso.

Para poder llegar a esto el método ACI 211 declara que se debe cumplir al menos tres propiedades en el concreto y se mencionan a continuación: trabajabilidad aceptable de concreto fresco, la resistencia, durabilidad, densidad y apariencia del concreto endurecido y economía.

Según el procedimiento descrito en ACI 211, se debe utilizar dos métodos para tratar los materiales que se agregue a la mezcla de concreto de peso normal:

1. En un peso estimado del concreto por medio de un volumen unitario.
2. En el cálculo del volumen absoluto ocupado por los componentes del concreto.

En esta investigación, se utilizó el segundo método ya que se adapta al conocimiento teórico y práctico que se posee sobre este tema.

Los métodos anteriormente descritos, suministran una aproximación preliminar de las cantidades de los materiales que se utilizó para la elaboración del concreto, se realizaron verificaciones mediante mezclas de prueba en el laboratorio y se realizaron los cambios necesarios para obtener la mezcla, con las propiedades del concreto fresco y endurecido que se deseaba.

El método que propone el Comité del ACI 211, consta de nueve pasos:

1. Elección del revenimiento
2. Elección del tamaño máximo de agregado
3. Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire
4. Selección de la relación agua - cemento
5. Cálculo del contenido de cemento
6. Estimación del contenido de agregado grueso
7. Estimación del contenido de agregado fino
8. Ajustes por humedad del agregado
9. Ajustes en las mezclas de la prueba

4.3.1. Elección del revenimiento

La consistencia del concreto a utilizar se define por el grado de humedad que se encuentra en la mezcla. Esta es una propiedad del concreto fresco y se clasifica en: mezclas secas, mezclas plásticas y mezclas fluidas.

Se debe definir en las especificaciones de obra, qué consistencia o asentamiento posee el concreto fresco a utilizar. Sin embargo, si no se indica, la siguiente tabla ayuda a seleccionar un valor adecuado para la determinación de dicho revenimiento. En este trabajo, se especificó un revenimiento de un máximo de 4 pulgadas y un mínimo de 1 pulgada, que es comúnmente utilizado para la elaboración de vigas y columnas.

Cuadro 13: Revenimiento recomendados para varios tipos de construcción

Construcción de concreto	Revenimiento mm (pulg)	
	Máximo	Mínimo
Zapatatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatatas, cajones y muros de subestructura sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

Comité 211 del ACI

4.3.2. Elección del tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo de agregado que se utilizara debe de ser mayor disponible económicamente y guardar relación con los espaciamiento y dimensiones de la estructura. Se recomienda que por ninguna circunstancia el tamaño máximo debe exceder de:

- 1/5 de la menor dimensión entre los costados de los moldes
- 1/3 del espesor de la losas.
- 3/4 del espacio libre mínimo entre varillas de refuerzo individuales, paquetes de varillas o torones de pretensado.

El tamaño máximo que se selecciono para la mezcla fue de 3/8".

4.3.3. Cálculo de agua de mezclado y contenido de aire

Según la tabla 5.3.3 del apéndice A1 del ACI 211, se proporciona la cantidad de agua utilizada en kg/m³ de concreto y el porcentaje de aire atrapado en función de variables, que dependen del tipo de concreto, el revenimiento y el tamaño máximo nominal del agregado. El tipo de concreto se refiere, a con o sin aire incluido. El revenimiento que se utilizó fue un máximo de 4.^{el} tamaño máximo fue de 3/8".

Se especificó, por último, que el concreto era sin aire incluido. Observando todas las características de los agregados y el revenimiento se seleccionó un valor de 228 kg/m³.

4.3.4. Selección de la relación agua-cemento

A esto se le conoce como una relación entre el agua y cemento y la razón entre el peso del agua respecto al peso del cemento, esto quiere decir que

$$A/C = \frac{Pesodeagua}{Pesodecemento} \quad (2)$$

Cuadro 14: Requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de aire

Revenimiento (mm) (Asentamiento)	Agua, kilogramo por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregados indicados							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
	Concreto sin aire incluido							
25 a 50	207	199	190	179	168	154	130	113
75 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Comité 211 del ACI

Considerado uno de los parámetros más importantes, por su repercusión en la calidad de la mezcla, tanto como en su resistencia y trabajabilidad. Este valor es tomado en cuenta como si el agregado a utilizar estuviese completamente seco, o sea que este no proporciona ni quita humedad a la mezcla de concreto.

Existen dos criterios para seleccionar, valor por durabilidad o valor por resistencia. Para este caso se eligió el valor por resistencia que se deseaba alcanzar. Se seleccionó el valor de 0.57, ya que se quería alcanzar una resistencia de 4000 psi en 28 días. El manual recomienda tener el mejor balance en la relación, para no afectar a la resistencia, trabajabilidad o la colocación.

Cuadro 15: Dependencia entre las relación agua-cemento y la resistencia a compresión del concreto

Resistencia a compresión a los 28 días, lb/in^2	Relación agua- material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
7000	0.33	-
6000	0.41	0.32
5000	0.48	0.40
4000	0.57	0.48
3000	0.68	0.59
2000	0.82	0.74

Comité 211 del ACI

4.3.5. Cálculo del contenido de cemento

La cantidad de Cemento requerido para la mezcla es igual al contenido anteriormente estimado de agua para la mezcla, dividido entre la relación A/C, este valor es obtenido por medio de una unidad de kilogramos de cemento por unidad cubica de concreto.

$$C = \frac{A}{A/C} \quad (3)$$

Donde:

- C = Cantidad de cemento por m^3 de concreto
- A = Cantidad de agua por m^3 de concreto
- A/C = Relación agua-cemento

4.3.6. Estimación del contenido de agregado grueso

En la siguiente tabla se observa el volumen del agregado grueso dado en m^3 , respecto al peso volumétrico varillado seco, para un m^3 de concreto. Este volumen es lo que un m^3 de concreto necesita de agregado grueso, multiplicándolo por el peso volumétrico varillado en seco por m^3 de agregado grueso. Ya que el peso unitario del agregado grueso es de 2.66, se seleccionó el valor de 0.48, por el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Cuadro 16: Volumen del agregado grueso varillado por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo nominal 2* del agregado en mm. (pulgadas)	Volumen del agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (3/4)	0.66	0.64	0.62	0.60
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

Comité 211 del ACI

4.3.7. Estimación del contenido de agregado fino

Para este paso el ACI 211 tiene dos métodos para esta estimación: el método de peso o el método de volumen absoluto. En este trabajo, se utilizó el método de volumen absoluto.

El método de volumen es un procedimiento que tiene mayor exactitud para calcular la dosificación requerida de agregados finos, implica el empleo de volúmenes desplazados por los componentes, consiste en restar el volumen total desplazado por los componentes conocidos, como lo son el agua, cemento y agregado grueso, al volumen unitario del concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen ocupado por cualquier componente en el concreto es igual a su peso dividido entre la densidad de ese material.

4.3.8. Ajustes por humedad del agregado

El agua que se incluirá en la mezcla debe de ser reducida en volumen igual a la humedad que se encuentra en los agregados, considerándose como tal al contenido de humedad del

agregado, menos su porcentaje de absorción. Dependiendo de su estado de humedad el agregado se considera: seco, semi seco, saturado superficialmente seco, húmedo o mojado.

Para determinar el agua que se le debe de añadir a la mezcla se debe de seguir la siguiente formula:

$$\%Ht = \frac{P.humedo - P.seco}{P.seco} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

- %Ht: % Total de agua del agregado o Humedad total.

$$\%Ht = \frac{1 + \frac{\%ht}{100}}{1 + \frac{\%abs}{100}} \times P.terico \quad (5)$$

4.4. Elaboración de cilindros de concreto

Se elaboraron los especímenes de concreto, utilizando los reglamentos de Norma Técnica Guatemalteca - 41061 que proporciona la práctica adecuada para la elaboración de curado de especímenes de ensayo de concreto.

4.4.1. Equipo

A continuación, se describe el equipo utilizados para la elaboración de las pruebas y de los especímenes de concreto analizados.

- Moldes cilíndricos

Los moldes para especímenes en contacto con el concreto deben estar hechos de un material no absorbente, no reactivo con el concreto que contiene cemento portland u otros cementos hidráulicos. Dichos moldes deben mantener sus dimensiones y forma bajo todas las condiciones de uso. Estos deben ser herméticos bajo todas las condiciones de uso. Por último, cabe recalcar que los moldes cilíndricos realizados para este trabajo cumplieron con los requisitos de la especificación C 470/C 470M.

- Varilla de Apisonamiento

Estas varillas deben ser de acero redonda, recta y lisa, con un diámetro conforme a los requisitos de la tabla que a continuación se mostrara. El largo de la varilla de compactación debe ser de al menos 10 milímetros (4 pulgadas), mayor que la profundidad del molde en el que se realiza el varillado, pero no mayor que 600 mm (24 pulgadas) de largo total.

- Mazo

El mazo por utilizar debe de ser de cabeza goma o de cuero crudo con un peso de 1.25 ± 0.5 lb (0.6 ± 0.2 kg).

- Herramientas para el llenado del molde.

- Aparatos de asentamiento.

El aparato para la medición del asentamiento debe cumplir con los requisitos del método de ensayo NTG 41052.

La herramienta la cual selecciona la norma guatemalteca es el cucharón para colocar el concreto, esto cambia respecto a que elemento se esté fundiendo, ya que si es una viga se utiliza una pala, para la elaboración de los cilindros se utilizó un cucharón.

- Recipientes de muestreo

La norma dice que el recipiente debe ser batea de lámina gruesa de metal, una carretilla o un tablero plano, no absorbente, limpio, de capacidad suficiente. En este caso se utilizó una carretilla.

- dispositivos de medición de temperatura.

Los dispositivos de medición de temperatura deben cumplir con los requisitos aplicables del método de ensayo C NTG 41053.

- Mezcladora de concreto

La mezcladora que se utiliza para esto debe ser mecánica o manual. Se utilizó la mezcladora mecánica que se encuentra en el laboratorio de ingeniería civil para realizar las mezclas de concreto.

4.4.2. Número de especímenes de concreto

El número de mezclas que se realizaron fue cuatro, ya que se utilizó una mezcla control, y una mezcla para un 5, 10 y 15 por ciento del agregado fino. Para cada una de las mezclas se realizaron 6 cilindros los cuales fueron ensayados a 7 a 14 y 28 días. Esto para comparar la resistencia para cada edad del cilindro para estas fechas y observar el cambio en su resistencia en el tiempo. Generalmente se recomienda ensayar los cilindros a edades de 7 y 28 días, pero como se dijo anteriormente se quería observar cómo cambiarían los resultados en el tiempo.

4.4.3. Procedimiento para la preparación de la mezcla

A continuación, se describirá como se elaboró la mezcla de todos los elementos que se utilizaron, su colocación, la proporción de la mezcla, el vaciado del concreto, el apisonamiento con las varillas, la vibración que se le realizó a los especímenes, su curado inicial y final. La norma dice que se debe dejar un 10 por ciento de la mezcla que se utilizará en el lugar de colocación.

Mezcla con máquina

El procedimiento de introducción del concreto en la mezcladora fue el siguiente:

Se colocó el agregado grueso y antes de iniciar la rotación de la máquina, se colocó un porcentaje de agua para humedecer el agregado, después se inició la rotación de la mezcladora

para realizar una mezcla del agua con el agregado grueso, seguidamente se colocó el agregado fino y se fue agregando la cantidad de agua poco a poco, para que se esparciera en su totalidad en los agregados. Esto se realizó hasta llegar a una un porcentaje del 90 por ciento que se había añadido del agua total. Se pausó la rotación de la mezcla y se introdujo la cantidad de cemento dada para el diseño de mezcla. Posteriormente se le agregó el 10 por ciento del agua total que faltaba en la mezcla y se dejó mezclar desde ese momento 3 minutos más.

Se cubrió el extremo abierto de la mezcladora para evitar una pérdida de mezcla y evitar la evaporación durante el periodo del reposo.

Vaciado del concreto

El concreto fue vaciado en la carretilla, para posteriormente ser colocado en los moldes a utilizar, éste se depositó en los moldes por medio de un palustre o cucharón, el cual se colocó por medio de 3 capas para llenar el recipiente con correcta compactación y apisonamiento. Por último, se procuró llenar completamente el recipiente para que la muestra fuese representativa para las pruebas de resistencia.

- Número de capas

El número de capas fue con respecto a un tamaño de muestra 12 pulgadas o 300 milímetros. Esto quiere decir que se realizó un apisonado (varillado) de 3 capas iguales.

- Compactación

Debe hacerse según el asentamiento, si el revenimiento quedó entre 3z 1". es viable utilizar un apisonamiento por varillado, si el revenimiento es menor a 1" se de hacer un vibrado por medio de vibradores externos. Para fines de este trabajo sólo se utilizó una compactación por apisonamiento para cada una de las mezclas. En el cuadro 16 se observa que se utilizó un número de 3 capas iguales y una altura de capa aproximada de 100 milímetros o 4 pulgadas.

Cuadro 17: Capas requeridas en la elaboración de la mezcla

Tipos de tamaño de la muestra en mm. (pulgadas)	Método de Compactación	Número de capas	Altura aproximada de la capa en mm (pulgadas)
Cilindros			
Hasta 300 (12)	Apisonado (varillado)	3 iguales	100 (4)
Mayor que 300 (12)	Apisonado (varillado)	Las requeridas	
Hasta 460 (18)	vibración	2 iguales	200 (8)
Mayor que 460	Vibración	3 ó más	

[17]

- Apisonado por varillado

El apisonamiento por cada capa con la parte redonda de la varilla, utilizando el número de golpes y el tamaño de la varilla especificada para dicho molde. La capa inicial se apisona introduciendo la varilla hasta el fondo del molde. La distribución del varillado

debe ser uniforme sobre toda el área que se quiere varillar, en este caso, sobre toda la sección transversal del molde.

Para las capas superiores se debe de atravesar la varilla aproximadamente 12 milímetros o 1/2"pulgadas cuando la capa anterior tenga una profundidad de 100 milímetros o 4 pulgadas y aproximadamente en 25mm o 1 pulgada cuando la profundidad de la capa sea mayor de 100 milímetros o 4 pulgadas.

Con el martillo de caucho, se golpeó ligeramente los bordes del recipiente que se utilizó, para así llenar los vacíos existentes en el molde. En el cuadro 17 se expone cómo se seleccionó la varilla que se utilizó y el número de golpes que se le dio a cada uno.

Cuadro 18: Diámetro de varilla y número de golpes por capa para especímenes cilíndricos

Cilindros		
Diámetro del cilindro mm (pulgadas)	Diámetro de varilla en mm (Pulgadas)	Número de golpes por capa
50 (2) a 150 (6)	10 (3/8)	25
150 (6)	16 (5/8)	25
200 (8)	16 (5/8)	50
250 (10)	16 (5/8)	75

[17]

- Acabado

Con el martillo de caucho, se golpeó ligeramente los bordes del recipiente que se utilizó, para así llenar los vacíos existentes en el molde. En el 18 se expone cómo se seleccionó la varilla que se utilizó y el número de golpes que se le dio a cada uno.

4.4.4. Curado

Se realizó un curado normalizado como lo indica la norma NTG - 41061 siguiendo los siguientes requisitos:

- Almacenamiento la superficie que se utilizó de apoyo, sobre la cual los especímenes fueron almacenados en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Guatemala, cumpliendo con lo dicho en la norma.
- Curado Inicial los especímenes se almacenaron durante 24 horas aproximadamente, a una temperatura entre 16 y 27 grados Celsius, y en un ambiente que evitó la pérdida de humedad excesiva de agua en los especímenes. Se les protegió de luz solar, y de dispositivos calefactores radiantes.
- Curado final posteriormente al completar el curado inicial, en un tiempo menor a los 30 minutos, se curaron los especímenes con agua libre, mantenida sobre sus superficies todo el tiempo a una temperatura de 23 ± 0.2 grados Celsius, utilizando baldes donde pudiesen colocarse correctamente cada uno de los cilindros.

4.5. Ensayos realizados

Los ensayos realizados para cada una de las mezclas fueron especificados en el marco teórico, se procuró cumplir las Normas Técnicas Guatemaltecas, que son especificadas en el marco Teórico. Los ensayos realizados para este proyecto fueron:

- Ensayo a compresión del concreto
- Ensayo de revenimiento en el concreto
- Ensayo de temperatura del concreto
- Ensayo de densidad aparente.

4.5.1. Ensayo a compresión

Estos ensayos fueron hechos en diferentes establecimientos, el laboratorio de materiales del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Guatemala y el laboratorio de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Todos los especímenes de ensayo para cada edad de prueba fueron quebrados dentro de las tolerancias de tiempo admisibles, prescritas en el 19. [13]

Cuadro 19: Edades de ensayo y tolerancia admisibles

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	± 0.5 horas
3 días	± 2 horas
7 días	± 6 horas
28 días	± 20 horas
90 días	± 2 días

[13]

- Colocación del espécimen:

Se colocó el bloque de apoyo plano, con su cara endurecida hacia arriba, sobre la mesa o platina de la máquina de ensayo, directamente debajo del bloque de apoyo de asiento esférico. Se limpió las caras de apoyo de los bloques de apoyo superior e inferior y del espécimen de ensayo. Posteriormente, se alineó cuidadosamente al eje del espécimen con el centro de empuje del bloque de asiento esférico. Se verificó que el indicador de carga estuviera colocado en cero.

- Velocidad de la carga:

La carga se aplicó a una velocidad de movimiento (medida desde la platina a la cruceta) correspondiente a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de 0.25 ± 0.05 MPa/s (35 ± 7 (lb/pulg²/s)). La norma recalca que la velocidad de movimiento designada debe ser mantenida al menos durante la última mitad de la fase de carga prevista.

No se deben realizar ajustes en la velocidad cuando está siendo alcanzada la carga última y la velocidad de esfuerzo decrece debido a fisuración en el espécimen.

4.5.2. Ensayo de revenimiento

Este proceso de ensayo se explica la sección del marco teórico, explicando el proceso de cómo se realiza y qué materiales utilizar. En ese apartado se volverá a mencionar el procedimiento que se utilizó de manera menos detallada.

Al inicio, se humedeció el molde y se colocó sobre una superficie plana, rígida la cual no era absorbente y que anteriormente se humedeció. El molde se mantuvo firmemente en su lugar durante su llenado y limpieza dentro de su propio perímetro. Se utilizó un cucharón para la colocación del concreto en recipiente, verificando que sus dimensiones no afectaran la colocación del concreto.

Se varilló cada una de las capas tres veces uniformemente en toda la sección transversal de cada capa. Para la capa del fondo se debió inclinar la varilla ligeramente y dar aproximadamente la mitad de los golpes cerca del perímetro, continuando con golpes verticales en forma de espiral hacia el centro. Se tuvo que penetrar aproximadamente 25 mm (1 pulgada) cuando se varilló la segunda y tercera capa.

Al llenar y varillar la capa superior se debe de procurar que el concreto exceda la capacidad del molde antes de empezar a varillar. Después de haber terminado con la tercera y última capa, se emparejó la superficie del concreto mediante el enrase y rodamiento de la varilla de apisonamiento. Para esto se siguió sosteniendo firmemente hacia abajo y se limpió el espacio para que no surgiera algún problema con la prueba. Se retiró el molde, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical a una altura aproximada a los 300 mm en un tiempo de 5 ± 2 segundos movimientos ascendente uniforme sin movimientos laterales o de torsión. La prueba se realizó sin interrupciones desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde, en un periodo menor a los 2 minutos y medio que pide la norma.

Por último, se midió el asentamiento determinando la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen.

4.5.3. Ensayo de temperatura en el concreto

Se colocó el dispositivo a medidor de temperatura, de modo que el sensor de temperatura estuviese sumergido al menos 75mm (3 pulgadas) en el concreto recién mezclado. Se espero un periodo aproximado de 3 minutos para tomar cada una de las mediciones, con una aproximación de 0.5 Celsius. No se retiró el concreto del dispositivo o viceversa a momento de tomar la lectura.

4.5.4. Ensayo de densidad en el concreto

Para este ensayo, se utilizó un recipiente con un volumen conocido, que fue de 1/10 ft³. Se prosiguió a tarar el recipiente a utilizar y después se pesó el mismo con concreto. Se dividió la masa de concreto entre el volumen conocido, para conocer las densidades de cada mezcla que se realizó.

4.6. Análisis costo / beneficio

Para este análisis se trató de realizar un estimado del costo de cada uno de los materiales utilizados para la elaboración de concreto. Estos valores son estimados del valor real que se encuentra en el mercado Guatemalteco. Se calculo el precio que toma para realizar un metro cubico de concreto y así comparar los resultados obtenidos con las diferentes dosificaciones realizadas y así poder ver si la implementación de este concreto desde el punto económico es viable. Para esto no se tomo en cuenta el costo del agua utilizada para la realización de las mezclas, ya que solo se quiere analizar el precio de los agregados a utilizar y su diferencia de costos.

De la misma forma se analizaron los precios de el material final utilizando los precios de producción de el material plástico reciclado y observar si había un cambio considerable.

Resultados y discusión

Para este trabajo se enfocaba en comparar los resistencias entre un concreto convencional y un concreto con agregado plástico reciclado. Se realizaron pruebas para analizar qué tanto podía este afectar a su resistencia y la calidad de la misma desde el punto de vista de el revenimiento, trabajabilidad, temperatura de fraguado y densidad. De los mayores problemas que para la realización de este trabajo fue encontrar el plástico a utilizar. Esto ocurrió ya que ninguna empresa se enfoca en la venta de estos para utilización en concretos poliméricos.

Se presentaron los resultados del diseño de mezcla obtenido mediante el cálculo de diseño de mezcla de acuerdo con al Método de diseño del comité 211 del ACI y luego los resultados obtenidos para la elaboración de un concreto de resistencia a compresión de $281\text{kg}/\text{cm}^2$ (4000 psi).

Posteriormente se realizaron especímenes con mismo diseño de mezcla para un agregado adicional de polipropileno reciclado de 5 %, 10 % y 15 % del agregado fino disminuyendo la adición de este mismo para la adición del nuevo agregado, para así comparar la resistencia de cada una de estas mezclas y llegar a una conclusión la cual es si este plástico reciclado aporta algo a la resistencia del concreto. La realización de estos especímenes se encuentran en el capítulo 6 y se detalla su fabricación.

Se trató de utilizar el agregado plástico de menores dimensiones y de la forma más redondeada posible. Se consideró utilizar el plástico totalmente reciclado ya que usan un material solamente triturado origina una especie de agregado plano e irregular lo cual no es recomendable utilizar en mezclas de concreto.

5.1. Agregados utilizados

Cuadro 20: Características de agregado fino utilizado

Agregado fino	
Densidad	2.8
Modulo de finura	2.86
% de absorción	1.8
% de humedad	0
Peso unitario	1600

Elaboración propia

Cuadro 21: Características de agregado grueso utilizado

Agregado grueso	
Tamaño Máximo Nominal	3/8"
Densidad	2.66
Modulo de finura	6.19
% de absorción	0.9
% de humedad	1.02
Peso unitario	1430

Elaboración propia

Los resultados de los cuadros 20 y 21 fueron obtenidos gracias a la cantera de la empresa "La Roca" los cuales fueron lo que aportaron los agregados y los datos anteriormente mencionados para la realización de este trabajo.

5.2. Dosificaciones de cada mezcla de concreto

Cuadro 22: Dosificación utilizada para el concreto convencional

Dosificación de mezcla Concreto convencional		
Material	Proporción de agregados	Peso utilizado en la mezcla
Cemento	1	8 kg
Agregado fino	2.11	16.90 kg
Agregado grueso	1.98	15.83 kg
Agua	30.73	4.5 L

Elaboración propia

Cuadro 23: Dosificación utilizada para el concreto con 5 % de agregado plástico

Dosificación de mezcla Concreto con 5 % de agregado plástico		
Material	Proporción de agregados	Peso utilizado en la mezcla
Cemento	1	8 kg
Agregado fino	1.91	15.28 kg
Agregado grueso	1.98	15.83 kg
Agua	30.73	4.5 L
Plástico	0.206	1.648 kg

Elaboración propia

Cuadro 24: Dosificación utilizada para el concreto con 10 % de agregado plástico

Dosificación de mezcla de concreto con 10 % de agregado plástico		
Material	Proporción del agregado	Peso utilizado en la mezcla
Cemento	1	8
Agregado fino	1.70	13.65
Agregado grueso	1.98	15.84
Plástico	0.41	3.29
Agua	30.93	4.5

Elaboración propia

Cuadro 25: Dosificación utilizada para el concreto con 15 % de agregado plástico

Dosificación de mezcla de concreto con 15 % de agregado plástico		
Material	Proporción del agregado	Peso utilizado en la mezcla
Cemento	1	8
Agregado fino	1.50	12.02
Agregado grueso	1.98	15.84
Plástico	0.62	4.94
Agua	30.74	4.5

Elaboración propia

Para las dosificaciones presentadas en los cuadros 22, 23, 24 y 25, se realizó el diseño de mezcla definida por el comité 211 ACI explicando su selección para la dosificación de concreto convencional el cual se encuentra en el cuadro 22. Esta dosificación es para un concreto 281kg/cm² o un concreto 4000 psi en el sistema inglés. Cabe recalcar que para este diseño se utilizó la misma cantidad de agua aunque se utilizara menor cantidad de agregado fino, ya que por corrección de mezcla daba un valor de 4.5 L como se observa en las tablas anteriormente mencionadas.

Cuadro 26: Asentamiento de cada una de las mezclas realizadas

Tipo de mezcla	Asentamiento de cada mezcla	Trabajabilidad del material
Mezcla control	2 pulgadas	Mezcla plástica de fácil trabajabilidad
Mezcla con 5 % agregado plástico	1 pulgada	Mezcla plástica de difícil trabajabilidad
Mezcla con 10 % agregado plástico	<1 pulgadas	Mezcla plástica de difícil trabajabilidad
Mezcla con 15 % de agregado plástico	<1 pulgadas	Mezcla plástica de muy difícil trabajabilidad

Elaboración propia

5.3. Pruebas realizadas

5.3.1. Asentamiento

El revenimiento fue bajando mediante la adición de agregado plástico a la mezcla tal y como se observa en la tabla anterior, esto ocurrió ya que las partículas que se utilizaron fueron demasiado grandes, es decir de 3 milímetros, ocasionando poca cohesión entre las partículas. Otra función del agregado fino es poder crear una pasta o lubricante alrededor del agregado grueso, lo cual permite colocar el material de mayor tamaño, uniformemente distribuido en la masa de concreto. Esta función no la cumplió el agregado plástico añadido a la mezcla, lo que produjo como conclusión, mala movilidad del agregado de mayor tamaño en la mezcla. Una forma de evitar este fenómeno es utilizar una partícula más pequeña, ya que esta garantiza una mejor homogeneidad en la pasta, para originar un revenimiento y una trabajabilidad aceptables en la utilización de concreto.

En el concreto convencional, el revenimiento y la trabajabilidad del concreto, es inversamente proporcional a su resistencia a compresión, pero en este caso ocurrió lo contrario, la trabajabilidad del concreto y su resistencia a compresión bajaron de calidad, y se obtiene como principal hallazgo que, desde el punto de vista estructural, no se debe utilizar este material, en la fabricación de elementos principales en una estructura.

5.3.2. Densidad

Cuadro 27: Densidades de cada una de las mezclas de concreto

Tipo de mezcla	Densidad de cada una de las mezclas kg/m ³
Mezcla control	2396
Mezcla con 5 % de agregado plástico	2252
Mezcla con 10 % de agregado plástico	2129
Mezcla con 15 % de agregado plástico	2086

Elaboración propia

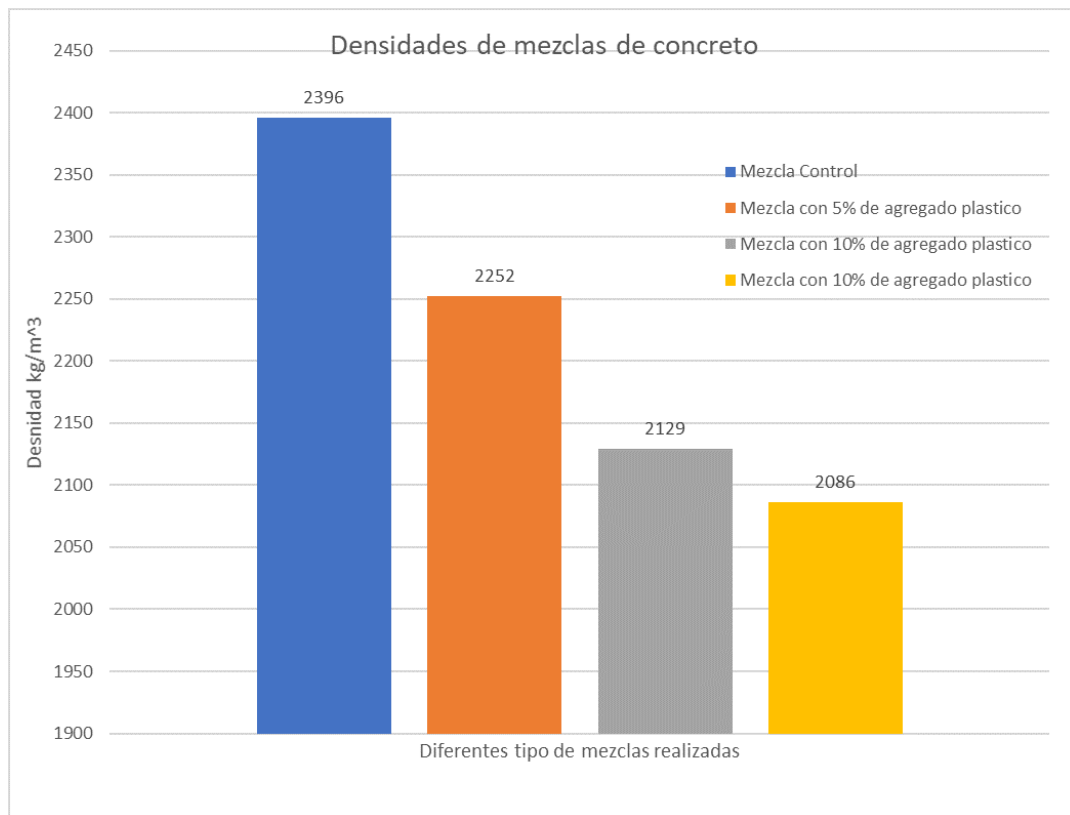


Figura 5: Gráfica comparativa de densidades de cada tipo de mezcla realizada

Fuente: Elaboración propia.

Otro aspecto importante en los resultados que se realizaron fue el ensayo de densidad, ya que este al agregarse a una mayor cantidad de plástico, se observó una densidad menor, y un peso más ligero en los especímenes realizados. Esto ocurrió, pues el material plástico es mucho más ligero que la arena por volumen, lo cual fue utilizado para una realización de concreto de baja densidad y bajo peso.

5.3.3. Temperatura

Cuadro 28: Comparativa entre la temperatura

Tipo de mezcla	Temperatura de cada una de las mezclas realizadas (°C)
Mezcla control	22
Mezcla con 5 % de agregado plástico	21.5
Mezcla con 10 % de agregado plástico	22
Mezcla con 15 % de agregado plástico	22

Elaboración propia

La temperatura en el concreto fue la normal, y se mantuvo en un rango entre 21.5 grados Celsius y 22 grados Celsius. No hubo variaciones en las diferentes mezclas, ya que esta no afecta la temperatura del concreto, e indica que este plástico no afecta este parámetro en el concreto fresco. Por lo tanto, se concluye que la temperatura no afecta a la resistencia del concreto polimérico.

5.3.4. Compresión

Cuadro 29: Resistencia promedio para cada tipo de concreto

Día de ensayo	Concreto convencional	Concreto 5%	Concreto 10%	Concreto 15%
0 días	0 kg/cm ²	0 kg/cm ²	0 kg/cm ²	0 kg/cm ²
7 días	192.25 kg/cm ²	165.72 kg/cm ²	115.86 kg/cm ²	111.50 kg/cm ²
14 días	238.23 kg/cm ²	194.88 kg/cm ²	148.49 kg/cm ²	135.47 kg/cm ²
28 días	283.09 kg/cm ²	221.84 kg/cm ²	163.30 kg/cm ²	153.79 kg/cm ²

Elaboración propia

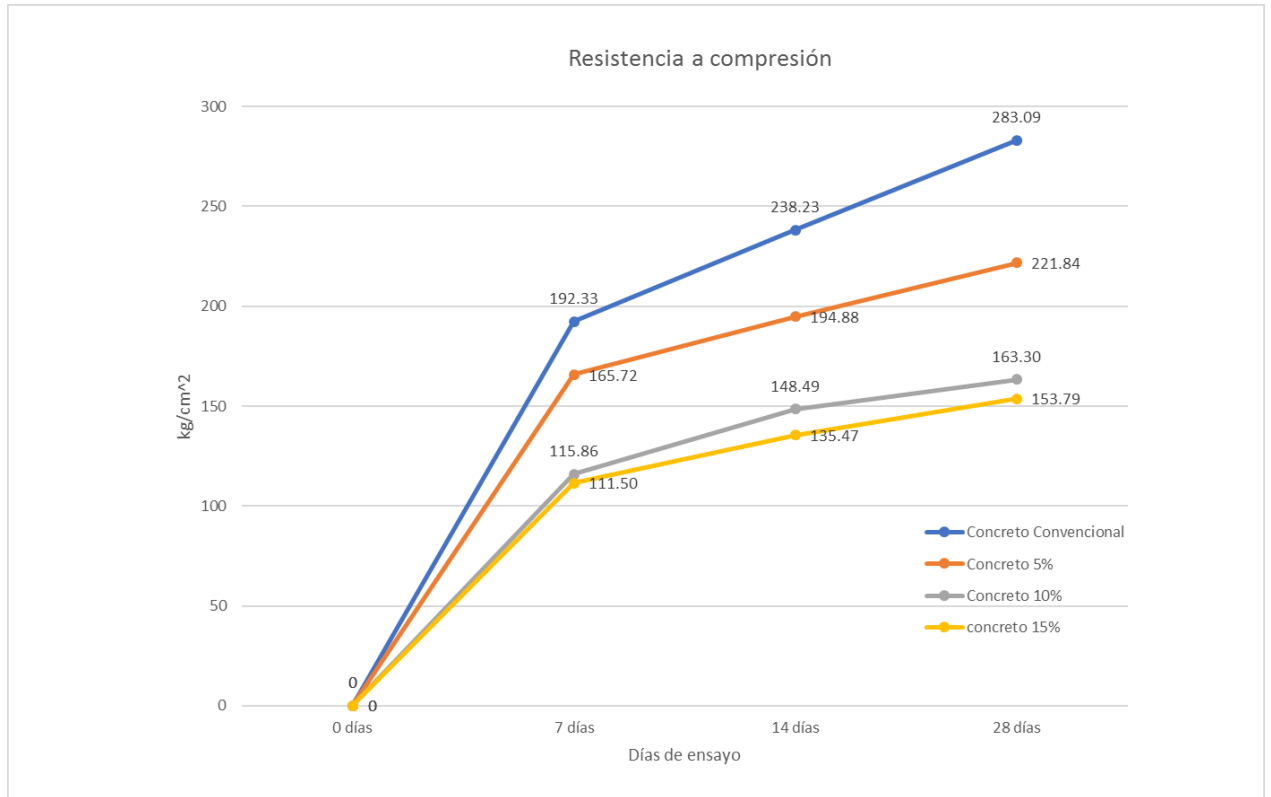


Figura 6: Gráfica comparativa de resistencia a compresión entre cada concreto realizado
Fuente: Elaboración propia.

Por último, se obtiene el valor de resistencia a la compresión en cilindros de concreto. Este valor fue en disminución como se observa en la Figura 6. Entre mayor fue la cantidad de plástico que se agregó, su resistencia disminuyó hasta aproximadamente 60%. Por otra parte, en la Figura 6 que representa la comparación gráfica de los resultados, no existió una diferencia significativa, entre los concretos con 10% de agregado plástico y un concreto de agregado con 15%, así por ejemplo en la resistencia a los 7 días la diferencia fue mínima, pero con el paso del tiempo de los ensayos, aumenta esta diferencia.

La disminución de resistencia a la compresión es causa de la característica que tiene el agregado fino, para rellenar los vacíos en la mezcla, misma de la que carece el agregado plástico por su diámetro y tamaño, ocasionando un incremento de espacios vacíos en la misma mezcla. Otra posibilidad, del porqué el concreto polimérico no llegó a la resistencia adecuada es que, la superficie de este agregado es poco rugosa, lo que no permite una adherencia entre este material y los otros materiales y esto facilita la separación entre cada partícula añadida a la mezcla.

El tamaño de este agregado fue de mayor tamaño, y pudo ocasionar, considerables esfuerzos internos, lo cual no garantiza una adherencia entre los elementos de la mezcla ya que estos se oponen a la tendencia de la pasta a moverse. Por lo tanto, se recomienda para futuras investigaciones, utilizar un agregado plástico con menor diámetro y dimensiones, así como utilizar un aditivo que ayude a la plasticidad de este y a su resistencia para observar el comportamiento del concreto en su trabajabilidad y su resistencia.

5.4. Costo/Beneficio

En el desarrollo de este trabajo, se evidenció que el objetivo costo beneficio, no era posible de realizar por falta de datos ya que para realizar un análisis costo/beneficio se necesitan valores cuantitativos y en relación al impacto ambiental, solo se cuenta con valores de carácter cualitativo. Por lo tanto, se decidió analizar los puntos FODA de cada uno de los materiales.

Entre los parámetros que se analizó, se encuentran los anteriormente descritos, la repercusión del medio ambiente y el costo por metro cúbico de cada material.

El valor de costo de metro cúbico, fue proporcionado por la empresa Recipa la cual fue encargada de proporcionar el material plástico utilizado en este trabajo. Este precio no fue exacto pero sirvió para dar un aproximado de su Costo de producción y así calcular con facilidad el precio de estos.

Cuadro 30: Precio del agregado plástico a utilizar en cada dosificación de mezcla de concreto

Precio para el agregado plástico que se utilizaría para realizar 1 m3 de concreto			
Tipo de mezcla	Dosificación de agregado plástico (lb)	Precio de producción para generar 1 lb (Q)	Precio (Q)
Mezcla con 5 % de agregado plástico	181.28	1.2	217.536
Mezcla con 10 % de agregado plástico	362.56	1.2	435.072
Mezcla con 15 % de agregado plástico	543.84	1.2	652.608

Elaboración propia

Se obtuvieron valores totales, tomando en cuenta el precio de concreto convencional que se muestra en la siguiente tabla. Estos valores son estimaciones de los valores reales, pero para la realización de este trabajo no fue necesario poseer los valores exactos de esta producción.

Cuadro 31: Costo para creación de un metro cubico de Concreto Convencional

Materiales	Precio unitario para creación de concreto (Q)	Precio total para elaboración de concreto (Q)
Cemento	65	455
Piedrin	195	136.5
Arena	95	57
Total		648.5

Elaboración propia

En las dos tablas anteriores, se obtiene el valor de cada una de las mezclas realizadas.

Cuadro 32: Precio de concretos realizados

Precio de cada concreto realizado por metro cúbicos			
Material	Precio concreto con un 5 % de agregado plástico (Q)	Precio concreto con un 10 % de agregado plástico (Q)	Precio concreto con un 15 % de agregado plástico (Q)
Concreto convencional	643.75	639	634.25
Plástico utilizado en la mezcla	217.536	435.072	652.608
Total	861.286	1074.072	1286.858

Elaboración propia

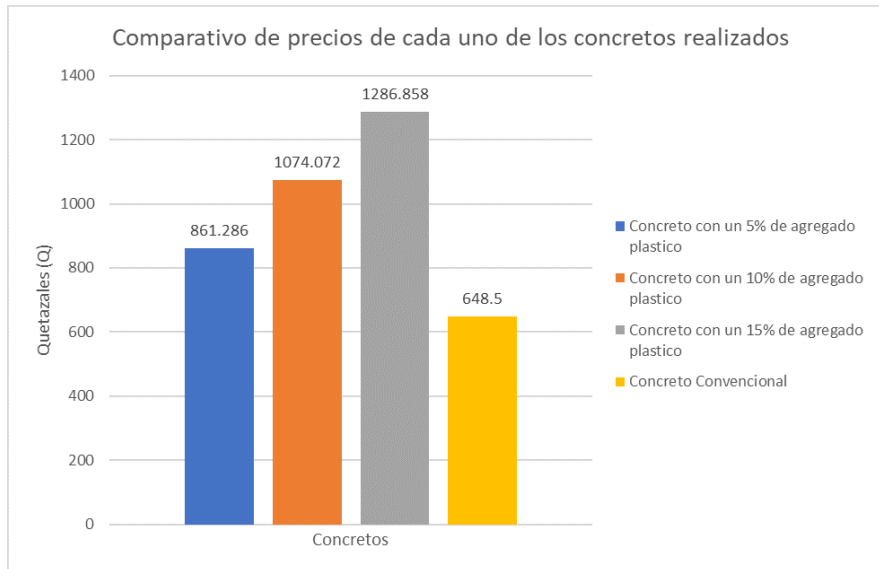


Figura 7: Comparación de precios de concretos realizados para un 1 m³

Fuente: Elaboración propia.

La gráfica anterior muestra los diferentes costos para realizar 1 metro cúbico de cada uno de los concretos poliméricos y el concreto convencional. Observando la gráfica y los números se deduce que el concreto polimérico con un 15 % de agregado plásticos, es el doble del concreto convencional, pero el concreto con 5 % solo sube su precio un aproximado de 200 Quetzales, lo cual no es un monto significativo y al realizar a futuro, mayores investigaciones en procesos industriales, se lograría reducir el precio para que sea más accesible en la elaboración de concreto polimérico.

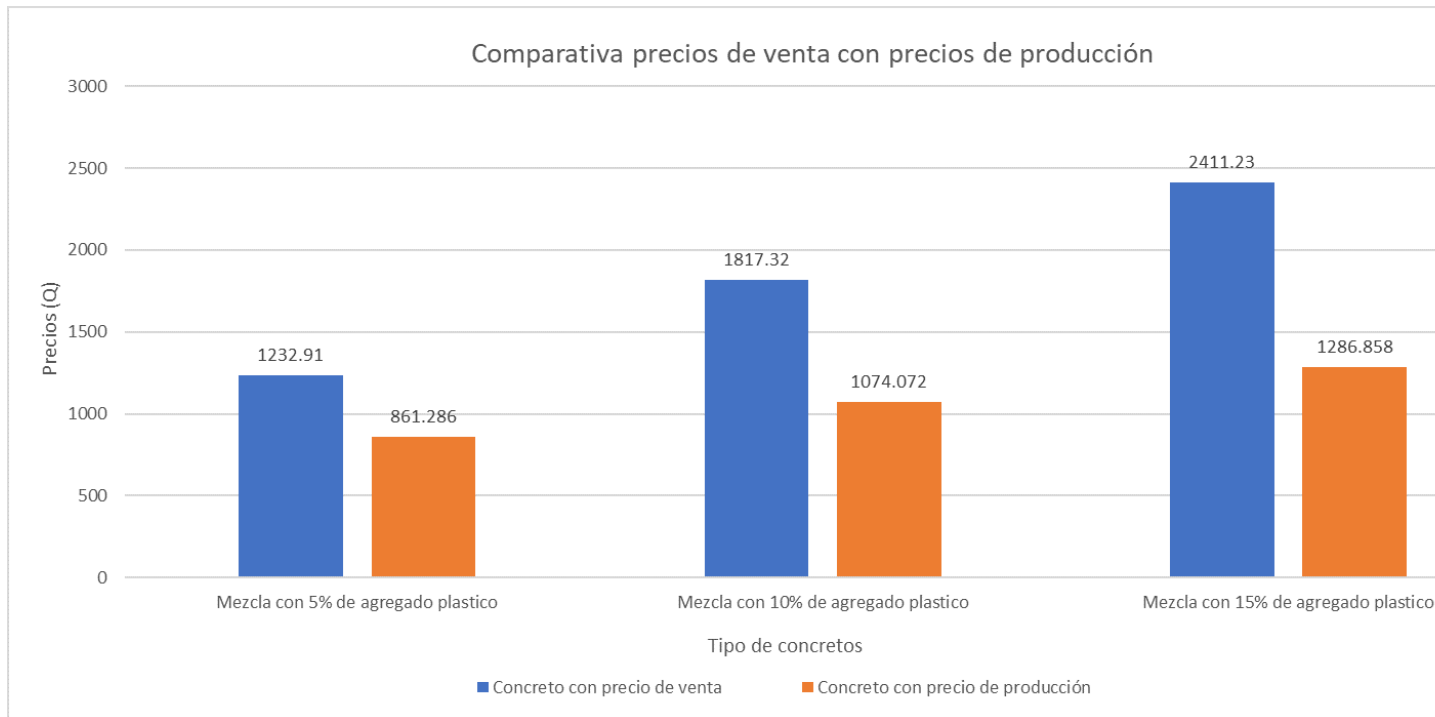


Figura 8: Comparación de precios de venta con precios de producción de cada concreto polimérico
Fuente: Elaboración propia.

Se comparó el Precio de venta con precios de producción de cada concreto polimérico y, se observa una elevación de precios bastante elevada, esto indica que sin una industria productora de concreto polimérico, los precios siempre serán excesivos. Además, sin una industria especializada, las partículas que se venden son demasiado grandes y no adecuadas para este tipo de concreto. Hecho que dificulta reducir de tamaño la partícula final, y que esta sea la adecuada para utilizarla en concreto.

Es indispensable que, para crear una industria en este campo, deben estudiarse los procesos de la realización del plástico reciclado y, así reducir costos al utilizar material con características adecuadas en el mercado guatemalteco.

5.5. Impactos ambientales

Los impactos ambientales por la utilización de plásticos y poco reciclaje del mismo, han sido notorios y esto es algo que se ha evidenciado a través del tiempo. Problema, que según la ONU, existe desde hace 60 años. La creación de estos materiales poliméricos para la construcción es importante, ya que sin reutilizar el material se contamina tierras y cuerpos de agua, afectando a los distintos ecosistemas de nuestro planeta.

Se eligió el peso de una ficha técnica proporcionada por una empresa llamada Omega, la cual se encarga de la elaboración de recipientes de plástico con material Polipropileno (PP). Dicha ficha se encuentra en la sección de anexos. Estos recipientes cuentan con diferentes dimensionales, que se exponen en la siguiente tabla. Esta tabla muestra el peso de cada

envase, y cuantos envases de este tipo es posible reciclar, agregándolos a un metro cubico de concreto.

Cuadro 33: Datos sobre envase de Polipropileno

Dimensiones	
Envase 300 ml, Genérico	
Alto	(114.50 ± 0.20) mm
Diámetro interno	(75.50 ± 0.20) mm
Diámetro externo	(77.50 ± 0.20) mm
Capacidad	(325.00 ± 0.50) cm^3
Peso	(14.00 ± 0.50) g
Total de botellas recicladas para un concreto con agregado de 5 %	12502

Elaboración propia

Es claro que el total de recipientes reciclados dependerá del peso de cada uno, pero este peso es bastante adecuado y genera un impacto ambiental significativo. Este número logra aumentar con las otras dosificaciones.

Desde el punto de vista de impacto ambiental, observamos en el Cuadro 9, que se encuentra en el capítulo de marco teórico, la descripción de cada uno de los impactos que se obtiene por la explotación de tierras ocasionada por las mineras y las canteras. Esto nos produce un beneficio que se inclina hacia el concreto polimérico, ya que no solo no perjudica en gran escala, si no que disminuiría la explotación de tierras para este material utilizado en el concreto. En este trabajo, no se pretende analizar el impacto ambiental como consecuencia de los procesos de reciclado de concreto. Entendiendo que se necesitaría realizar otra investigación para evidenciar el impacto de este proceso en el ambiente y, su diferencia con el impacto ambiental ocasionado por las canteras.

A continuación, se remarcan los puntos FODA de cada uno de los concretos para hacer una comparativa final de estos dos materiales.

Las fortalezas para el concreto convencional, son de mayor utilidad en la construcción, pero se debe tener en cuenta que las oportunidades para el concreto polimérico, son mayores, pues aumenta la oportunidad de realizar nuevos estudios sobre los materiales que se utilizan en construcciones que beneficien al medio ambiente, y frenar el impacto de la contaminación en Guatemala. Esto no desprecia a su incremento en producción y venta, pero es necesario, realizar un análisis sobre los procesos en su producción y observar si se logra reducir, para que se convierta en un material más competitivo en la industria guatemalteca.

Tomando todos las pruebas realizadas y su análisis de costo, el concreto polimérico, aun no viable su utilización en la construcción de estructuras en Guatemala, sin embargo, es importante que se realice más investigación en este campo, en lo que compete a resistencia y el uso de aditivos que ayuden a la plasticidad, resistencia a compresión para finalmente con un análisis industrial buscar la forma de reducir costos en su producción.

Cuadro 34: Puntos FODA de concreto convencional

Puntos FODA	
Concreto convencional	
Fortalezas	Debilidades
Mejor trabajabilidad en mezcla	Impacto Ambiental negativo
Mejor resistencia a compresión	Mayor peso como material
Menor costo de venta	
Oportunidades	Amenazas
Creación de nuevos materiales de construcción	deterioro del medio ambiente

Elaboración propia

Cuadro 35: Puntos FODA de concreto polimérico

Puntos FODA	
Concreto polimérico	
Fortalezas	Debilidades
Menor peso de material como material en conjunto	Peor trabajabilidad
	Menor resistencia a compresión
Impacto ambiental positivo	Mayor costo de venta
Oportunidades	Amenazas
Creación de un nuevos negocios para implementación de este material en el país	No lograr eficiencias en ámbito de la construcción
	Costos mas elevados de producción
Nuevos estudios sobre este material	Personal más capacitado para la creación de este material
Mejora del media ambiente en la reutilización de materiales	

Elaboración propia

- En esta tesis se comparó las características mecánicas, específicamente a compresión, de un concreto convencional con un concreto elaborado con agregado plástico, este material no aporta a la resistencia a compresión de dicho material.
- El tamaño del plástico utilizado es la causa de las deficiencias en el uso de agregado plástico, ya que resulta ser demasiado grande para ser utilizado en la dosificación de concreto.
- Respecto a las características y calidad que tiene el concreto polimérico, se demuestra que su peso y densidad bajan respecto al concreto normal, su temperatura de fraguado es la misma, y su revenimiento y trabajabilidad son menores. Los parámetros de peso y densidad son inversamente proporcionales a los de revenimiento y trabajabilidad del concreto.
- Desde el punto de vista económico, el costo de producción del plástico reciclado es más alto a comparación del costo de producción de la arena; sin embargo, el precio de venta de las empresas en el país es excesivo para su uso, si se implementase una industria en el país de este material, se lograría bajar dichos costos para que sea viable en el mercado guatemalteco.
- El concreto polimérico tiene ventaja sobre el concreto convencional desde el punto de vista ambiental, ya que no afecta al ambiente de la misma manera como el concreto con agregado fino normal, pues permite una recuperación de este material e incita a la cultura del reciclaje.

Recomendaciones

- Utilizar el menor diámetro posible de agregado plástico, teniendo que ser este menor de 3 milímetros, así como una superficie más rugosa para que esta tenga una mejor adherencia y cohesión con los otros materiales.
- No llevar a cabo este tipo de pruebas con materiales planos y/o amorfos, ya que está comprobado que la utilización de estos en las dosificaciones de concreto no otorga beneficios.
- Es muy importante que el estudiante tenga un acceso facilitado al laboratorio de materiales, ya que esto es vital para que este pueda avanzar eficientemente en el trabajo práctico.
- Implementar estudios sobre estos materiales en clases particulares, para que el estudiante tenga una mejor perspectiva de cómo reacciona el concreto con de materiales plásticos y/o reciclados.
- Es importante que se realicen más investigaciones con otro tipo de polímeros, para conocer si existe una dosificación de estos materiales que pueda ser implementado en las estructuras.
- Deben realizarse ensayos de resistencia mecánica, utilizando aditivos los cuales puedan mejorar su resistencia y trabajabilidad.
- Se debe utilizar concreto polimérico como tabiquería por su bajo peso y densidad.
- Realizar estudios con diferentes polímeros y plásticos no solo para características mecánicas de estos materiales, si no para conocer su aporte en otras propiedades como lo son la acústica y la térmica, y en pruebas de impacto.
- Es importante que se realicen investigaciones sobre la reducción de procesos o costos de este mismo tema para evaluar viabilidad en el mercado guatemalteco.

- Realizar investigaciones de como este material se ha ido implementando a nivel internacional, y establecer cuál fue el proceso socioeconómico que se realizó para su implementación.
- Divulgar este tipo de estudios, para que la comunidad de estudiantes e ingenieros se entere como se desarrollan las investigaciones de este material.

Bibliografía

- [1] Enrique Rivva López, *Naturaleza y materiales del concreto*, págs. 12-15.
- [2] E. P. Carbajal, *Tipos de tecnología del concreto en el Perú*. Colegio de Ingenieros del Perú, 1993.
- [3] E. Vidaud, *Construcción y tecnología en concreto*. Instituto Mexicano del cemento y del concreto A.C, 2019.
- [4] Coguanor, *Norma Coguanor NTG 41095. Cementos Hidráulicos. Especificaciones de diseño*. Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía, 2014.
- [5] L. Gutiérrez De López, “El Concreto Y Otros Materiales Para La Construcción”, en *2003*, Colombia, 2003, págs. 1-29, ISBN: 9589322824. dirección: http://bdigital.unal.edu.co/6167/5/9589322824%7B%5C_%7DParte1.pdf.
- [6] Coguanor, *Método de Ensayo. Análisis granulométrico por tamices de los agregados fino y grueso*. Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía, 2011.
- [7] —, *Norma Coguanor NTG 41007. Agregados para concreto*. Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía, 2014.
- [8] L. I. Ávila Córdoba, G. Martínez-Barrera, C. E. Barrera-Díaz, F. Ureña Núñez y A. Loza Yáñez, “PET de desecho y su uso en concreto”, en *Materiales sustentables y reciclados en la construcción*, OmniaScience, 2015, págs. 95-122. DOI: 10.3926/oms.246. dirección: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/32770/capitulo%206.pdf?sequence=1>.
- [9] C. emacin, *Ficha Técnica Polipropileno-PP*. Corporación emacin Duraffon, 2015.
- [10] E. Roca, *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad*. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería, 2005.
- [11] S. Rodriguez, *Los plásticos, Tecnología industrial*. McGraw-Hill/Interamericana de España, 1997.
- [12] Coguanor, *Método de ensayo. Resistencia a compresión de cilindros de concreto fundidos en obra*. Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía, 2011.

- [13] —, *Norma Coguanor NTG 410170 h4. Método de ensayo. Determinación del asentamiento hidráulico*. Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía, 2011.
- [14] —, *Norma Coguanor NTG 41053. Método de ensayo. Medición de la temperatura del concreto hidráulico mezclado*. Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía, 2011.
- [15] C. Giacobelli, *Plásticos de un solo uso. Una hoja de ruta para la sostenibilidad*. Programa de las Naciones Unidas para el medio Ambiente, 2018.
- [16] R. Maas, *Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009. Las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo*. Universidad Rafael Ladivari, 2009.
- [17] Coguanor, *Norma Coguanor NTG 41061. Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra*. Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía, 2011.

CAPÍTULO 9

Anexos

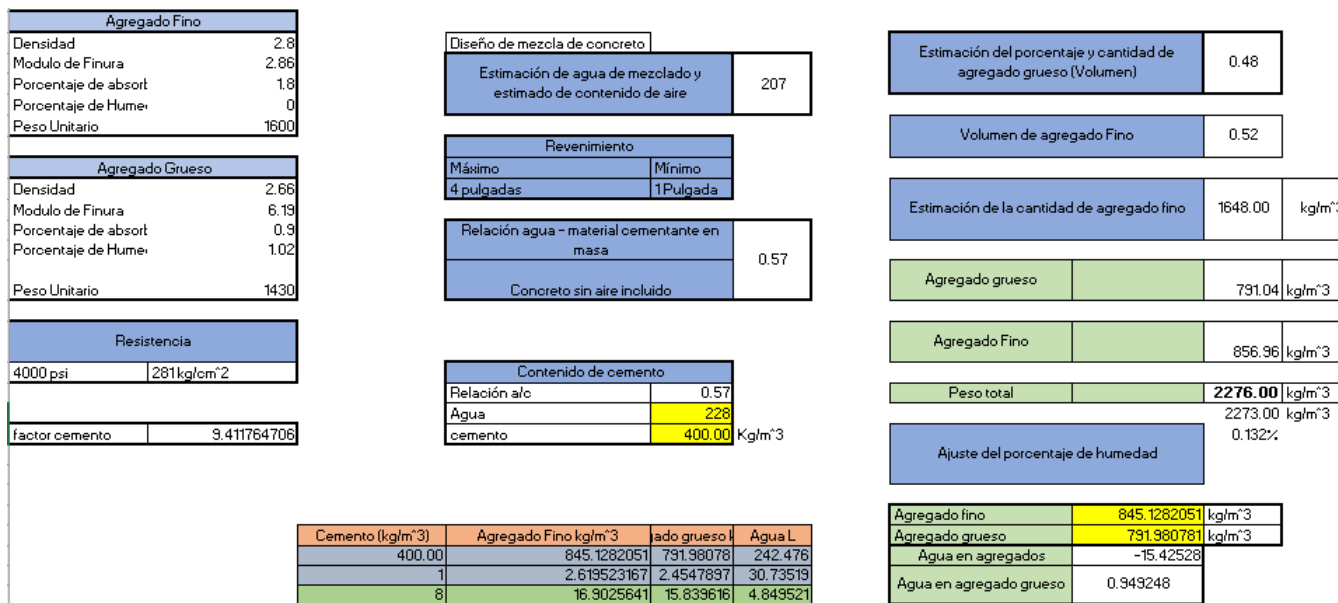


Figura 9: Diseño de mezcla para concreto convencional
Fuente: Elaboración propia.

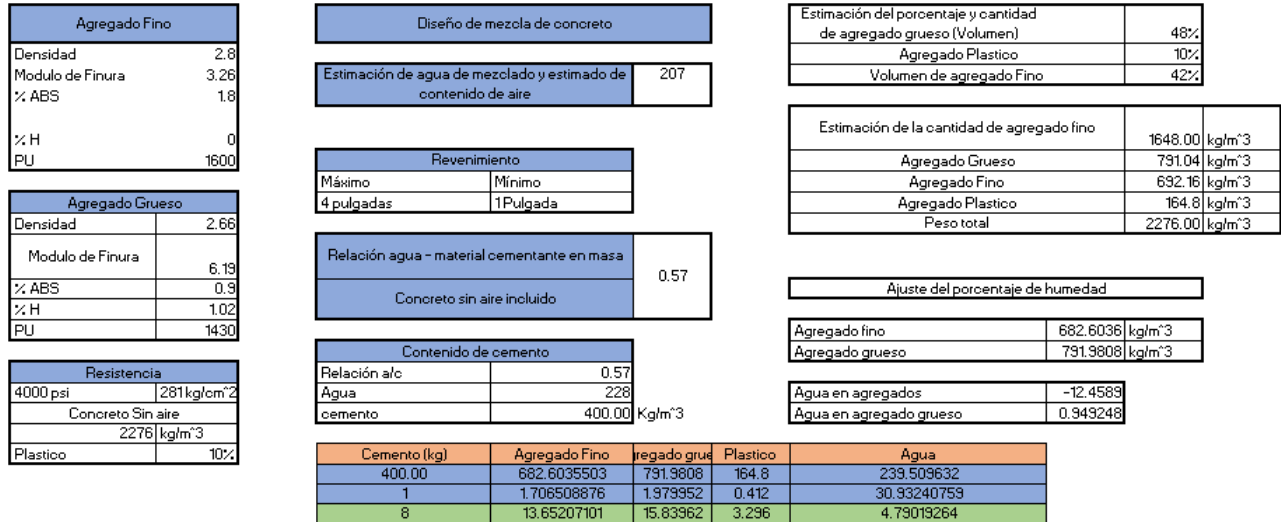


Figura 10: Diseño de mezcla para concreto con el 5 % de agregado plástico
Fuente: Elaboración propia.

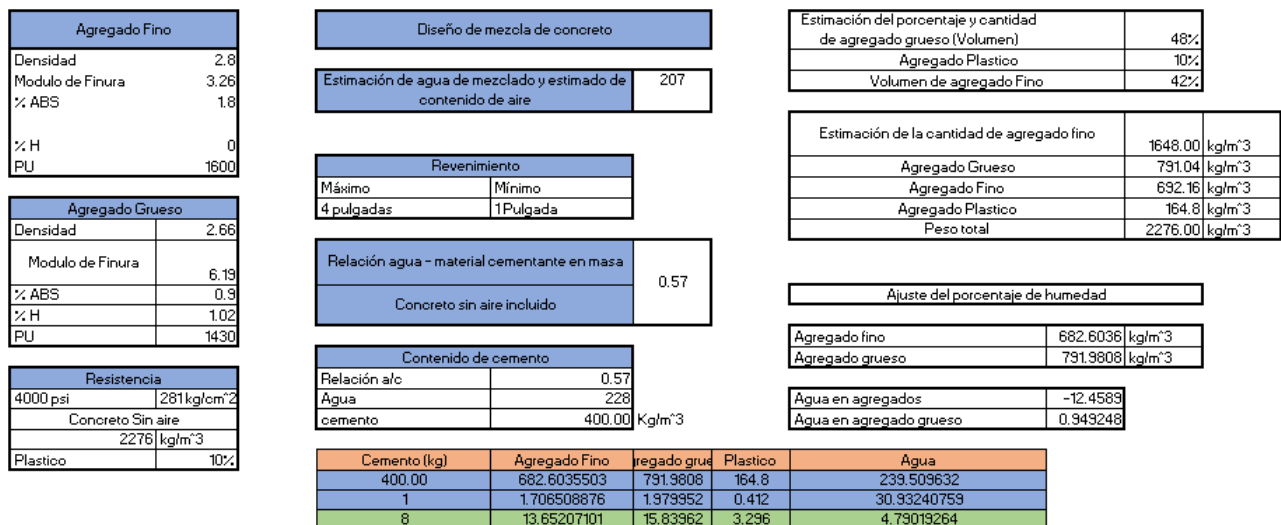


Figura 11: Diseño de mezcla para concreto con el 10 % de agregado plástico
Fuente: Elaboración propia.

Agregado Fino	
Densidad	2.8
Modulo de Finu	3.26
% ABS	1.8
% H	0
PU	1600

Agregado Grueso	
Densidad	2.66
Modulo de Finu	6.19
% ABS	0.9
% H	1.02
PU	1430

Resistencia	
4000 psi	281kg/cm ²
Concreto Sin aire	
2276 kg/m ³	
Plastico	15%

Diseño de mezcla de concreto	
Estimación de agua de mezclado y estimado de	207

Revenimiento	
Máximo	Mínimo
4 pulgadas	1Pulgada

Relación agua - material cementante en masa	
Concreto sin aire incluido	0.57

Contenido de cemento	
Relación a/c	0.57
Agua	228
cemento	400.00 Kg/m ³

Estimación del porcentaje y cantidad de agregado grueso (Volumen)	
Agregado Plastico	15%
Volumen de agregado Fino	37%
Estimación de la cantidad de agregado fino	1648.00 kg/m ³

Agregado Grueso	791.04 kg/m ³
Agregado Fino	609.76 kg/m ³
Agregado Plastico	247.2 kg/m ³
Peso total	2276.00 kg/m ³

Ajuste del porcentaje de humedad	
Agregado fino	601.3412229 kg/m ³
Agregado grueso	791.980781 kg/m ³
Agua en agregados	-10.37568
Agua en agregado grueso	0.949248

Cemento (kg)	Agregado Fino	Agregado grueso	Plastico	Agua
400.00	601.3412229	791.980781	247.2	238.0264
1	1.503353057	1.979951952	0.618	30.74085
8	12.02682446	15.83961562	4.944	4.760529

Figura 12: Diseño de mezcla para concreto con el 15% de agregado plástico
Fuente: Elaboración propia.



Figura 13: Bolsas con plástico triturado
Fuente: Elaboración propia.



Figura 14: Recicladora de la empresa Recipa"
Fuente: Elaboración propia.



Figura 15: Dosificación utilizada para mezcla de concreto polimérico
Fuente: Elaboración propia.



Figura 16: Mezcla polimérica
Fuente: Elaboración propia.



Figura 17: Ensayo de revenimiento de concreto con 15 % de agregado plástico
Fuente: Elaboración propia.



Figura 18: Prueba de revenimiento
Fuente: Elaboración propia.



Figura 19: Realización de prueba por estudiante
Fuente: Elaboración propia.



Figura 20: Mezcla polimérica
Fuente: Elaboración propia.



Figura 21: Temperatura de concreto
Fuente: Elaboración propia.



Figura 22: Polipropileno utilizado en la mezcla de concreto
Fuente: Elaboración propia.



Figura 23: Moldes utilizados para mezclas de concreto
Fuente: Elaboración propia.



Figura 24: Curado de especímenes de concreto
Fuente: Elaboración propia.



Figura 25: Comparación entre cilindros de concreto entre el concreto convencional y concretos con agregado con 10% y 15%

Fuente: Elaboración propia.



Figura 26: Ejemplo cilindro ensayado en el laboratorio de Ingeniería Civil
Fuente: Elaboración propia.

Prueba a 7 días Concreto Convencional				
	Cilindro No. 1		Cilindro No. 2	
Fuerza	35000	Lb	33500	Lb
peso	3.9	kg	3.9	kg
Diametro	3.937	in	4.05511	in
Area	12.2	in ²	12.9	in ²
Esfuerzo	2875.062787	lb/in ²	2593.8786	lb/in ²

Esfuerzo Promedio	2734.47			
Porcentaje de resistencia a los 7 días	105.1719438	71.87657	64.8463651	

Prueba a 14 días Concreto Convencional				
	Cilindro No. 3		Cilindro No. 4	
Fuerza	45000	Lb	37500	Lb
peso	3.88	kg	3.88	kg
Diametro	3.937	in	3.937	in
Area	12.2	in ²	12.2	in ²
Esfuerzo	3696.503297	lb/in ²	3080.42441	lb/in ²

Esfuerzo Promedio	1848.25			
Porcentaje de resistencia a los 14 días	94.12407932	92.412732	77.0106104	

Prueba a 28 días Concreto Convencional				
	Cilindro No. 5		Cilindro No. 6	
Fuerza	50000	Lb	49000	Lb
peso	3.9	kg	3.9	kg
Diametro	3.937	in	3.97637	in
Area	12.2	in ²	12.4	in ²
Esfuerzo	4107.2326	lb/in ²	3945.777768	lb/in ²

Esfuerzo Promedio	4026.51			
Porcentaje de resistencia a los 28 días	100.66263	114.08973	98.6444444	

Figura 27: Cálculo de esfuerzo promedio para cilindros de concreto convencional
Fuente: Elaboración propia.

Prueba a 7 días Concreto Convencional Con 5% Agregado Plastico				
	Cilindro No. 7		Cilindro No. 8	
Fuerza	31500	Lb	28000	Lb
peso	3.68	kg	3.68	kg
Diametro	3.937	in	4.09448	in
Area	12.2	in ²	13.2	in ²
Esfuerzo	2587.5565	lb/in ²	2126.526	lb/in ²

Esfuerzo Promedio	2357.04			
Porcentaje de resistencia a los 7 días	90.655428	64.6889127	53.16314	

Prueba a 14 días Concreto Convencional Con 5% Agregado Plastico				
	Cilindro No. 9		Cilindro No. 10	
Fuerza	35000	Lb	35000	Lb
peso	3.68	kg	3.68	kg
Diametro	3.984244	in	4.035425	in
Area	12.5	in ²	12.8	in ²
Esfuerzo	2807.2837	lb/in ²	2736.526	lb/in ²

Esfuerzo Promedio	2771.90			
Porcentaje de resistencia a los 14 días	76.997359	70.18209321	68.41315	

Prueba a 28 días Concreto Convencional Con 5% Agregado Plastico				
	Cilindro No. 11		Cilindro No. 12	
Fuerza	40000	Lb	41500	Lb
peso	3.66	kg	3.64	kg
Diametro	4.05511	in	4.05511	in
Area	12.9	in ²	12.9	in ²
Esfuerzo	3097.168	lb/in ²	3213.312	lb/in ²

Esfuerzo Promedio	3155.24			
Porcentaje de resistencia a los 28 días	87.64557	86.03246	89.25867	

Figura 28: Cálculo de esfuerzo promedio para cilindros de concreto con 5% de agregado plástico
Fuente: Elaboración propia.

Prueba a 7 días Concreto Convencional Con 10% Agregado Plásti					
		Cilindro No. 13		Cilindro No. 14	
Fuerza	17500	Lb	24000	Lb	
peso	3.44	kg	3.48	kg	
Diametro	3.937	in	4.05511	in	
Area	12.2	in ²	12.9	in ²	
Esfuerzo	1437.531	lb/in ²	1858.301	lb/in ²	

Esfuerzo Promedio	1647.92			
Porcentaje de resistencia a los 7 días	63.38139	35.93828	46.45753	

Prueba a 14 días Concreto Convencional Con 10% Agregado Plásti					
		Cilindro No. 15		Cilindro No. 16	
Fuerza	25500	Lb	28000	Lb	
peso	3.5	kg	3.5	kg	
Diametro	4.01574	in	4.01574	in	
Area	12.7	in ²	12.7	in ²	
Esfuerzo	2013.349	lb/in ²	2210.736	lb/in ²	

Esfuerzo Promedio	2112.04			
Porcentaje de resistencia a los 14 días	58.66786	50.33373	55.26841	

Prueba a 28 días Concreto Convencional Con 10% Agregado Plásti					
		Cilindro No. 17		Cilindro No. 18	
Fuerza	31500	Lb	33000	Lb	
peso	3.44	kg	3.48	kg	
Diametro	4.05511	in	4.08448	in	
Area	12.9	in ²	13.2	in ²	
Esfuerzo	2439.02	lb/in ²	2506.262	lb/in ²	

Esfuerzo Promedio	2472.64			
Porcentaje de resistencia a los 28 días	68.68448	67.75056	69.6184	

Figura 29: Cálculo de esfuerzo promedio para cilindros de concreto con 10 % de agregado plástico
Fuente: Elaboración propia.

Prueba a 7 días Concreto Convencional Con 15% Agregado Plástico					
		Cilindro No. 19		Cilindro No. 20	
Fuerza	23500	Lb	17000	Lb	
peso	3.3	kg	3.31	kg	
Diametro	4.01574	in	4.05511	in	
Area	12.7	in ²	12.9	in ²	
Esfuerzo	1855.44	lb/in ²	1316.3	lb/in ²	

Esfuerzo Promedio	1555.87			
Porcentaje de resistencia a los 7 días	60.3949	46.38598855	32.3074	

Prueba a 14 días Concreto Convencional Con 15% Agregado Plástico					
		Cilindro No. 21		Cilindro No. 22	
Fuerza	27500	Lb	22000	Lb	
peso	3.32	kg	3.25	kg	
Diametro	4.03543	in	4.05511	in	
Area	12.8	in ²	12.9	in ²	
Esfuerzo	2150.13	lb/in ²	1703.44	lb/in ²	

Esfuerzo Promedio	1926.79			
Porcentaje de resistencia a los 14 días	53.5218	53.75319224	42.5861	

Prueba a 28 días Concreto Convencional Con 15% Agregado Plástico					
		Cilindro No. 23		Cilindro No. 24	
Fuerza	29000	Lb	21500	Lb	
peso	3.26	kg	3.28	kg	
Diametro	4.05511	in	4.05511	in	
Area	12.9	in ²	12.9	in ²	
Esfuerzo	2245.45	lb/in ²	2129.3	lb/in ²	

Esfuerzo Promedio	2187.38			
Porcentaje de resistencia a los 28 días	60.7604	62.3735	59.1473	

Figura 30: Cálculo de esfuerzo promedio para cilindros de concreto con 15 % de agregado plástico
Fuente: Elaboración propia.


Plásticos		FICHA TÉCNICA		CÓDIGO: PO-DD-FT-023 EDICIÓN: II REVISIÓN: 00 FECHA: 19/04/2018 PÁGINA 1 de 1	
1. Código:		2. Nombre:			
E0300-VAS-T000		Envase 300 ml. Genérico			
3. Colores:		4. Material:			
Blanco, transparente		Polipropileno			
5. Autorización Sanitaria:					
Blanco: N° 589		Transparente: N° 237			
6. Aplicaciones: Industria de alimentos.					
7. Características del producto:					
Dimensiones:					
Alto	Diámetro Interno	Diámetro Externo			
(114,50 ± 0,20) mm	(75,50 ± 0,20) mm	(77,50 ± 0,20) mm			
Capacidad (cm ³)	Espacio Libre (mm)	Área de Impresión (mm ²)			
(325,00 ± 0,50)	N/A	94mmX 210mm			
Peso (g)			Tiempo de vida útil		
(14,00 ± 0,50) g.			12 meses		
8. Embalaje					
Unidades por caja	Cajas por paleta	Bolsa de plástico	Caja de cartón		
1.000	20	106 cm x 103 cm	600mm x 397mm x 450mm		
9. Almacenaje y transporte					
<ul style="list-style-type: none"> Las cajas deben ser almacenadas de manera adecuada a temperatura ambiente, sin exposición solar y con humedad controlada. Por inocuidad los envases deben permanecer en sus cajas debidamente selladas en un almacén cerrado protegidos de cualquier agente contaminante. En cuanto al transporte y movimiento del material, las cajas deben ser tratadas cuidadosamente, tomando en cuenta que son envases para alimentos y no deben ser usadas como soporte, ni arrojarse. 					
10. Observaciones					
<ul style="list-style-type: none"> Diseño de la boca para colocación de membrana de aluminio termo-sellada. Impresión offset hasta 4 colores. Elaboración por proceso de moldeo por inyección. 					

Figura 31: Ficha técnica de envase de Polipropileno de la empresa OMEGA
Fuente: OMEGA

ACI Es una organización sin fines de lucro de educación técnica para la sociedad fundada en 1904 y es una de las autoridades líderes mundiales en el manejo y práctica del concreto. 31

Aditivo Material diferente del agregado, utilizado para modificar, mejorar o impartir propiedades especiales a las mezclas de concreto. 5

Agregado fino Consiste en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas es generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural es constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables. 17

Agregado grueso El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio. El tamaño mínimo será de 4,8 mm. El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de otros materiales. 18

Asentamiento Es una medida de la consistencia del concreto, que se refiere al grado de fluidez que pueda tener la mezcla e indica que tan seco o fluido está el concreto. 24

ASTM Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el ensayo e inspección de los materiales (American Society for Testing and Materials). 7

Compresión Es la resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada por que tiene una reducción de volumen del cuerpo, y a un acortamiento del cuerpo en determinada dirección. 7

Costo de producción Se refiere al conjunto de los gastos que son necesarios para producir un servicio o un bien. En este trabajo se habla sobre el costo de producción del Polipropileno reciclado. 50

Densidad Relación entre la masa y el volumen de una sustancia, o entre la masa de una sustancia y la masa de un volumen igual de otra sustancia tomada como patrón. 19

Dosificación Cantidad de cada material incluida en la mezcla de concreto. 11

Polipropileno Es un polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno. 26

Polímeros Son grandes moléculas llamadas macromoléculas, que por lo general son orgánicas y están formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros, formando enormes cadenas de las formas más diversas. 8

Porosidad La porosidad o fracción de huecos es una medida de espacios vacíos en un material, y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen. 15

Precio de venta Se determina el costo que el producto o servicio tiene en el mercado para el consumidor. 52

Propiedades mecánicas Los materiales tienen diferentes propiedades mecánicas, las cuales están relacionadas con las fuerzas exteriores que se ejercen sobre ellos. 24